

Prof. dr hab. inż. Andrzej Reński  
Politechnika Warszawska  
Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych  
e-mail: andrzej.renski@pw.edu.pl

Warszawa. 12.04.2025

## R E C E N Z J A

rozprawy doktorskiej mgr inż. mgr inż. Pawła Posuniaka pt. „Analiza możliwości ograniczenia skutków uderzenia samochodu osobowego w tylne urządzenie zabezpieczające pojazdu ciężarowego”

Recenzja została opracowana na podstawie uchwały Rady Dyscypliny „Inżynieria Mechaniczna” Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego nr 33/RDN IM/2025 z dnia 19.02.2025.

### **1. Ocena tematu i celu rozprawy**

Tematyka pracy dotyczy bardzo ważnego i aktualnego problemu poprawy bezpieczeństwa ruchu. Tragiczne często skutki wypadków drogowych, w których samochód osobowy uderza w tył samochodu ciężarowego i wjeżdża pod skrzynię ładunkową, uzasadniają prowadzenie badań, mających na celu poprawę ochrony pasażerów samochodu osobowego. Stosowane obecnie tylne urządzenia zabezpieczające w postaci sztywnej belki uniemożliwiającej wjechanie samochodu osobowego pod przestrzeń ładunkową samochodu ciężarowego chronią tylko przed penetracją tylnej części samochodu ciężarowego do wnętrza przestrzeni pasażerskiej, natomiast nie zmniejszają opóźnień działających na pasażerów samochodu osobowego. Będąc tematem pracy modyfikacja tylnego urządzenia zabezpieczającego, polegająca na wyposażeniu go w elementy energochłonne, mogłaby, jak to wykazano w pracy, w istotny sposób poprawić sytuację pasażerów samochodu osobowego w przypadku tego typu wypadków drogowych.

Autor sformułował w rozprawie kilka celów prowadzonych badań. Celem głównym było wskazanie możliwości udoskonalenia tylnego urządzenia zabezpieczającego pojazdu ciężarowego w aspekcie ograniczenia skutków zderzenia. Jako cel naukowy wskazał analizę

teoretyczną wpływu zastosowania absorberów na zmniejszenie obciążeń działających na samochód osobowy uderzający w tył pojazdu ciężarowego. Ważnym celem praktycznym (inżynierskim) było zaproponowanie konstrukcji, struktury i materiałów absorbera umieszczonego w tylnym urządzeniu zabezpieczającym pojazd ciężarowego, co jeszcze zostało znacznie rozszerzone o przeprowadzone badania laboratoryjne zaproponowanych rozwiązań.

Biorąc to wszystko pod uwagę należy uznać, że Doktorant właściwie wybrał temat i cel pracy zarówno aspekcie inżynierskim, jak i naukowym, wychodząc naprzeciw aktualnym potrzebom poprawy bezpieczeństwa użytkowników ruchu drogowego.

## **2. Analiza treści rozprawy**

Praca jest obszerna. Ma objętość 183 strony wydruku, na co składa się 11 rozdziałów, bibliografia, licząca 108 pozycji źródeł drukowanych i internetowych, oraz 3 załączniki.

We wstępie (rozd. 1) Autor omówił zagrożenia wynikające ze zderzenia tylnego, w którym następuje uderzenie samochodu osobowego w tył samochodu ciężarowego oraz przedstawił statystykę tego typu zdarzeń drogowych. Na tym tle omówił znaczenie tylnego urządzenia zabezpieczającego (RUPD) jako podstawowego elementu powstrzymującego samochód osobowy przed wjechaniem pod tył przestrzeni ładunkowej samochodu ciężarowego.

Rozdział 2 to zestawienie wymagań normatywnych tylnych urządzeń zabezpieczających, obowiązujących w Europie (Regulamin 58 EKG ONZ) oraz w innych krajach.

W rozdziale 3 przedstawiono analizę różnych rozwiązań konstrukcyjnych tylnych urządzeń zabezpieczających. Szczególną uwagę zwrócono na rozwiązania zabezpieczające nie tylko przed wjechaniem samochodu osobowego pod tył samochodu ciężarowego, ale również zawierające elementy pochłaniające energię uderzenia.

Rozdział 4 to przegląd opatentowanych rozwiązań tylnych urządzeń zabezpieczających pochłaniających energię kinetyczną uderzenia. W wyniku tych poszukiwań Autor stwierdził, że na terenie Polski zarejestrowanych jest kilka rozwiązań chronionych patentami lub jako wzory użytkowe, jednak żadne z nich nie jest zbliżone technicznie do koncepcji będącej przedmiotem prowadzonych przez Autora prac badawczych i projektowych.

W rozdziale 5 Autor, wychodząc od stanu techniki omówionego w rozdz. 3 i 4, przedstawił cel i zakres rozprawy. Stwierdził, że obecne konstrukcje tylnych urządzeń zabezpieczających pojazdów ciężarowych stanowią zaporę przed wjechaniem samochodu

osobowego pod tył pojazdu ciężarowego, jednak urządzenia te nie pochłaniają energii zderzenia (lub pochłaniają niewielką część tej energii), dlatego nie zmniejszają poziomu obciążeń, jakim poddawani są pasażerowie samochodu osobowego podczas uderzenia w tył samochodu ciężarowego. W związku z tym Autor jako główny cel pracy wskazał zbadanie możliwości udoskonalenia tylnego urządzenia zabezpieczającego pojazd ciężarowego w celu ograniczenia skutków zderzenia. Celem naukowym była natomiast analiza wpływu zastosowania absorberów na zmniejszenie obciążeń działających na samochód osobowy uderzający w tył pojazdu ciężarowego. Wreszcie jako cel praktyczny wskazano takie udoskonalenie konstrukcji absorbera, umieszczonego w tylnym urządzeniu zabezpieczającym pojazd ciężarowego, żeby pozwolił na ograniczenie skutków zderzenia samochodu osobowego z tyłem pojazdu ciężarowego przy jednoczesnym spełnieniu wymagań normatywnych.

Zakres pracy jest bardzo obszerny. Składa się na niego cały szereg zrealizowanych zadań badawczych, z których za najważniejsze należy uznać:

- Opracowanie koncepcji tylnego urządzenia zabezpieczającego.
- Opracowanie nowej konstrukcji absorbera umieszczonego w tylnym urządzeniu zabezpieczającym samochodu ciężarowego.
- Opracowanie założeń konstrukcyjnych i koncepcji budowy stanowiska do badań wytrzymałościowych tylnych urządzeń zabezpieczających.
- Badania energochłonności materiałów i struktur absorberów.
- Opracowanie modelu obliczeniowego zderzenia samochodu osobowego i ciężarowego oraz badania symulacyjne.
- Analiza wpływu właściwości konstrukcyjno-materiałowych tylnego urządzenia zabezpieczającego (z absorberem) na poziom obciążeń działających na samochód osobowy uderzający w tył pojazdu ciężarowego.

Tak obszerny zakres pracy wskazuje na całościowe podejście Autora do badanego zagadnienia.

W rozdziale 6 Autor przedstawił koncepcję tylnego urządzenia zabezpieczającego, które będzie rozpraszać w sposób zamierzony i kontrolowany energię uderzenia samochodu osobowego w tył pojazdu ciężarowego, a jednocześnie będzie spełniało wymagania prawne, będąc przy tym tanie i łatwe w produkcji. Porównując energię pochłoniętą przez strukturę samochodu osobowego i tylnego urządzenia zabezpieczającego wykazano, że zwiększenie wartości pochłanianej w trakcie zderzenia energii można uzyskać zwiększając podatność tylnego urządzenia zabezpieczającego przez wyposażenie go w odpowiednie absorbery. Wymieniono wstępne wymagania dla materiałów pochłaniających energię uderzenia stosowanych na

absorbery, które powinny się charakteryzować małą sprężystością i dużymi naprężeniami dopuszczalnymi oraz dużą zdolnością odkształcania. Sformułowano też podstawowe cechy, jakimi powinny charakteryzować się absorbery energii, z których najważniejsze to nieodwracalna konwersja energii kinetycznej uderzenia i ustalona wartość przebiegu siły w funkcji deformacji przy niewielkiej masie, niskim koszcie produkcji i łatwej instalacji. Za najczęściej stosowane rozwiązania wskazano struktury cienkościenne (np. o budowie plastra miodu) lub struktury oparte na spienionym metalu (np. pianka aluminiowa), a także materiały kompozytowe. Omówiono zalety i wady różnych rozwiązań.

W rozdziale 7 przedstawiono stanowisko do quasi-statycznych testów wytrzymałościowych, zbudowane na potrzeby realizacji prac badawczych w Laboratorium Bezpieczeństwa Pojazdów w Łukasiewicz – PIMOT. Autor rozprawy opracował założenia konstrukcyjne oraz wstępne koncepcje budowy stanowiska. W pracy zamieszczony jest opis zbudowanego stanowiska.

Odrębnym zagadnieniem były badania eksperymentalne struktur energochłonnych, opisane w rozdziale 8. Wstępne badania quasi-statyczne polegały na ściskaniu próbek różnych materiałów. W trakcie badań rejestrowano wartość zadawanej siły oraz odkształcenie próbki. Na podstawie wyników tych testów wytypowano próbki do dalszych badań zderzeniowych, których metodyka została opracowana przez Autora pracy. Badanie polegało na uderzaniu wózkiem zderzeniowym z zamontowaną próbką w nieodkształcalną barierę i rejestracji opóźnienia wózka w funkcji deformacji próbki. Badania powtarzano dla różnych prędkości uderzenia. Wyniki porównano z wynikami badań przeprowadzonych w PIMOT dla crash-boxów stosowanych obecnie w samochodach. We wnioskach z badań stwierdzono, że najlepsze z rozpatrywanych absorberów byłyby w stanie pochłoniąć kilkanaście procent całkowitej energii uderzenia samochodu osobowego w tył samochodu ciężarowego.

Wykorzystując wyniki przeprowadzonych badań oraz uwzględniając stan techniki, Autor opracował koncepcję budowy nowatorskiego absorbera, zaprojektował jego zabudowę w tylnym urządzeniu zabezpieczającym, a następnie przeprowadził badania prototypu. Ten etap pracy opisany został w rozdziale 9. Zaprojektowany absorber energii, wykorzystujący proces skrawania materiału do pochłaniania energii kinetycznej uderzenia jest rozwiązaniem innowacyjnym. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują na dużą skuteczność zaproponowanego rozwiązania, przy znacznej prostocie konstrukcji i niskim koszcie wytworzenia w porównaniu z innymi analizowanymi rozwiązaniami. Na opracowany absorber złożono wniosek o udzielenie patentu.

Istotnym dopełnieniem tematyki rozprawy jest przedstawiony w rozdziale 10 model obliczeniowy, opisujący zderzenie tylne samochodu osobowego z ciężarowym, oraz wykonane przy jego pomocy badania symulacyjne takiego zderzenia. Porównanie wyników obliczeń z wynikami wcześniej opisanych badań stanowiskowych potwierdziło prawidłowe działanie modelu. Model symulacyjny uwzględniał strefę energochłonną przodu samochodu osobowego, co byłoby trudne do zrealizowania w badaniach stanowiskowych. Wykorzystanie obliczeń symulacyjnych w istotny sposób umożliwiło rozszerzenie badań działania tylnego urządzenia zabezpieczającego, ponieważ dało możliwość uwzględnienia rozpraszania energii w strefie energochłonnej przodu samochodu osobowego. Dzięki temu możliwe było porównanie ilości energii rozpraszanej w absorberze samochodu ciężarowego i w strefie energochłonnej samochodu osobowego. Wyniki badań symulacyjnych potwierdziły celowość stosowania absorberów w samochodzie ciężarowym, ponieważ dzięki temu można uzyskać znaczny spadek wartości opóźnień działających na pasażerów samochodu osobowego, nawet do przeszło 50% w stosunku do sytuacji bez tego absorbera.

Rozdział 11 stanowi podsumowanie przedstawionych w pracy wyników badań. W tym podsumowaniu Autor stwierdza, że został zrealizowany główny cel pracy, a mianowicie przeprowadzenie analiz możliwości doskonalenia urządzenia zabezpieczającego przed wjechaniem przez samochód osobowy pod tył pojazdu ciężarowego. Trochę na wyrost jest jednak stwierdzenie, że w ramach prowadzonych prac badawczych, opracowano tylne urządzenie zabezpieczające, które jednocześnie będzie spełniało wymagania prawne, będzie relatywnie tanie i łatwe w produkcji, a do tego będzie skutecznie absorbować energię uderzenia. Bardziej realistyczne byłoby stwierdzenie, że opracowano koncepcję takiego urządzenia. Za najważniejsze swoje oryginalne osiągnięcia Autor uznał:

- Opracowanie absorbera energii, wykorzystującego efekt skrawania materiału (zgłoszenie patentowe).
- Opracowanie stanowiska do quasi-statycznych badań wytrzymałościowych absorberów.
- Zaplanowanie i przeprowadzenie badań eksperymentalne zarówno quasi-statycznych jak i dynamicznych, pozwalających na wytypowanie struktur i materiałów najlepiej pochłaniających energię.
- Opracowanie modelu matematycznego zderzenia samochodu osobowego z pojazdem ciężarowym, w których uwzględniono nie tylko absorber samochodu ciężarowego, ale także strefę energochłonną samochodu osobowego.

- Przeprowadzenie badań symulacyjnych dla różnych mas zderzanych pojazdów oraz różnych prędkości uderzenia, potwierdzających celowość zastosowania opracowanych absorberów.

Na podstawie przeprowadzonych badań Autor sformułował szereg wniosków, z których za najważniejsze można uznać wskazanie możliwości opracowania tylnego urządzenia zabezpieczającego, które pozwoli na istotne zmniejszenie opóźnień działających na pasażerów samochodu osobowego uderzającego w tył pojazdu ciężarowego oraz wykazanie, że szczególnie efektywne może być zastosowanie w tym urządzeniu absorbera energii, wykorzystującego efekt skrawania materiału. Przedstawił również perspektywy prowadzenia dalszych badań nad doskonaleniem absorberów, rozszerzeniem możliwości ich zastosowania np. do ochrony akumulatorów w samochodach elektrycznych oraz wskazał na potrzebę rozbudowy modelu matematycznego zderzenia o możliwość odwzorowania różnych kierunków uderzenia.

### **3. Ocena merytoryczna**

Rozprawa obejmuje bardzo szeroki zakres materiału. Punktem wyjścia było z jednej strony rozpoznanie potrzeb społecznych, jakimi są działania w celu ograniczenie zagrożeń związanych z wypadkami drogowymi, a z drugiej analiza stany techniki w zakresie ochrony pasażerów samochodów osobowych w przypadku zderzenia z samochodem ciężarowym. Wysoko należy ocenić całościowe podejście Autora do analizowanego problemu. Obejmuje ono zarówno analizę teoretyczną w postaci badań symulacyjnych zderzeń, przeprowadzonych za pomocą opracowanego przez siebie modelu obliczeniowego, jak działania inżynierskie, polegające na zaprojektowaniu różnych rozwiązań absorberów, a także badania laboratoryjne wykonanych absorberów, pozwalające na wybór najlepszego rozwiązania.

W badaniach laboratoryjnych ograniczono się do badania jedynie samych absorberów, co nie pozwalało na ocenę ich wpływu na cały proces zderzenia samochodu osobowego z ciężarowym. Badania obejmujące oba pojazdy wymagałyby jednak wykorzystania odkształcalnej bariery, odwzorowującej podatność przodu samochodu osobowego. Byłoby to bardzo kosztowne i wykraczało znacznie poza ramy pracy doktorskiej. Doktorant pokonał tę trudność, prowadząc odpowiednie obliczenia symulacyjne, w których dzięki opracowanemu przez siebie modelowi mógł uwzględnić nie tylko tylne urządzenie zabezpieczające samochodu ciężarowego z absorberami energii, ale także odkształcenia przedniej strefy energochłonnej samochodu osobowego.

Badania laboratoryjne zostały przeprowadzone w Laboratorium Bezpieczeństwa Pojazdów w Łukasiewicz – PIMOT, co w oczywisty sposób wymagało pracy zespołowej. W każdym przypadku pracy zespołowej Doktorant w wyraźny sposób deklarował, jaki był jego osobisty wkład merytoryczny w prowadzone badania.

#### **4. Uwagi redakcyjne**

Praca jest ogólnie poprawnie zredagowana. Nie ma istotnych usterek edytorskich.

Dyskusyjna może być kolejność rozdziałów. Jeśli przyjąć za właściwy tok postępowania od teorii do praktyki, to rozdział 10 „Model matematyczny zderzenia samochodów” powinien być wcześniej, np. jako rozdz. 6, przed omówieniem rozwiązań praktycznych i badań eksperymentalnych. Ale można też zgodzić się z takim podejściem, że badania symulacyjne, opisane w rozdz. 10, mają odwzorować wyniki badań laboratoryjnych i umożliwić badanie tego, co w praktyce byłoby trudne lub bardzo kosztowne.

Wydaje się, że czytelność rozprawy byłaby lepsza, gdyby Autor prezentując przeprowadzone badania laboratoryjne ograniczył się do pokazania tylko najistotniejszych wyników. Nagromadzenie dużej liczby rezultatów badań, często niewiele różniących się od siebie, utrudnia czytelnikowi wychwycenia najistotniejszych osiągnięć Autora.

Pewne zastrzeżenia budzi nierównomierny podział treści na rozdziały: od najkrótszego liczącego 2 strony do najdłuższych liczących kilkadziesiąt stron. W szczególności rozdziały od 2 do 4 można byłoby scalić w jeden rozdział pod tytułem, na przykład, „Stan techniki...” lub podobnie.

W pracy można wskazać kilka mniej istotnych uchybień, dotyczących edycji pracy, a mianowicie:

- Str. 78 – lepiej byłoby, gdyby tabela 8.5 zmieściła się cała na jednej stronie.
- Niektóre wykresy (np. na rys. 8.12, 8.13, 8.19, 10.10, 10.11) są mało czytelne, bo jest na nich zbyt wiele linii, trudnych do zróżnicowania. Celowe byłoby rozdzielenie przedstawianych tu zależności na kilka wykresów.

#### **5. Ocena końcowa**

Omawiana rozprawa potwierdza, że Doktorant z powodzeniem zrealizował główny cel pracy, wykazując możliwość udoskonalenia tylnego urządzenia zabezpieczającego pojazdu ciężarowego przez wyposażenie go w absorbery energii, ograniczające skutki zderzenia dla pasażerów samochodu osobowego. Opracowując model obliczeniowy i przeprowadzając

badania symulacyjne zderzenia samochodu osobowego z tyłem samochodu ciężarowego zrealizował również cel naukowy pracy. Planując i realizując bardzo szeroki zakres badań laboratoryjnych potwierdził swoje wysokie kompetencje w tym zakresie. Istotnym osiągnięciem inżynierskim jest opracowanie nowatorskiego rozwiązania absorbera, wykorzystującego efekt skrawania materiału. Wartość praktyczną tego rozwiązania potwierdza fakt zgłoszenia wniosku o ochronę patentową

Z przekonaniem stwierdzam, że rozprawa spełnia warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Wnioskuje więc o dopuszczenie mgr inż. Pawła Posuniaka do publicznej obrony. Rozprawa doktorska kwalifikuje się do dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna.

Biorąc pod uwagę bardzo obszerny i całościowy zakres tematyczny rozprawy, wysoki poziom merytoryczny oraz jej innowacyjny charakter, a także fakt, że wpisuje się ona w ważną ze względów społecznych problematykę poprawy bezpieczeństwa ruchu drogowego wnioskuję o wyróżnienie pracy.