

dr hab. inż. Witold LUTY, prof. PIMOT
Sieć Badawcza Łukasiewicz –
Przemysłowy Instytut Motoryzacji
03-301 Warszawa
ul. Jagiellońska 55

Warszawa 03.06.2019r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Roberta OWSIAŃSKIEGO
pt. Modelowanie zderzeń samochodów osobowych w układzie dwuwymiarowym na
podstawie pracy deformacji nadwozi**

Promotor rozprawy: dr hab. inż. Piotr CZECH

1. Podstawa opracowania recenzji

Podstawę opracowania recenzji stanowi pismo Dziekana Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej, z dnia 17.05.2019r. W piśmie przekazano informację o powołaniu mojej osoby na recenzenta rozprawy doktorskiej Pana Roberta OWSIAŃSKIEGO, na podstawie Uchwały Rady Wydziału Transportu Politechniki Śląskiej nr XII/121/2018/2019 z dnia 16 maja 2019r.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Autor podjął ważny i trudny temat dotyczący rekonstrukcji wypadku drogowego polegającego na zderzeniu dwóch pojazdów. Problemem jest oszacowanie prędkości przedzderzeniowej pojazdów na podstawie danych z ich oględzin, a w szczególności na podstawie oceny ich deformacji. Praca dotyczy doskonalenia metod rekonstrukcji wypadków drogowych.

Przedstawioną do recenzji rozprawę charakteryzują następujące cechy:

- liczba stron - 161 ze stroną tytułową,
- liczba rozdziałów - 9 +Literatura i Streszczenia,
- liczba przywołanych źródeł – 195 literaturowe + 17 internetowych.

3. Analiza treści rozprawy

3.1. Rozdział 1. pt. „Wprowadzenie”

W Rozdziale 1 Autor przedstawił genezę podjętego tematu pracy opartą na bazie przeglądu literatury. Przedstawił zarys danych statystycznych oraz rys historyczny problematyki rekonstrukcji wypadków drogowych.

3.2. Rozdział 2 pt. „Klasyczny model zderzenia i ruch pozderzeniowy”

Rozdział 2 zawiera wyniki dokonanego przez Autora przeglądu literatury. Opisał różne przykłady zdarzeń drogowych oraz pokazał problematykę ich rekonstrukcji. Pokazał, że klasyczne i ciągle stosowane metody obliczeń mogą prowadzić do znacznych błędów oszacowania wartości prędkości początkowej pojazdów, głównie z powodu ich nieprzewidywanego zachowania w fazie pozderzeniowej. Na podstawie przedstawionych wątpliwości Autor sformułował tezy oraz cel i zakres pracy. Autor powołał wiele źródeł literaturowych zarówno współczesnych jak i tych klasycznych.

3.3. Rozdział 3 pt. Cel i tezy pracy

W rozdziale 3 Autor wskazał potrzebę doskonalenia metod analizy zderzeń. Na podstawie wniosków z przeglądu literatury wskazał wybrane metody analizy zderzeń, które mogą być szczególnie przydatne do realizacji zamierzonego celu.

Na podstawie dokonanego przeglądu literatury Autor sformułował tezy pracy, w tym:

Wykorzystanie impulsu siły uderzenia, jako parametru wejściowego umożliwia wyznaczanie przed-zderzeniowych prędkości pojazdów.

Użycie impulsu siły uderzenia jako parametru kontrolnego pozwala na wyznaczenie przed-zderzeniowych prędkości samochodów przy wykorzystaniu innych metod.

Autor sformułował również cel naukowy pracy, którym jest: *opracowanie wzorów i zasad obliczania zderzeń, mając za podstawę impuls siły uderzenia.*

Natomiast celem użytkowym pracy było: *opracowanie komunikatywnego narzędzia przydatnego rekonstruktorom, jakim jest autorski program komputerowy Crash3Analizer.*

3.4. Rozdział 4 pt. „Proponowana metoda obliczeniowa”

W rozdziale Autor zaproponował schemat obliczeń prędkości początkowych pojazdów biorących udział w zderzeniu. Algorytm jest oparty na znanych zasadach fizyki przywołanych z literatury, a wykorzystywanych w pracach nad rekonstrukcją zderzeń pojazdów. Tu Autor przywołał metodę impulsu siły w powiązaniu z metodą odwrócenia pędów. Zastosowane we własnym oprogramowaniu *Crash3Analizer* metody zostały zobrazowane na schematach na przykładzie analizy prawdziwego zderzenia pojazdów.

3.5. Rozdział 5 pt. „Impuls siły uderzenia”

Autor opisał stan wiedzy na temat współczynnika restytucji w zastosowaniu do analizy zderzeń pojazdów. Przedstawił podstawowe wyrażenia oraz wyrażenia rozbudowane w różnych konfiguracjach zderzenia. Autor wykorzystał szereg źródeł literaturowych z dziedziny rekonstrukcji zderzeń pojazdów. Pokazał zależności współczynnika restytucji od prędkości względnej pojazdów. Zależności zostały pozyskane z licznych źródeł literaturowych.

Przedstawiono również zagadnienie impulsu siły w zastosowaniu do analizy zderzeń pojazdów. Autor od definicji przeszedł do zobrazowania impulsu siły na przykładzie zderzenia pojazdów, a rozbudowane wyrażenie zawiera wielkości charakteryzujące elementy konstrukcji tych pojazdów.

W kolejnych podrozdziałach Autor przedstawił problematykę ustalenia innych danych niezbędnych do przeprowadzenia analizy zderzenia pojazdów, w tym momentu bezwładności, pojazdów, punktu przyłożenia impulsu, kąta tarcia. Podobnie jak w poprzednich przypadkach Autor wykorzystał szeroką wiedzę pozyskaną na podstawie źródeł literaturowych.

3.6. Rozdział 6 pt. „Praca deformacji nadwozi”

W rozdziale Autor przedstawił podstawowe zależności i opis zjawisk, które determinują stan odkształcenia pojazdu podczas zderzenia. Zastosował tu wiedzę literaturową dokumentując ją bogatym materiałem ilustracyjnym. Tu przedstawił szereg modelowych oraz rzeczywistych przypadków zderzeń pojazdów. Autor odwołał się do baz danych z wynikami testów zderzeniowych, które uchodzą za wzorce deformacji pojazdów powstających podczas zderzenia. Autor wskazał, że na bazie prób zderzeniowych powstała metoda Crash3 – jednak z bardziej skutecznych metod szacowania prędkości zderzeniowej. Autor pokazał zasady wykorzystania tej metody oraz przykłady jej zastosowania w zderzeniach czołowych i bocznych w powiązaniu z impulsem siły. Wskazał jednocześnie na korzyści i ograniczenia tej

metody. Na przykładzie wybranych marek pojazdów Autor pokazał wyniki obliczeń prędkości zderzeniowej wykonanych przy pomocy autorskiego oprogramowania *Crash3Analizer*. Tu pokazał pola dialogowe umożliwiające wprowadzanie danych, ich pobieranie z bazy danych (na podstawie testów NHTSA) oraz pokazanie docelowych wyników obliczeń. Przykłady obliczeń dotyczyły zderzeń czołowych oraz bocznych.

3.7. Rozdział 7 pt. „Implementacja algorytmów w programie *Crash3Analizer*”

W rozdziale Autor zaprezentował schemat obliczeń oraz podstawy algorytmów obliczeniowych zastosowanych w autorskim programie *Crash3Analizer*. Pokazał główne zależności jakie zostały zastosowane w obliczeniach. Zastosowano przedstawione wcześniej zależności pozyskane z literatury skupione wokół metody *Crasch3*.

3.8. Rozdział 8 pt. „Przykłady obliczeń”

Autor pokazał zastosowanie przyjętej metody obliczeń na przykładzie zderzenia pojazdów osobowych w określonej konfiguracji. W obliczeniach wykorzystano metodę impulsu siły oraz wykresy pędów. Obliczenia wykonano w sposób bezpośredni, a następnie wyniki porównał z wynikami uzyskanymi w programie PC-Crash wraz z oceną błędów obliczeń. Pokazano wynik rekonstrukcji zderzeń dwóch pojazdów przy pomocy autorskiego programu *Crash3Analizer* w różnych wariantach. Autor przedstawił okna dialogowe programu, w których można wprowadzić, szkic zdarzenia i dane wejściowe oraz uzyskać wynik obliczeń w postaci wartości prędkości początkowych pojazdów. Pokazano również wyniki przeprowadzonego procesu optymalizacji-poszukiwania najbardziej wiarygodnego rozwiązania. Wyniki porównywano z wynikami uzyskanymi metodą obliczeniową z zastosowaniem klasycznych równań. Porównując wyniki obliczeń Autor wykazał zbieżność metod.

Autor przedstawił elementy rachunku niepewności w zastosowaniu do wykonywanych obliczeń. Tu odniósł się do podstawowej wiedzy literaturowej oraz do literatury fachowej dotyczącej niepewności rekonstrukcji zdarzeń drogowych. Autor wykonał również analizę niepewności obliczeń na przykładzie wybranego zderzenia pojazdów, wprowadzając najważniejsze dane wejściowe z ich własną niepewnością. Wykazał wartości niepewności obliczeń zobrazowane różnymi wskaźnikami. Autor pokazał strukturę wpływu niepewności danych wejściowych na niepewności wyniku obliczeń. To bardzo wartościowa część pracy własnej Autora. Autor podsumował przeprowadzone obliczenia, a także samokrytycznie opisał ograniczenia zaproponowanej metody trójkąta impulsów i pędów.

3.9. Rozdział 9 pt. „Podsumowanie i wnioski”

Autor dokonał podsumowania pracy. Wskazał na brak niektórych danych z miejsca wypadku drogowego lub na ich niedostateczną precyzję. Tu podkreślił, że największą wiarygodność procesu rekonstrukcji mogą zapewnić metody nie wymagające danych z po-zderzeniowej fazy wypadku, bazujące na jedynym, jednoznacznym i trwałym dowodzie jakim jest stan odkształcenia struktury pojazdów. Autor krótko i syntetycznie opisał osiągnięcia swojej pracy doktorskiej. Należą do nich:

a) W zakresie realizacji pomysłu

- analizy rzeczywistych zdarzeń drogowych z nieprzydatnym ruchem po-zderzeniowym,
- selekcja danych i obliczania zderzeń różnymi metodami,
- powstanie idei wykluczenia ruchu po-zderzeniowego z obliczeń parametrów zderzeń,
- wyprowadzenie zależności na impuls uderzenia na bazie EES,
- wyprowadzenie zależności na współczynnik restytucji na podstawie dostępnych badań,
- pomysł odwrócenia metody pędów z metody prof. Slibara do obliczania prędkości,

b) W zakresie analizy deformacji nadwozi (metody liniowe)

- przegląd metod wyznaczania energii straconej i parametrów EES,
- skompletowanie testów i wskazanie przydatnych zakresów EES do metody porównawczej,
- ustalenie zakresów współczynników do metody CRASH3 i ich obliczeniowa weryfikacja,
- porównanie różnych źródeł danych i sprawdzenie poprawności zakresów,
- wyznaczenie współczynników strefowych na bazie testów zderzeń bocznych,
- określenie roli współczynnika k, zmiana zakresów na bazie testów, porównanie wyników,
- opracowanie wymiennych zależności pomiędzy współczynnikami liniowymi k i A,B,
- wyprowadzenie zależności i współczynników dla zderzeń z niewielkim pokryciem,

c) W zakresie analizy deformacji nadwozi (metody nieliniowe)

- selekcja testów NHTSA dla zderzeń czołowych,
- wybranie charakterystyk i wyznaczenie przebiegów 127 testów,
- digitalizacja przebiegów zmienności siły w funkcji deformacji nadwozi,
- obliczenie zestawów danych dla 127 rastrów,
- statystyczna selekcja wyników i pomysł segregacji parametrów sztywnościowych,
- sprawdzenie przydatności uogólnionych zakresów na bazie testu zderzeniowego.

d) W zakresie autorskiego programu *Crash3Analizer*

- pomysł implementacji algorytmów energetycznych w programie,
- ustalenie kolejności działań i przedstawienie algorytmu obliczeń,
- wyprowadzenie zależności na prędkość kątową z pomiarem odległości przemieszczenia,
- pomysł weryfikacji obliczeń za pomocą bilansu widocznego na każdym etapie obliczeń,
- pomysł indywidualnego wyboru miejsca przyłożenia impulsu w programie,
- opracowanie bazy danych testów NHTSA do wykorzystania w obliczeniach parametrów A, B,
- opracowanie struktury programu dla wizualizacji zamkniętych trójkątów pędów,
- rozszerzenie funkcjonalności programu o możliwości rekonstrukcyjne,
- wprowadzenie zakładki z modelami Burga i Marquarda.

e) W zakresie walidacji metody obliczeń

- wybranie przydatnych zderzeń do obliczeń różnymi metodami,
- wykorzystanie metody trójkątów i sprawdzenie wyników,
- użycie metody Monte Carlo do porównania rezultatów,
- użycie metody rekonstrukcyjnej w programie,
- weryfikacja wyników metodą optymalizacji genetycznej,
- sprawdzenie metodą Leneberga-Marquarda,
- sprawdzenie zakresów impulsu uderzenia i poprawności wykorzystania metodą symulacyjną,
- przedstawienie możliwości symulacyjnych programu w zderzeniu czołowym na bazie testów,
- określenie niepewności wyliczenia impulsu i ustalenie zakresów wpływu danych na wynik impulsu.

4. Ocena merytoryczna pracy

Ocenę merytoryczną pracy oparto na kryteriach sformułowanych jako tytuły kolejnych podrozdziałów niniejszego rozdziału recenzji.

4.1. Oryginalność i znaczenie problemu badawczego

Autor podjął trudne wyzwanie opracowania metody rekonstrukcji zdarzenia drogowego bez konieczności korzystania z danych o zachowaniu pojazdów po zderzeniu. Na podstawie danych literaturowych oraz własnego doświadczenia przyjął słuszne założenie, że najbardziej wiarygodnym i trwałym śladem zderzenia jest stan odkształcenia pojazdów.

Znaczenie problemu jest duże. Praca dotyczy doskonalenia metod rekonstrukcji wypadków drogowych, bezustanna walka toczy się o wiarygodność procesu rekonstrukcji wypadków, którego wynik decyduje o ustaleniu udziału w winie ich sprawców.

W zakresie „Oryginalności i znaczenia problemu badawczego” pracę oceniam pozytywnie.

4.2. Poprawność formułowania wniosków, tez i celu pracy

Autor w różnych częściach pracy przedstawił elementy analizy literatury. Poszczególne części analizy literatury z reguły nie są bezpośrednio podsumowane wnioskami, których można oczekiwać w pracy doktorskiej. Szczególnie brakuje wyartykułowanych wniosków z analizy stanu zagadnienia. Mimo to same tezy pracy oraz jej cele zostały sformułowane jasno, a ich treść wyraźnie wynika z treści dokonanej analizy literatury.

Brakuje wniosków sformułowanych na zakończenie każdego z rozdziałów pracy, które wyraźnie są rozdzielone jako jej etapy. Widać jednak, że Autor wyciąga wnioski i z nich korzysta choć nie o wszystkich informuje czytelnika literalnie.

W podsumowaniu Autor sformułował wnioski końcowe zarówno ogólne jak i szczegółowe. Autor stwierdził również, że osiągnął cele pracy, a postawione tezy zostały udowodnione.

W zakresie „Poprawności formułowania wniosków, tez i celu pracy” oceniam pozytywnie.

4.3. Metody i metodyka badań

4.3.1 Metody badań

Autor przyjął do stosowania właściwy zestaw metod badawczych. Podstawową metodą wykonywanych badań jest metoda obliczeniowa. Jednak Autor stosuje w pracy bardzo bogaty zestaw danych pozyskiwanych w procesie oględzin miejsca zdarzenia drogowego, w tym stanu odkształceń pojazdów. Można stwierdzić, że jest to wsparcie eksperymentalne pracy, mimo że zderzenia pojazdów nie były eksperymentem zamierzonym i realizowanym przez Autora. Ważną częścią osiągnięcia Autora jest opracowanie zestawu danych dotyczących odkształceń pojazdów w modelowych testach zderzeniowych, których wyniki są udostępnione przez NHTSA. Autor dostosował udostępnione wyniki badań do potrzeb swojej metody obliczeniowej, a w autorskim oprogramowaniu korzysta z tych wyników. Bogaty materiał eksperymentalny jest silną stroną pracy.

W zakresie „Metod badań” pracę oceniam pozytywnie.

4.3.2 Metodyka badań

Zastosowana metodyka jest poprawna. Autor rozpoczął od analizy stanu zagadnienia i sformułowania problemu. Następnie Autor przedstawił teoretyczne podstawy i opis

matematyczny przyjętej metody obliczeniowej. W kolejnym etapie Autor pokazał sposób pozyskania danych do obliczeń, zweryfikował metodę. Dokonał porównania wyników obliczeń uzyskanych przy pomocy własnego oprogramowania z wynikami obliczeń wykonanych z zastosowaniem zależności klasycznych. Opracowanie oprogramowanie wykorzystał do analizy zderzeń w różnych wariantach wskazując na jego uniwersalne zastosowanie.

Ważnym elementem oprogramowania jest dodatkowa funkcja weryfikacji poprawności obliczeń bazujące na kontroli bilansu energii.

Wartościowym elementem wykonanych badań jest ocena błędu metody i wyznaczenie najważniejszych składników determinujących niepewność obliczeń. Autor zmierzył się z problemem oceny niepewności i struktury niepewności obliczeń.

Przedstawiony program autorski *Crash3Analyzer* jest właściwie wdrożeniem. Program jako produkt może być przedmiotem obrotu handlowego, jako narzędzie wspomagające pracę biegłych sądowych i rzeczoznawców w dziedzinie rekonstrukcji zderzeń pojazdów. Jest to ważny element dorobku Autora.

W zakresie „Metodyki badań” pracę oceniam pozytywnie.

4.4. Rozeznanie i wykorzystanie dotychczasowego stanu wiedzy

Pozytywną i wartościową częścią pracy jest bogaty przegląd literatury. Autor przywołał w pracy liczne źródła literaturowe i internetowe. Autor biegle przywołuje poszczególne pozycje literaturowe w miejscach gdzie jest to potrzebne. Widać bardzo dobre opanowanie wiedzy merytorycznej w zakresie poruszanych przez Autora zagadnień. Zarówno tezy jak i cele pracy Autor sformułował na podstawie problemów sformułowanych w przeglądowej części pracy.

W zakresie „Rozeznania i wykorzystania dotychczasowego stanu wiedzy” ocena pracy jest pozytywna.

4.5. Sposób prezentacji i opracowanie redakcyjne

Autor zastosował w pracy wiele rysunków, schematów i fotografii. Prezentowane treści pracy są bogato ilustrowane. To dobra strona pracy. Rysunki i wykresy są opisane właściwie zgodnie z zasadami, zapewniając im czytelność.

Praca jest przygotowana bardzo starannie. Znalaziono tylko nieliczne błędy redakcyjne, które przekazano Autorowi w elektronicznej wersji pracy. Autor nie ustrzegł również się nielicznych błędów językowych. Stosowane słownictwo w niektórych przypadkach jest niewłaściwe chociaż wiem, że wynika z żargonu stosowanego w środowisku rzeczoznawców. Przykłady takich sformułowań przedstawiono poniżej:

- „praca deformacji” – określenie występuje w tytule w kilku miejscach w tekście pracy,
- „wyliczenie ruchu pozderzeniowego” – strona 9,
- „układów optymalnopoślizgowych” – strona 9,
- „wyliczenie zderzenia” – strona 17,
- „ilość ruchu” – strona 20,
- „zmienia się ich ruch” – strona 26,
- „wyboczenie szkieletu” – strona 57,
- „uszkodzenie boków samochodu” – strona 78,

Określenia te, choć technicznie niepoprawne, nie obniżają istotnie merytorycznej wartości pracy. W merytorycznym kontekście treści, w której się znajdują czytelnik rozumie ich znaczenie i intencje Autora.

Układ treści pracy jest specyficzny. Praca przypomina bardziej książkę niż dysertację. Autor w niepełnym stopniu zadbał o powiązanie ze sobą poszczególnych elementów treści np. poprzez wnioski z części poprzedzających, które wykorzystuje w częściach następnych. Mimo to poszczególne części są ułożone w czytelnym i uzasadnionym porządku.

W zakresie „Sposobu prezentacji i opracowania redakcyjnego” ocena pracy jest pozytywna.

5. Wniosek końcowy

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgra inż. Roberta OWSIAŃSKIEGO pt. *„Modelowanie zderzeń samochodów osobowych w układzie dwuwymiarowym na podstawie pracy deformacji nadwozi”* w przedstawionym stanie treści i formy spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim. U podstaw takiego stwierdzenia leżą:

- oryginalne rozwiązanie problemu naukowego w postaci opracowania i zweryfikowania metody analizy zderzenia pojazdów na podstawie stanu ich odkształcenia,
- oryginalne opracowanie technologiczne w postaci aplikacji umożliwiającej analizę zderzenia, w tym wyznaczenia prędkości przed-kolizyjnej pojazdów.

Praca doktorska przedstawiona do oceny jest sformalizowaniem i uwieńczeniem wielkiego doświadczenia i wiedzy merytorycznej Autora w dziedzinie rekonstrukcji wypadków drogowych, a w szczególności zderzeń pojazdów. Jednocześnie opracowane autorskie oprogramowanie wspomagające pracę biegłych sądowych i rzeczoznawców zasługuje na uznanie, jako wdrożeniowy element dorobku naukowego Autora.

Wnioskuje o złożenie pracy do obrony, na której będę głosował za nadaniem Panu mgr. inż. Robertowi Owsiańskiemu stopnia naukowego doktora nauk technicznych.

