

Dr hab. inż. Marek Jaśkiewicz Prof. PŚk.  
Katedra Pojazdów Samochodowych i Transportu  
Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn  
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach  
Al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7  
25-314 Kielce  
m.jaskiewicz@tu.kielce.pl

Kielce 19.06.2024r.

## Recenzja

rozprawy doktorskiej **mgr. inż. Mateusza Ziubinskiego** zatytułowana "*Deformacja nadwozia podczas zderzenia czołowo-bocznego samochodów i powstawanie zagrożenia dla kierowcy*".

Podstawa wykonania recenzji: Pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej "Inżynieria Mechaniczna" Wojskowej Akademii Technicznej z dnia 23 05 2024 roku działającego w oparciu o uchwałę Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie Nr 32/RDN IM/2024 z dnia 15 maja 2024 roku.

### 1. Ocena przedmiotu rozprawy - uwagi wstępne

Przedmiot opiniowanej pracy wybrano z dużą znajomością rzeczy. Obserwowany w ostatnich latach wzrost liczby pojazdów skłania do zajęcia się problematyką związaną z bezpieczeństwem osób przemieszczających się. W 2022 roku w Polsce miało miejsce ponad 21 000 wypadków drogowych. Ponad połowa z nich była związana ze zderzeniem pojazdów w ruchu. Ich skutkiem była śmierć blisko 900 osób, a obrażenia odniosło około 14 500. Mimo, że obserwuje się trend wskazujący na roczny spadek ogólnej liczby wypadków drogowych, niestety ich ciężkość pozostaje wysoka. Dlatego też powstają działania służące poprawie poziomu bezpieczeństwa na polskich drogach. Jednym z takich działań jest badanie i analiza przebiegu zderzenia samochodów w poszukiwaniu możliwości ograniczenia powstającego w jego trakcie zagrożenia dla pasażerów.

Zderzenie samochodów jest wysoce złożonym procesem, którego przebieg jest determinowany przez szereg parametrów i warunki początkowe. W początkowej chwili zderzenia zwykle samochody poruszają się po torach wzajemnie przecinających się. Ich ruch odbywa się w ustalonych warunkach środowiskowych (nawierzchnia sucha, mokra, utwardzona, nieutwardzona). Ustawienie samochodów w chwili początku kontaktu zderzeniowego wpływa na to, które obszary nadwozi będą deformowane. Natomiast poszczególne strefy energochłonne (przednia, boczna, tylna) mają zróżnicowane właściwości, istotnie zależne od typu nadwozia oraz klasy i stanu technicznego samochodu. Ta złożoność warunków początkowych pozwala na wnioskowanie, że wypadek drogowy, będący

zderzeniem samochodów, ma charakter unikatowy i niepowtarzalny. Stwarza to zasadniczą trudność podczas badania wypadków drogowych i poszukiwania metod ograniczenia ich skutków.

Poziom zagrożenia w wypadku drogowym jest określany za pomocą miar, którymi zwykle są charakterystyczne wartości wielkości fizycznych i parametrów opisujących procesy zachodzące w trakcie trwania wypadku. W odniesieniu do ZCB miarami zagrożenia będą zatem charakterystyczne wartości sił bezwładności i oddziaływania między pojazdami, a także wartości przyspieszenia nadwozi, głębokość deformacji i inne.

Z tego punktu widzenia podjęte przez Autora ocenianie rozprawy analizy oraz badań modelowych problematyki deformacji nadwozia i powstania zagrożenia dla kierowcy samochodu B w trakcie ZCB wydaje się zrozumiałe i w pełni uzasadnione.

Analiza przebiegu zderzeń w badaniach eksperymentalnych, wyznaczenie charakterystyki deformacji boku nadwozia na podstawie opracowanej metodyki oraz przeprowadzone badania modelowe można uznać za wysoce oryginalne, a przez to bardzo istotne z naukowego punktu widzenia.

Głównym celem pracy jest: **opracowanie relacji między warunkami początkowymi zderzenia a procesami deformacji boku nadwozia i powstawania zagrożenia dla kierowcy pojazdu uderzanego w bok w trakcie zderzenia czołowo-bocznego samochodów osobowych.**

Doktorant sformował również cel naukowy oraz cel praktyczny.

Cel naukowy to:

1. Analiza wpływu modyfikacji właściwości konstrukcyjno-materiałowych tylnych drzwi w nadwoziu samochodu w aspekcie ograniczenia głębokości deformacji i zmniejszenia zagrożenia powstającego w zderzeniu czołowo-bocznym.

Cel praktyczny to:

1. Prognozowanie prawdopodobieństwa obrażeń kierowcy samochodu uderzanego w bok jako skutku zderzenia czołowo-bocznego i próba wskazania możliwego działania do jego ograniczenia.

Cele te nawiązują do wspomnianego problemu badawczego. Uważam, że cele te zostały poprawnie sformułowane i w pełni odpowiadają ustawowym i zwyczajowym wymaganiom, jakie stawiane są rozprawom doktorskim.

Z przyjemnością mogę stwierdzić, że problem badawczy został dobrze sformułowany, postawiono poprawne cele, a rozwiązanie problemu badawczego może stanowić podstawę do nadania stopnia naukowego. Można więc powiedzieć, że zagadnienie stawiane w pracy jest dysertabilne.

Podsumowując tę część recenzji stwierdzam, że podjęty przez mgr. inż. Mateusza Ziubińskiego temat jest tematem interesującym naukowo, odpowiadającym wymaganiom, jakie stawiane są pracom aspirującym do tego, by być rozprawami na stopień doktora nauk technicznych. Problem badawczy pracy sformułowane są w taki sposób, że możliwa jest jego naukowa weryfikacja, co ma miejsce w dalszej części pracy. W związku z powyższym stwierdzam, że wybrany temat rozprawy oceniam zdecydowanie pozytywnie.

## **2. Charakterystyka i rozważania dotyczące rozprawy**

W swojej rozprawie doktorskiej mgr inż. Mateusz Ziubiński podjął próbę odpowiedzi na problematykę deformacji nadwozia i powstawania zagrożenia dla kierowcy samochodu B w trakcie ZCB. W tym celu przeprowadził szerokie studia literaturowe, wykonał szereg badań własnych oraz dokonał analizy wyników tych badań.

Rozprawa doktorska pt. "Deformacja nadwozia podczas zderzenia czołowo-bocznego samochodów i powstawanie zagrożenia dla kierowcy" została napisana w języku polskim na 173 stronach. Spis pozycji literatury zawiera 200 pozycje (z czego 6 jest współautorstwa Doktoranta). Rozprawa zawiera streszczenie w języku polskim. Rozprawa zawiera również alfabetyczny wykaz skrótów i oznaczeń. Praca zawiera siedem rozdziałów oraz podsumowanie i wnioski.

**Rozdział 1** (7 stron) Wstęp stanowi wprowadzenie do problemu badawczego i zawiera krótką informację odnośnie wypadków drogowych i ich skutków, przebiegu i analizy procesu ZCB oraz istoty i pojęcia zagrożenia w wypadku drogowym.

**Rozdział 2** (34 strony) zawiera analizę stanu zagadnienia ZCB samochodów osobowych.

W rozdziale tym przedstawiono szeroką analizę z zakresu problematyki ZCB przeprowadzoną na podstawie dostępnych w literaturze informacji. Rezultaty tej analizy przedstawiono w trzech zagadnieniach problemowych: problemy i skutki ZCB, aktualnie dostępne wyniki badań procesu powstania zagrożenia w trakcie ZCB oraz zagadnienie deformacji boku nadwozia i relację między warunkami początkowymi a skutkami zderzenia. Na podstawie przeprowadzonych analiz wyciągnięto również wnioski dotyczące ogólnej problematyki ZCB, możliwości dalszego rozwoju systemu bezpieczeństwa biernego bocznej części nadwozia oraz dalsze kierunki badań w tym zakresie. Rozdział ten jest poprawnie opisany.

Recenzowana praca nie zawiera klasycznie sformułowanej tezy. Zamiast tego autor w rozdziale 3 przedstawił główny cel pracy oraz cel naukowy i cel praktyczny. Cel naukowy pracy to "analiza wpływu modyfikacji właściwości konstrukcyjno-materiałowych tylnych drzwi w nadwoziu samochodu w aspekcie ograniczenia głębokości deformacji i zmniejszenia zagrożenia powstającego w zderzeniu czołowo-bocznym". Cel praktyczny to "prognozowanie prawdopodobieństwa obrażeń kierowcy samochodu uderzanego w bok jako skutku zderzenia czołowo-bocznego i próba wskazania możliwego działania do jego ograniczenia". Wspomagająco autor przedstawił również 6 celów pomocniczych.

Dodatkowo bardzo istotnym i ważnym atutem jest przedstawienie zakresu rozprawy. Świadczy to o przemyślanym podejściu do rozważanych zagadnień. Pozytywnie oceniam wybór celu pracy, jego uzasadnienie oraz zakres pracy i zaproponowane metody badawcze. W oparciu o sformułowane założenia autor proponuje budowę modelu matematycznego ZCB, następnie przeprowadza weryfikację eksperymentalną opracowanego modelu, wykonuje badania modelowe i analizuje uzyskane wyniki.

**Rozdział 4** (15stron) przedstawione zostały metody badania procesów zachodzących w trakcie ZCB. Doktorant przedstawia w tym rozdziale informacje na temat przebiegu ZCB. Przedstawione są metody i procedury badań eksperymentalnych. W badaniach eksperymentalnych zderzeń samochodów realizuje się pomiary online wielkości kinematycznych i dynamicznych, których wyniki pozwalają na ilościową i jakościową analizę przebiegu krótkotrwałego procesu powstawania zagrożenia dla pasażerów. Badania eksperymentalne w zakresie ZCB są realizowane różnymi metodami. Celem takich badań zwykle są aspekty poznawcze, kontrolne lub rozwojowe w odniesieniu do elementów konstrukcji i całych pojazdów. Scharakteryzowane zostały również układy i manekiny pomiarowe, czujniki i filtracja sygnałów. Podkreślono tutaj ważny aspekt analizy zderzeń samochodów a mianowicie problem niepewności wyników prowadzonych obliczeń. W analizie zderzeń samochodów często bazuje się na wielkościach obliczanych w sposób pośredni na podstawie rezultatów pomiarów innych parametrów. Powoduje to nałożenie niepewności, co może prowadzić do wyników odbiegających od rzeczywistych. Ponadto doktorant dokonał również podziału modeli stosowanych do badania ZCB. Wyodrębnił z tej grupy między innymi modele analityczne, modele wielocłonowe i strukturalne, modele wielobryłowe oraz modele wielosiatkowe i MES. Opracowanie i analiza tego rozdziału pozwoliła doktorantowi dokonać trafnego wyboru metody modelowania ZCB, którą zastosował w swojej pracy.

**Rozdział 5** (47 stron) zawiera analizę badań według F214 i kształtowanie założeń do modelowania ZCB. W ramach pracy w tym zakresie: rozważono kinematykę zderzenia dwóch samochodów, przeanalizowano zagadnienie ruchu względnego pojazdów w trakcie ZCB, gdzie wyszczególniono między innymi, ruch w płaszczyźnie równoległej do nawierzchni drogi oraz ruch w płaszczyźnie pionowej. Chcąc wiedzieć które składowe siły oddziałującej na nadwozia istotnie wpływają na przebieg zderzenia obliczono siły oddziałujące na nadwozie uderzane w bok. Dostyc istotnym problemem jest charakterystyka deformacji boku nadwozia. W bocznej części nadwozia wyznaczono strefy (obszary) o różnych właściwościach konstrukcyjno-materiałowych, wyznaczono siły oddziałujące w wycinkach nadwozia w trakcie ZCB, określono deformację dynamiczną bocznej części nadwozia. Obejmuje ona powstające odkształcenia plastyczne (trwałe) nadwozia oraz odkształcenia sprężyste, które redukują się po ustaniu oddziaływania między zderzającymi się pojazdami. Przebieg narastania deformacji dynamicznej ma wpływ na proces powstawania zagrożenia w trakcie ZCB. Wartość deformacji dynamicznej na koniec zderzenia odpowiada deformacji trwałej, możliwej do zmierzenia po ZCB. Procedura wyznaczania charakterystyki deformacji boku nadwozia jest oryginalnym sposobem rozwiązania postawionego problemu w rozprawie. Analiza procesów zachodzących w trakcie ZCB może być prowadzona z wykorzystaniem bilansu energii.

Zwrócono szczególną uwagę na problematykę obciążeń, jakim poddawany jest kierowca samochodu B. Od strony fotela kierowcy następuje boczne uderzenie, a generowane siły

oddziaływania między nadwoziami są przyczyną powstawania deformacji nadwozia. Skutkiem tego procesu zwykle jest uderzenie pasażera przez odkształcane elementy konstrukcyjne boku pojazdu. Istotną częścią tego punktu jest wypracowanie założeń do modelowania.

**Rozdział 6** (29 stron) przedstawiony został model ZCB i model oddziaływania pojazdu na kierowcę. Przeprowadzone analizy i rozważania w poprzednich rozdziałach stanowiły podstawę do ustalenia wytycznych badań modelowych w rozprawie. Zasadniczym celem planowanych badań modelowych jest rozpoznanie relacji między warunkami początkowymi zderzenia a procesami deformacji boku nadwozia i powstawania zagrożenia dla kierowcy samochodu B w trakcie ZCB. W tym rozdziale dyplomant przedstawił proces budowy modelu, gromadzenia danych do obliczeń oraz osiągnięty rezultat parametryzacji i weryfikacji eksperymentalnej. Wyszczególniono między innymi model ZCB, model oddziaływania pojazdu na kierowcę, parametryzację modelu oraz rezultat weryfikacji eksperymentalnej modeli. Działania przedstawione w tym rozdziale stanowiły ważny etap realizacji rozprawy. Celem ich było przygotowanie narzędzia umożliwiającego prowadzenie badań modelowych dla różnych warunków początkowych ZCB. Narzędzie, które zostało przygotowane zostało wykorzystane do dalszych badań w prezentowanej rozprawie.

**Rozdział 7** (20 stron) zostały przedstawione badania symulacyjne i analiza ich wyników. Rozdział ten stanowi istotną część pracy. Przygotowano plan badań modelowych do zgromadzenia wyników, umożliwiających wnioskowanie w ramach analizy zagadnień stanowiących cele rozprawy. Analizę tę podzielono na kilka etapów: plan badań i zakres obliczeń, przeprowadzono badania modelowe zgodnie z ustalonymi wariantami obliczeń. Łącznie wykonano ponad 200 symulacji ZCB. Ponadto określono wpływ warunków początkowych na przebieg ZCB i proces deformacji boku nadwozia, wpływ warunków początkowych zderzenia na prawdopodobieństwo obrażeń kierowcy oraz przedstawiono analizę możliwości ograniczenia zagrożenia dla kierowcy samochodu B. Przeprowadzone badania modelowe pozwoliły na stwierdzenie, że modyfikacja cech konstrukcyjnych nadwozia samochodu osobowego typu sedan w obszarze obejmującym drzwi tylne pojazdu może pozwolić na zmniejszenie zagrożenia powstającego w trakcie ZCB. Działania w tym zakresie stanowiły cel naukowy i praktyczny rozprawy.

**Rozdział 8** (5 stron) **Podsumowanie i wnioski** zawiera podsumowanie wykonanych badań, wnioski końcowe oraz plan dalszego działania. Przedstawiona rozprawa porusza zagadnienia związane ze zderzeniem czołowo-bocznym (ZCB) samochodów osobowych. Głównym problemem badawczym, którego rozwiązania podjęto się w ramach badań opisanych w niniejszej dysertacji było przygotowanie i wykonanie modelu ZCB i modelu oddziaływania pojazdu na kierowcę. Zwrócono szczególną uwagę na metody i procedury prowadzenia badań eksperymentalnych, które są trudne do przeprowadzenia ze względu na wysokie koszty, czasochłonność i ograniczony poziom bezpieczeństwa. Stąd też poddano analizie stosowane modele do badania ZCB. Rozpatrzono szeroki zakres wykorzystywanych narzędzi badawczych, ustalono ich korzystne i negatywne cechy. Na tej podstawie sformułowano

wskazówki do przygotowania badań w rozprawie. Rozpatrzono istotne procesy do uwzględnienia w modelu fizycznym, które zachodzą w systemie rzeczywistym zderzających się pojazdów. Rozważono kinematykę samochodów w trakcie ZCB i wyznaczono składowe siły oddziałującej na nadwozia. Oceniono wpływ tych składowych na przebieg procesów zachodzących w trakcie zderzenia. Obliczono i porównano bilans energii ZCB w testach zderzeniowych zrealizowanych według różnych procedur. Na tej podstawie wnioskowano na temat podobieństw w przebiegu ZCB w dwóch procedurach. W końcowym efekcie działań uszczegółowiono założenia i przygotowanie danych do budowy modelu ZCB i oddziaływania pojazdu na kierowcę.

Dyplomant opracował oryginalną metodykę i wyznaczono charakterystykę deformacji boku nadwozia, która pozwoliła na przygotowanie danych do modelowania. Przygotowano model ZCB i model oddziaływania pojazdu na kierowcę. Zaproponowano metodykę wyznaczania sił oddziaływania między pojazdami. Jest ona oparta na charakterystyce deformacji nadwozia.

W modelowaniu uwzględniono istotne oddziaływanie układu zderzających się pojazdów z otoczeniem (opory ruchu). Modele umożliwiły badanie procesów zachodzących w trakcie zderzenia, w tym procesu deformacji bocznej części nadwozia i powstawania zagrożenia dla kierowcy. Ważnym etapem przygotowania modelu była jego parametryzacja i weryfikacja eksperymentalna. Opracowano procedurę parametryzacji, w której ustalono wartości parametrów modeli. Te dane w znacznej części nie były możliwe do bezpośredniego pozyskania z wyników badań eksperymentalnych. Weryfikację eksperymentalną oparto o odtwarzanie w obliczeniach modelowych kilku różnych testów zderzeniowych ZCB, realizowanych według różnych procedur. Rezultatem tych działań były przygotowane modele, umożliwiające prowadzenie badań dla różnych warunków początkowych, a tym samym przebiegu ZCB pojazdów.

Należy również podkreślić co jest bardzo istotne w pracach naukowych utylitarne walory tej pracy, które mogą być z powodzeniem wykorzystane przez biegłych i rzeczoznawców. Doktorant przedstawił również perspektywy dalszych prac badawczych.

### **3. Uwagi dyskusyjne**

1. W badaniach modelowych prognozowano prawdopodobieństwo obrażeń kierowcy w zderzeniu czołowo-bocznym. Oparto to o biomechaniczny wskaźnik obrażeń torsu, którego wartość jest opisywana poprzez maksymalne ugięcie żeber manekina. Czy inne wskaźniki były rozważane i w jaki sposób dokonano wyboru?
2. W opracowanej procedurze wyznaczania charakterystyki deformacji bocznej części nadwozia przyjęto rozdział siły oddziałującej na nadwozie (podczas bocznego uderzenia) na składniki działające w poszczególnych wycinkach boku pojazdu. Do ustalenia tego podziału wykorzystano dane z badań dostępnych w literaturze. Czy są one możliwe do stosowania dla różnych typów nadwozi pojazdów? Jeśli nie, to w jaki sposób można je określić?
3. Czy w modelowaniu uwzględniono występowanie i działanie w trakcie zderzenia bocznych poduszek i kurtyn gazowych jako elementów systemu bezpieczeństwa biernego pojazdu?

4. Podczas przygotowania modelu obliczeniowego, środkowy obszar boku nadwozia podzielono na pięć wycinków o różnych właściwościach związanych z procesem deformacji. Czy zatem w dalszych badaniach modelowych jest możliwość rozważania innych konfiguracji zderzenia czołowo-bocznego, niż uderzenie w środek między osiami jezdny? Takie badania doktorant sugeruje w planach dalszego działania.

#### 4. Wniosek Końcowy

Podsumowując moją opinię stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. inż. Mateusza Ziubińskiego pt. "Deformacja nadwozia podczas zderzenia czołowo-bocznego samochodów i powstawanie zagrożenia dla kierowcy" podejmuje istotne problemy poznawcze o znacznym potencjale aplikacyjnym i została wykonana na bardzo dobrym poziomie merytorycznym. Wyznaczone przez Doktoranta cele zostały osiągnięte.

Uwagi zawarte w mojej recenzji mają charakter redakcyjny i nie wpływają na poziom opiniowanej pracy.

Zaprezentowane w pracy podejście do nowatorskiej metody badań, model fizyczny ZCB, procedurę parametryzacji oraz wyniki tych badań są oryginalnym dorobkiem naukowym Doktoranta.

Na podstawie przeprowadzonej oceny rozprawy **mgr. inż. Mateusza Ziubińskiego** pt. **"Deformacja nadwozia podczas zderzenia czołowo-bocznego samochodów i powstawanie zagrożenia dla kierowcy"** jestem przekonany, że spełnione zostały wymagania określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) w brzmieniu po wejściu w życie ustawy z dnia 23 czerwca 2016 roku o zmianie ustawy - Prawo o szkolnictwie wyższym oraz niektórych innych ustaw.

W związku z tym wnioskuję o przyjęcie opracowania przedstawionego do recenzji jako rozprawy doktorskiej i dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

Jednocześnie, biorąc pod uwagę uptylitarne walory i olbrzymi wkład pracy Autora recenzowanej rozprawy wnioskuję do Komisji Doktorskiej o wyróżnienie pracy.