

**dr hab. inż. Mariusz Ptak, prof. uczelni**  
Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny  
Katedra Konstrukcji Badań Maszyn i Pojazdów  
ul. Łukasiewicza 7, 50-371 Wrocław  
e-mail: mariusz.ptak@pwr.edu.pl

Wrocław, 22.09.2023

## **RECENZJA**

rozprawy doktorskiej Pana **mgra inż. Jana Stanisława Biniewicza** p.t.:  
**Optymalizacja trajektorii wyścigowych pojazdów jednośladowych**  
**w warunkach ruchu quasi-statycznego,**

której promotorem jest prof. dr inż. Mariusz Pyrz

### **1. PRZEDMIOT I ZAKRES ROZPRAWY**

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska pt. *„Optymalizacja trajektorii wyścigowych pojazdów jednośladowych w warunkach ruchu quasi-statycznego”*

Praca doktorska omawiająca problem sterowania optymalnego pojazdem jednośladowym w warunkach ruchu quasi-statycznego stanowi ważny wkład w dziedzinę nauk technicznych, szczególnie w kontekście zastosowań praktycznych w sporcie motorowym. Autor pracy, mgr inż. Jana Stanisław Biniewicz, skoncentrował się na aspekcie praktycznym i aplikacyjnym swoich badań, co stanowi mocną stronę rozprawy doktorskiej.

Jednym z kluczowych elementów pracy jest podejście do sterowania pojazdem, które ewoluowało w wyniku analizy porównawczej z danymi eksperymentalnymi. Autor wykazał, że wcześniejsze podejścia opisane w literaturze tematu, były niewystarczające do uzyskania realistycznych wyników. Poprawienie jakości rezultatów osiągnięto poprzez zastosowanie pochodnych pierwotnych zmiennych sterujących. Jednakże te metody miały ograniczenia w zakresie prędkości pojazdu. Autor zaproponował oryginalną modyfikację, w której wartości zmiennych sterujących były ograniczone hiperbolicznymi funkcjami zależnymi od prędkości ruchu, co pozwoliło na uzyskanie bardziej realistycznych wyników w różnych zakresach prędkości pojazdu. Wyniki obliczeń wykazały, że zmiany te miały istotny wpływ, co może być cenną wskazówką dla profesjonalnych kierowców wyścigowych.

Autor pracy doktorskiej zasługuje na uznanie za staranność i troskę o czytelnika poprzez skrupulatne wyjaśnianie terminów, które mogą być niejasne lub specyficzne dla dziedziny. Autor klarownie prowadzi czytelnika przez specyficzne dla tematu terminologie i sprawia, że praca staje się bardziej dostępna i zrozumiała. Cele szczegółowe i pomocnicze, jak również zakres pracy, są jasno i precyzyjnie sformułowane. Pomaga to czytelnikowi zrozumieć, czego można się spodziewać od pracy i jakie konkretnie cele badawcze zostaną osiągnięte.

Tezy pracy – przedstawione poniżej – są klarowne i przemyślane. Autor wyraźnie przedstawia, co chce udowodnić i wykazać w ramach swoich badań naukowych.

Teza 1: Uwzględnienie odpowiednich danych eksperymentalnych w sformułowaniu problemu minimalizacji czasu przejazdu wyścigowego pojazdu jednośladowego w warunkach ruchu quasi-statycznego umożliwia wyznaczenie optymalnej trajektorii oraz przebiegu manewrów zgodnych z obserwacjami doświadczalnymi.

Teza 2: Model drgań o trzech stopniach swobody wykorzystujący zarejestrowane eksperymentalnie informacje o przyspieszeniach pojazdu umożliwia wierne odwzorowanie przebiegów ugięcia elementów sprężystych w zawieszeniu wyścigowego pojazdu jednośladowego.

Tezy te są dla recenzenta zrozumiałe i stanowią istotne punkty wyjścia dla całej pracy przedstawionej przez mgr. inż. Jana Biniewicza. Co ważne, Autor nie tylko formułuje tezy, ale także przedstawia konkretne rozważania, metody analizy i wyniki badań.

## 2. UWAGI OGÓLNE I SZCZEGÓŁOWE

Przede wszystkim należy zaznaczyć, że praca doktorska autora jest znaczącym wkładem w dziedzinę inżynierii mechanicznej, zwłaszcza w kontekście analizy optymalnego ruchu pojazdów jednośladowych w warunkach ruchu quasi-statycznego. Autor podkreśla swoje zainteresowanie i doświadczenie w dziedzinie poprzez odniesienie się do projektów związanych z motocyklem wyścigowym klasy *PreMoto3*, co stanowi ciekawy kontekst dla jego badań. Jednym z najważniejszych wniosków z pracy jest to, że analiza jazdy kierowcy testowego przyczyniła się do poprawy czasu okrążenia w rzeczywistych warunkach ruchu. Jest to z pewnością ważne zarówno dla przemysłu motoryzacyjnego, jak i bezpieczeństwa na drogach. Poprawa czasu okrążenia sugeruje, że wprowadzone zmiany w sposobie pokonywania trasy były skuteczne. Należy podkreślić, że aspekty dotyczące rozpoczęcia faz hamowania i przyspieszania oraz prędkości realizacji manewrów w przejściowych sytuacjach są kluczowe dla bezpiecznej i efektywnej jazdy. Autor doktoratu skoncentrował się na tych obszarach i wnosi cenne informacje do naszego zrozumienia, jak poprawić zachowanie pojazdu w trudnych sytuacjach na drodze.

Kolejnym istotnym merytorycznie punktem pracy jest możliwość porównania danych od różnych kierowców na różnych trasach, co pozwala na identyfikację problematycznych fragmentów trasy i poprawę czasu okrążenia. To podejście ma istotne znaczenie praktyczne w sporcie motocyklowym, gdzie każda setna sekundy może decydować o zwycięstwie. Niezwykle istotne jest, że otrzymano bardzo dobrą zgodność rezultatów numerycznych z wynikami eksperymentalnymi. Zarówno pod względem wartości liczbowych, jak i zmienności przyspieszeń w przejściowych fazach ruchu, wyniki te pozostają w pełnej zgodności z danymi eksperymentalnymi. Jest to istotne osiągnięcie, które potwierdza wiarygodność i skuteczność przyjętych w pracy metod i ograniczeń.

Warto zaznaczyć, że wyniki przedstawione w pracy doktorskiej mogą zostać wykorzystane jako narzędzie wspierające proces projektowania obiektów wyścigowych lub wytyczania tras zawodów. Projektanci torów wyścigowych oraz zarządcy obiektów sportowych muszą uwzględniać wiele istotnych aspektów z punktu widzenia projektowania i bezpieczeństwa użytkownika toru – między innymi odpowiednie wymiary pułapek zwalniających, odległości barier energochłonnych od krawędzi toru, położenie oraz wymiary krawężników i wybiegów asfaltowych.

Mimo uproszczenia modelu pojazdu do punktu materialnego, ograniczenia wprowadzone w odniesieniu do dopuszczalnych wartości zrywów umożliwiły uwzględnienie aspektów wynikających z dynamiki układu oraz fizycznych ograniczeń kierowcy.

Autor skoncentrował się również na tworzeniu podejścia do analizy numerycznej, która może być przydatna w analizie ruchu pojazdów jednośladowych. To istotne, ponieważ pozwala na wykorzystanie wyników badań w praktyce. Warto również podkreślić, że praca zawiera wiele szczegółów technicznych, co przyczynia się do jej wartości merytorycznej.

Kolejnym pozytywnym aspektem pracy jest decyzja o stworzeniu aplikacji z graficznym interfejsem użytkownika, co – wg Autora – znacznie ułatwia interakcję z modelem pojazdu. Autor wykorzystał moduł MATLAB App Designer do stworzenia aplikacji, co jest dowodem na jego zaawansowane umiejętności w zakresie programowania i tworzenia narzędzi do obsługi skomplikowanych modeli. Aplikacja umożliwia automatyczne przekazywanie informacji o wymiarach geometrycznych motocykla do zarządzania geometrią pojazdu. Połączenie funkcjonalności numerycznych z intuicyjnym interfejsem użytkownika jest istotne, ponieważ ułatwia prowadzenie badań i eksperymentów oraz przyspiesza proces analizy. Autorowi należy się więc uznanie za umiejętne wykorzystanie technologii informatycznych w celu usprawnienia pracy z modelem pojazdu, co z pewnością przyczyni się do jakości i efektywności jego dalszej działalności naukowo-badawczej i wdrożeniowej.

### **Uwagi szczegółowe:**

Praca doktorska zawiera wiele wartościowych wyników i ogólnie podkreśla się jej wysoki poziom merytoryczny oraz językowy. Istnieje jednak kilka obszarów, które można ulepszyć lub wyjaśnić bardziej szczegółowo, aby sprawić, że praca będzie jeszcze bardziej kompletna i czytelna, mianowicie:

1. W wielu miejscach pracy, zwłaszcza w odniesieniu do literatury tematu, warto zadbać o spójność w formułowaniu zwrotów, na przykład: praca autorstwa *i tu konkretne nazwisko* [#], może ułatwić czytelnikowi odwołanie do konkretnych źródeł. Przykładowo: „Pod wpływem wydanej w 2019 roku publikacji autorstwa Veneri et al. [6] (...)”.
2. Zawsze oddzielamy przecinkiem imiesłów przysłówkowy od poprzedzającej go lub następującej po nim pozostałej części zdania – np. str. 44.
3. Częste nierozróżnianie w pracy następujących znaków: pauza (myślnik) to znak interpunkcyjny, zaś dywiz (łącznik, ćwierćpauza) jest znakiem ortograficznym. Poprawne rozróżnienie między nimi jest ważne z punktu widzenia jasności i czytelności tekstu.
4. Często brakuje informacji o częstotliwości próbkowania danych np. str. 50 – wskazanie częstotliwości próbkowania danych w pracy może pomóc czytelnikom w lepszym zrozumieniu kontekstu i interpretacji wyników.
5. Brakuje czasem wyjaśnienia terminów w języku angielskim np. (OCP) tj. optimal control problems.

6. Drobne uwagi:
  - a. Symbole % i °C piszemy bezpośrednio po liczbie (m.in. str. 74);
  - b. tab. 7.2 brakuje znaku = w opisie pracy wirtualnej;
  - c. kolokwializmy; „rysunek trzeci jest fotografią z sieci”.
7. Autor używa czasem te same zmienne w obrębie różnych rozdziałów – może to prowadzić do drobnych nieporozumień mimo profesjonalnie wykonanego wykazu oznaczeń i symboli.
8. Część prezentowanych danych, m.in. z podrozdziału 6.5.2 oraz 7.4, sugerowałbym umieścić w załączniku do pracy.
9. W metrologii i naukach technicznych cyfry znaczące (ich liczba) są istotne, ponieważ odzwierciedlają precyzję i dokładność pomiarów – Autor powinien zwrócić na to uwagę w przyszłych pracach naukowych.
10. Przyspieszenie poprzeczne/wzdłużne w funkcji prędkości (m.in. rys. 6.33, 6.39) są mocno nieczytelne.

### Pytania szczegółowe

- a) Na rys. 2.2b został zaprezentowany wpływ prędkości ruchu na obwiednię osiąarów samochodu wyścigowego. Rosnąca wraz ze wzrostem prędkości ruchu dopuszczalna wartość przyspieszenia poprzecznego jest ciekawy zagadnieniem – poproszę o szerszy komentarz.
- b) Nie jest dla recenzenta klarowny tok postępowania zaprezentowany na str. 43, a mianowicie: „Po przeskalowaniu, rozstaw osi oraz masa pojazdu przyjmują bezwymiarową wartość równą jedności. Wprowadzona za jednostkę czasu wielkość  $\sqrt{l_0/g}$ , gdzie  $g$  jest przyspieszeniem ziemskim, powoduje, że bezwymiarowa wartość przyspieszenia pojazdu równa jedności odpowiada przyspieszeniu ziemskiemu  $g$ ”. Czy można prosić Autora o dodatkowe wyjaśnienia tej kwestii – głównie w kontekście konwencji jednostek?
- c) Podrozdział 4.3. model pojazdu – czy w pracy przyjęto stałe położenie środka masy układu pojazd-kierowca w płaszczyźnie poprzecznej pojazdu?
- d) Proszę wyjaśnić, dlaczego na wykresach (m.in. rys. 4.16) występują nagłe załamania (gwałtowna zmiana kierunku nachylenia funkcji – tzw. „peak”) funkcji przyspieszenia oraz kąta przechyłu?
- e) Odwzorowanie kartograficzne Mercatora powoduje znaczne zniekształcenie powierzchni, zwłaszcza w kierunku biegunów – dlaczego Autor zdecydował się na takie odwzorowanie kartograficzne?
- f) Błąd odwzorowania geometrii ze zdjęć, zwłaszcza z obrazów satelitarnych, może prowadzić do różnych rodzajów zniekształceń np.

zniekształcenia perspektywicznego i geometrycznego (m.in. odległości). Czy Autor używał technik przetwarzania obrazów w celu korekcji błędów odwzorowania czy też może algorytmy te są domyślnie używane w prezentowanych obrazach satelitarnych?

- g) Zastanawiające jest w jaki sposób Autor uzyskał dane eksperymentalne od profesjonalnych zawodników sportów motocyklowych np. od Nolana Lamkina?
- h) Proszę o komentarz dotyczący ujemnej siły sprężystości w funkcji ugięcia elementu sprężystego widelca pojazdu (rys. 7.3).
- i) Pytanie czy schemat blokowy algorytmu poszukiwania kontaktu przedniej opony z jezdnią przedstawiony na rys. B.14 (załącznik) jest autorstwa doktoranta? – jeśli tak, to mógłby zostać uznany jako dodatkowy wkład w rozwój inżynierii mechanicznej.

### 3. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Przedstawiony materiał badawczo-naukowy zawarty w pracy doktorskiej jest oryginalnym dorobkiem mgr inż. Jana Stanisława Biniewicza, który zdecydowanie wpisuje się w zakres dyscypliny budowa i eksploatacja maszyn (obecnie inżynieria mechaniczna).

Praca doktorska jest wartościowym wkładem w badania nad ruchem pojazdów jednośladowych w warunkach ruchu quasi-statycznego. Autor zasługuje na uznanie za pracę, która przynosi realne korzyści dla społeczeństwa i branży motoryzacyjnej. Autor pracy doktorskiej wykazał się dbałością o jasność i zrozumiałość pracy, co z pewnością przyczyniło się do jej wartości i użyteczności dla społeczności naukowej. Praca może stanowić źródło cennych informacji dla profesjonalnych kierowców wyścigowych oraz inżynierów zajmujących się projektowaniem pojazdów jednośladowych. Zastosowanie praktyczne pracy doktorskiej w sporcie motocyklowym oraz staranne podejście do analizy i metodyki numerycznej czynią ją godną uwagi i wyróżnienia.

Podsumowując, stwierdzam, że praca doktorska pt. *„Optymalizacja trajektorii wyścigowych pojazdów jednośladowych w warunkach ruchu quasi-statycznego”* spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami), wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony oraz wyróżnienie pracy.

dr hab. inż. Mariusz Ptak, prof. uczelni

