

Dr hab. inż. Dariusz WIĘCKOWSKI  
Instytut Pojazdów i Maszyn Roboczych  
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych  
Politechnika Warszawska  
Ul. Ludwika Narbutta 84, 02-524 Warszawa.  
Mobile: 608 678 928.  
E-mail: [dariusz.wieckowski@pw.edu.pl](mailto:dariusz.wieckowski@pw.edu.pl)

Recenzja do rozprawy doktorskiej n. t.

**„Metoda analizy dynamiki przyczep samochodów ciężarowych”**

Autor: mgr inż. **Adam PRZEMYK**

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

Wydział Budowy Maszyn i Informatyki

**A. Ogólna ocena rozprawy doktorskiej.**

Przedstawiona do recenzji rozprawa liczy 183 strony, w tym 159 stron to tekst rozprawy, 19 stron stanowi 5 załączników, na 7 stronach zamieszczono spis literatury, zawierający 96 pozycji. W pracy zamieszczono 108 rysunków.

Rozprawę podzielono na 8 głównych rozdziałów, wykaz często używanych symboli, spis literatury, oraz 5 załączników. Rozdziały główne dzielone są na różną liczbę podrozdziałów drugiego trzeciego (te wyodrębnione w spisie treści) i czwartego stopnia.

Przedstawiona do recenzji praca dotyczy metodę analizy dynamiki, która wykorzystuje zaawansowany przestrzenny model matematyczny zespołu „samochód ciężarowy – przyczepa z osią centralną”, opracowany przy użyciu algorytmu bazującego na formalizmie równań Lagrange’a II rodzaju z wykorzystaniem znanych w robotyce współrzędnych uogólnionych względnych i macierzy przekształceń jednorodnych. Model jest przyjęty w postaci otwartego rozgałęzionego łańcucha kinematycznego o strukturze drzewa, który na potrzeby analizy dynamiki pozwala uwzględnić wszystkie podstawowe człony zespołu, w tym także jego układy sprężyste i tłumiące. Autor podjął zagadnienie (rozdział 1) utraty stateczności ruchu przez ciągnioną przyczepę samochodu ciężarowego z osią centralną – w wyniku pojawienia się jej cyklicznego ruchu obrotowego (ang. yaw motion) wokół pionowej osi przechodzącej przez jej środek ciężkości (zjawisko znane pod nazwą ruchu „wężykowania”). Doktorant zwrócił uwagę, że procedury obliczeniowe stosowane obecnie w procesie projektowania przyczep samochodów ciężarowych, mimo że wykorzystują na ogół zaawansowany formalizm metody elementów skończonych (MES), to jednak ograniczają się głównie do obliczeń statycznych, a w ograniczonym zakresie obliczeń dynamicznych. Ze względu na podatność struktur i komponentów przyczep, zdaniem autora rozprawy wydaje się zasadne, aby elementy te, a szczególnie ramy przyczep analizować przede wszystkim w warunkach dynamicznych. Jako główny cel pracy Autor określił przygotowanie autorskiego modelu matematycznego analizowanego zespołu „samochód ciężarowy – przyczepa z osią centralną” oraz wykorzystanie modelu zespołu opracowanego przy wykorzystaniu komercyjnych programów, które umożliwiły uwzględnienie w obliczeniach podatności ramy przyczepy. Zdaniem Doktoranta tego rodzaju model może mieć znaczenie aplikacyjne. Na podstawie powyższego Autor określił:

**Cel naukowy** rozprawy - opracowanie ogólnej metody analizy dynamiki przyczep samochodów ciężarowych z osią centralną.

**Cel praktyczny (użyteczny)** rozprawy - opracowanie i badanie takiego prototypu oraz jego eksperymentalna weryfikacja.

Wymienione wcześniej poszczególne rozdziały pracy można przypisać do dwóch głównych części pracy:

- I. rozdziały 1, 2 i 3 - do części wstępnej,
- II. rozdziały 4, 5, 6, 7 i 8 – do części zasadniczej (właściwej) pracy.

W części wstępnej omówiono zagadnienia ogólne dotyczące samochodów ciężarowych i ich przyczep. Dokonano przeglądu literaturowego wskazując na dwa obszary tematyczne ściśle związane z analizą dynamiki przyczep samochodów ciężarowych (będącej przedmiotem przedstawionej rozprawy) zjawiska „wężykowania” przyczep samochodów (w tym także przyczep samochodów ciężarowych) z osią centralną oraz zagadnień związanych z badaniem wytrzymałości ram pojazdów ciężarowych. Po części wstępnej w rozdziale 3 zdefiniowano obszar badawczy i cele pracy.

W części zasadniczej w kolejnych rozdziałach przedstawiono:

- Analizę dynamiki zespołu „samochód ciężarowy – przyczepa z osią centralną” przy wykorzystaniu interfejsu programu MSC Adams i wybranego programu z zakresu metody elementów skończonych,
- Model CAD samochodu ciężarowego i przyczepy,
- Model samochodu ciężarowego i przyczepy w środowisku MSC Adams,
- Eksperymentalną weryfikację modelu,
- Ocenę poprawności wyników obliczeń,
- Wyniki wybranych symulacji przejazdów,

W ostatnim rozdziale – ósmym – podsumowano pracę.

### **Charakterystyka treści pracy**

**Rozdział 1 („Wiadomości wstępne”).** Autor dokonuje prezentacji wymagań i oczekiwań stawianych współczesnym ciężarowym i ich przyczepom, ich konstrukcji, w tym specyficznej konstrukcji nośnej.

**Rozdział 2 („Przegląd literatury”).** Autor wskazuje dwa obszary tematyczne związane z analizą dynamiki przyczep samochodów ciężarowych zjawiska „wężykowania” przyczep samochodów (w tym także przyczep samochodów ciężarowych) z osią centralną oraz zagadnień związanych z badaniem wytrzymałości ram pojazdów ciężarowych

**Rozdział 3 („Cel i zakres pracy”).** Autor wprowadza czytelnika w problematykę, której dotyczy praca. Określa cele pracy. **Cel naukowy** rozprawy - opracowanie ogólnej metody analizy dynamiki przyczep samochodów ciężarowych z osią centralną.

**Cel praktyczny (użyteczny)** rozprawy - opracowanie i badanie takiego prototypu oraz jego eksperymentalna weryfikacja.

**Rozdział 4 („Analiza dynamiki zespołu „samochód ciężarowy – przyczepa z osią centralną” z wykorzystaniem macierzy przekształceń jednorodnych i formalizmu równań Lagrange’a II rodzaju”).** Autor opisał przeprowadzoną analizę dynamiki zespołu „samochód ciężarowy – przyczepa z osią centralną”. Dla jej potrzeb opracował model matematyczny wybranego zespołu pojazdów, rozważanego w postaci układu wielocłonowego (ang. multibody system) o strukturze przestrzennego rozgałęzionego łańcucha kinematycznego, który zawierał sztywne człony połączone elementami sprężysto-tłumiącymi. Model matematyczny przygotowano, wykorzystując formalizm równań Lagrange’a II rodzaju.

**Rozdział 5 („Analiza dynamiki zespołu „samochód ciężarowy – przyczepa z osią centralną” przy wykorzystaniu interfejsu programu MSC Adams i wybranego programu z zakresu metody elementów skończonych”).** Autor przedstawia opis analizy dynamiki kompleksowego modelu zespołu „samochód ciężarowy – przyczepa z osią centralną”,

opracowanego przy wykorzystaniu interfejsu komercyjnych programów komputerowych MSC Adams i NX Nastran/Femap. Rama przyczepy modelowana była jako człon podatny (odkształcalny), co stanowi istotną różnicę w porównaniu z modelem matematycznym zespołu. Do utworzenia modelu przyczepy wykorzystano wnioski sformułowane w wyniku analizy wybranych rezultatów symulacji modelu matematycznego, opisanych w poprzednim rozdziale. W tym sensie model matematyczny zespołu pojazdów pełni w rozprawie rolę modelu pomocniczego. Przygotowany przy wykorzystaniu interfejsu programów model zespołu pojazdów autor rozprawy nazywa jego modelem wirtualnym.

**Rozdział 6 („Ocena poprawności wyników obliczeniowych”).** Autor poświęcił walidacji i eksperymentalnej weryfikacji wyników obliczeniowych. Walidacja polegała na porównaniu wyników analizy dynamiki modelu matematycznego zespołu i jego modelu opracowanego przy wykorzystaniu programu MSC Adams. Natomiast w ramach eksperymentalnej weryfikacji porównano wyniki analizy dynamiki modelu wirtualnego i rzeczywistego zespołu pojazdów.

**Rozdział 7 („Wyniki wybranych symulacji w przypadku wykorzystania interfejsu programu MSC Adams i wybranego programu z zakresu metody elementów skończonych”).** Autor przedstawił i omówił wyniki wybranych symulacji wirtualnego modelu zespołu. Sformułował sugestie odnośnie propozycji zmian w konstrukcji jednego z analizowanych wariantów przyczepy.

**Rozdział 8 („Podsumowanie rozprawy i wnioski”).** Autor rozprawy ocenił uzyskane wyniki i podsumował pracę z punktu widzenia osiągniętych celów naukowych i użytkowych. Zwrócił uwagę na aspekt projektowania przyczep samochodów ciężarowych a mianowicie, że jeszcze obecnie są stosowane metody, które z powodu znacznego uproszczenia mogą nie być wystarczająco dokładne. Autor podkreślił konieczność uwzględniania warunków dynamicznych. W podsumowaniu rozważań przedstawionych w rozprawie sformułował zalecenia dedykowane do producentów zespołu pojazdów, pracowników obsługi, i kierowców.

**Ostatni, nienumerowany rozdział („Spis literatury”).** stanowi wykaz pozycji literaturowych, na które Autor powołuje się w pracy. Jest wystarczająco szeroki i aktualny dla tematyki rozprawy.

Opracowane w ramach pracy i dla potrzeby jej realizacji procedury Autor zamieścił w załącznikach do pracy.

**Uważam, że tematyka pracy jest bardzo ciekawa i aktualna, a możliwe zastosowania uzasadniają celowość jej wykonania na uczelni technicznej. Praca ma charakter użytkowy poprzez to, że jest dedykowana do producentów pojazdów i użytkowników zespołów pojazdów.**

## **B. Układ pracy, opracowanie edytorskie.**

Układ rozprawy oraz jej edycja zasługują na pozytywną ocenę. Autor posługuje się poprawnym językiem. Treść poszczególnych rozdziałów jest ilustrowana schematami, tabelami i rysunkami. Bogaty materiał ilustracyjny – w zasadniczej części pracy jest to oryginalny materiał autorski wzbogacający treść rozprawy i ułatwiający jej zrozumienie.

Układ rozprawy metodologicznie jest poprawny. W rozdziałach początkowych przedstawiono rozważania wstępne dotyczące obiektu oraz powodów dla których zagadnieniem istotnym jest znajomość eksploatacyjnych obciążeń układu napędowego.

Zarzuty można mieć do braku tytułów załączników. Ułatwiłoby to odbiór treści tam umieszczonych.

W pracy brak wyodrębnionego spisu rysunków i tabel.

Nieliczne uwagi o charakterze redakcyjnym zamieszczone w punkcie C2 nie wpływają na końcową ocenę pracy. Wskazują jednak Autorowi na pewne niekonsekwencje w redagowaniu tekstu oraz zwracają uwagę na mieszanie sformułowań kolokwialnych

z naukowymi, co jest niedopuszczalne w publikacji naukowej, chociażby ze względu na ich różne znaczenie.

## **C. Ocena rozprawy - wartość naukowa i użyteczna pracy.**

### **C1. Zalety pracy**

O wartości naukowej prac przeprowadzonych w ramach recenzowanej rozprawy świadczy kilka jej cech. Przedstawiona w rozprawie metoda analizy dynamiki, która wykorzystuje zaawansowany przestrzenny model matematyczny zespołu „samochód ciężarowy – przyczepa z osią centralną”, opracowany przy użyciu algorytmu bazującego na formalizmie równań Lagrange'a II rodzaju z wykorzystaniem znanych w robotyce współrzędnych uogólnionych względnych i macierzy przekształceń jednorodnych. Wyniki otrzymane podczas symulacji takiego modelu mogą być wykorzystane do szybkiego sprawdzenia wielu różnych wariantów konstrukcyjnych przyczepy i wytypowania spośród nich wariantu nadającego się do dalszej analizy z wykorzystaniem interfejsu programów MSC Adams i NX Nastran/FEMAP. Na podstawie przeprowadzonych symulacji komputerowych można stwierdzić, że na zjawisko „wężykowania” mogą mieć wpływ zarówno producent zespołu pojazdów, pracownicy obsługi, jak i kierowca.

Tematyka rozprawy i zrealizowane badania wpisują się w szerzej obecnie występującą tendencją weryfikacji modeli komputerowych przez badania w warunkach rzeczywistej eksploatacji.

Recenzowana praca dostarcza źródłowej wiedzy o warunkach pracy zespołu samochód-przyczepa - zarówno jakościowej jak i ilościowej.

Praca pogłębia szczegółową wiedzę o projektowaniu pojazdów ciężarowych pod kątem różnych możliwych sposobów zabudowy na podwoziach. Przedstawiona wiedza wynikająca z analizy możliwości wykorzystania nowoczesnych narzędzi do wspomagania procesu konstruowania i symulacji obciążeń eksploatacyjnych oraz zdobywania wiedzy o specyfice tych procesów, jest wartościowa naukowo dla wiedzy o budowie i eksploatacji zespołów „samochód ciężarowy – przyczepa z osią centralną”.

Autor podczas realizacji pracy i w jej treści wykazał się umiejętnościami przygotowania i realizacji projektowania komputerowego, symulacji komputerowych i badań eksperymentalnych a także umiejętnościami ich analizy i przetwarzania. Wykazał się umiejętnością budowy modeli dynamiki pojazdów.

Ocena użytecznej wartości pracy wskazuje także na szereg jej zalet. Opracowane modele i ich egzemplifikacja wraz z weryfikacją dowodzą poprawności i możliwości praktycznego zastosowania uzyskanego narzędzia. Może to być bardzo użytecznym narzędziem dla producentów pojazdów i użytkowników zespołów pojazdów.

### **C2. Uwagi krytyczne.**

Uwagi te mają różny ciężar gatunkowy. Poniżej przedstawiam te wątpliwości i uwagi krytyczne, które moim zdaniem wymagają ustosunkowania się do nich Autora. W zakresie poprawności naukowej wskazać można wymienione uwagi krytyczne o charakterze ogólnym.

W pracy Autor posługuje się sformułowaniem „holowanie przyczepy”. Jest to błędne, ponieważ „holuje się pojazd uszkodzony”, natomiast „samochód ciągnie przyczepę”.

Określenie „utrata stabilności ruchu” uważam, że jest niewłaściwe. W dynamice ruchu samochodu używane jest określenie „stateczność ruchu pojazd”. Pojęcie „stabilność” używane jest przez automatyków elektryków, np. stabilność układu elektrycznego.

Do weryfikacji eksperymentalnej wykorzystano testy: Nawrót „U-turn” i serię dwóch zakrętów „S-turn” według normy PN-EN 12642:2016. Jest to oczywiście prawidłowe i rozumiem intencje Autora. Ale również należało przywołać inne testy, jak: podwójna zmiana pasa ruchu (ISO 3888-1 1999), ruch ustalony po okręgu (ISO 14792 2011). W procesie weryfikacji eksperymentalnej modeli komputerowych podstawowe testy związane z dynamiką ruchu pojazdów to właśnie: ruch ustalony po okręgu i podwójna zmiana pasa ruchu. Oczywiście są jeszcze inne testy opisane innymi normami, które też mają zastosowanie. Tym nie mniej te dwa są podstawowe. Kolejna kwestia odnośnie normy PN-EN 12642:2016. Należało szerzej opisać tę normę – co zawiera: testy, metodykę badań, wymagania, warunki badań itp.? Można to było zrobić np. jako kolejny załącznik.

Odnośnie do załączników, to brak tytułów, utrudnia korzystanie z materiałów tam zawartych.

Poniżej zamieszczam także istotniejsze krytyczne uwagi szczegółowe dotyczące poprawności naukowej:

1. Str. 9.: określenie „przyczepa z tzw. Osią centralną”. Nie ma „tzw.” tylko „przyczepa z osią centralną” lub „przyczepa z osiami centralnymi” (wiersz 11 od dołu strony).  
Określenie „o małej masie właściwej”, powinno być o „o małej gęstości” (wiersz 3 od dołu strony).
2. Str. 9.: określenie „sworzeń łączący posiada kulistą część, która zapewnia **wymagane obroty**” chyba chodzi o stopnie swobody (wiersz 3 od dołu strony).
3. Str. 12.: Rys. 1.6. Oprócz opisów osi powinny być oznaczenia x, y, z.
4. Str. 14.: trzeci wiersz od góry.  
Określenie „samochód jest wielokrotnie cięższy” powinno być „masa samochodu jest wielokrotnie większa”?
5. Str. 15.: wiersz 16 od dołu.  
Określenie „tzw. mas nieresorowanych”. Nie ma „tzw. ”, po prostu są „masy nieresorowane” (tak jest to przyjęte w mechanice ruchu samochodu).  
I druga kwestia. Po co w rozprawie doktorskiej dotyczącej dynamiki ruchu pojazdów tak szczegółowo opisywać i tłumaczyć zagadnienie mas nieresorowanych. To jest wiedza podstawowa inżynierska. Chyba, że intencją Autora było to, że praca może być też kierowana do osób, które nie są specjalistami w obszarze pojazdów?
6. Str. 36.: Oznaczenie normy zamiast „ISO 3833-1978” powinno być „ISO 4130-1978”.
7. Str. 39.: Ostatni wiersz i następna strona.  
tekst „lokalny układ  $\hat{x}_1\hat{y}_1\hat{z}_1$  o początku ulokowanym na przecięciu osi referencyjnych przedstawionych na rys.4.7”. Na rys. 4.7 nie znalazłem tych oznaczeń.
8. Str. 76 do 82. W tekście przywoływane są współrzędne uogólnione  $\tilde{\psi}^{(2)}$  i  $\tilde{\psi}^{(1)}$ , ale dopiero na stronie 82 jest opis współrzędna  $\tilde{\psi}^{(2)}$ .
9. Str. 117. Rys. 5.32.: Pomocny byłby opis, co oznaczają poszczególne kolory.
10. Str. 125 do 139.: Autor opisuje wyniki przedstawione w postaci wykresów i mówi o różnicach. Należy uwzględnić, że są różnice „jakościowe” i „ilościowe”. Tego brakuje w treści.
11. Str. 126.: Tekst „W celu uzupełnienia podanych informacji należy podkreślić, że program MSC Adams w zagadnieniach analizy dynamiki bazuje na wykorzystaniu współrzędnych uogólnionych bezwzględnych (w odróżnieniu od modelu matematycznego używanego w niniejszej rozprawie, który bazuje – jak już wiadomo – na współrzędnych uogólnionych względnych) oraz na kątach Eulera typu  $\hat{Z}\hat{X}\hat{Z}$  (a więc różni się od modelu matematycznego używanego w przedstawionej rozprawie, który bazuje na kątach Eulera typu  $\hat{Z}\hat{Y}\hat{X}$ ).” To jest to samo, gdzie jest różnica?
12. Str. 128.: Progi zwalniające są opisane w dokumentach normatywnych. Należało by przywołać odpowiedni dokument, tym bardziej, że na rys. 6.9 Autor podaje nazwę własną „Slowly 5”.

Druga kwestia. Zdanie „Przejazd przez próg, czyli przeszkodę o relatywnie prostej geometrii, **pozwolił na dobre** porównanie wyników symulacji z wynikami badań rzeczywistego pojazdu.” Co znaczy sformułowanie „**pozwolił na dobre ...**”? (Zdanie jest przed rys. 6.9).

12. Str. 130.: Ostatnie zdanie „Do analizy siły dynamicznej występującej w punkcie sprzęgu należy zmodyfikować model tak, aby uwzględnić rzeczywisty luz występujący w urządzeniu sprzęgającym.” Czy model został zmodyfikowany?
13. Str. 130 do 139.: Przy dyskusji wyników zawartych w formie wykresów należy używać sformułowań: różnice, podobieństwa „jakościowe” i „ilościowe”.
14. Str. 143.: Ostatni wiersz zamiast „Geometrię jezdni” powinno być np. „Geometrię toru jazdy”.
15. Str. 144.: Tekst „Zaobserwowano znaczne drgania ramy przyczepy”. Co to znaczy „znaczne” Jakie to są drgania? W jakim kierunku (x, y, z)? Amplituda? Częstotliwość? Itd.

#### **Uwagi o charakterze redakcyjnym.**

Poniżej przedstawiam te uwagi krytyczne, które moim zdaniem nie wymagają ustosunkowania się do nich Autora, jeżeli się z nimi zgadza. Dotyczą głównie edycji pracy. Nie wpływają na ocenę merytoryczną pracy.

Spostrzeżenia ogólne dotyczące strony redakcyjnej pracy:

- dużo pustych miejsc na stronach, np.: str. 11, str. 82 itd.;
- podpisy pod rysunkami: pisane z kropką i bez kropki: „rys. 1.1” i „rys. 4.12.”, podobnie z tabelami „Tab.4.1”, „Tab.5.2.”;

#### **D. Podsumowanie recenzji i wniosek końcowy.**

Uważam, że praca dotyczy ciekawych, aktualnych i istotnych problemów naukowych i technicznych z obszaru budowy i eksploatacji maszyn oraz transportu. **Stanowi realizację większości przyjętych celów, zarówno o charakterze poznawczym jak i aplikacyjnym. Należy stwierdzić, że podany w Rozdziale 3 cel pracy został osiągnięty.**

Mgr inż. **Adam Przemysław** wykazał, że jest przygotowany do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

**Recenzowana rozprawa spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w stosowanej ustawie i może być dopuszczona do publicznej obrony.**

Dr hab. inż. Dariusz Więckowski