

RECENZJA

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

Podstawa sporządzenia opinii: Uchwała Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna” Wojskowej Akademii Technicznej nr 33/RDN IM/2025 z dnia 19.02.2025, podpisana przez dr hab. inż. Stanisława Kachela, profesora uczelni, Przewodniczącego RDN.

Ogólna charakterystyka pracy

Przedstawiona do recenzji rozprawa o wyżej wymienionym tytule jest pracą o objętości 183 stron i składa się z 11 rozdziałów, Bibliografii, trzech Załączników, Wykazu ważniejszych oznaczeń, Spisu tabel i Spisu rysunków. Wykaz literatury obejmuje 108 pozycji, w tym: 92 pozycje drukowane, 16 źródeł internetowych oraz 8 patentów, norm i regulaminów. Spośród wszystkich cytowanych źródeł 80 to pozycje opublikowane w języku angielskim.

Autor podejmuje w pracy bardzo ciekawy i wartościowy problem naukowy z punktu widzenia teoretycznego, a szczególnie praktycznego. Jest to problem doskonalenia tylnych urządzeń zabezpieczających (RUPD) stosowanych w pojazdach ciężarowych.

Wypadki, w których uczestniczą samochody znacznie różniące się masą, sztywnością struktur konstrukcyjnych, oraz wymiarów należą do najtragiczniejszych w skutkach. Aby temu zapobiegać zainicjowano wiele programów badawczych, których celem jest zapewnienie kompatybilności samochodów osobowych i ciężarowych. Od wielu lat istnieją uregulowania prawne w tym zakresie. Wiele samochodów ciężarowych wyprodukowanych w latach wcześniejszych miało zderzak usytuowany zbyt wysoko, co powodowało, że podczas kolizji samochód osobowy wjeżdżał pod tylną część samochodu ciężarowego. W podobny sposób przebiega zderzenie również w tych przypadkach, gdy zderzak usytuowany jest nisko, ale ma małą sztywność. Oprócz typowych deformacji części przedniej samochodu osobowego, następuje wówczas ścinanie górnej części jego nadwozia, co jest szczególnie niebezpieczne dla pasażerów. W literaturze określane jest to niekiedy „efektem gilotynowania”.

W nowszych konstrukcjach, zgodnych z zaleceniami Regulaminu EKG ONZ nr 58, stosowany jest nisko usytuowany zderzak tylny. Aby jednak postulat kompatybilności pojazdów był spełniony, zderzak taki powinien nie tylko spełniać odpowiednie wymagania

wymiarowe, ale powinien posiadać zdolność pochłaniania pewnej ilości energii, aby ograniczyć wielkość deformacji samochodu osobowego podczas zderzenia. W literaturze prezentowanych jest wiele koncepcji zderzaków energochłonnych, które dzięki odpowiednio dobranym własnościom sprężysto - tłumiącym przejmują w sposób kontrolowany część energii zderzenia, łagodząc w ten sposób skutki zderzenia oddziaływujące na pasażerów samochodu osobowego. Jednak bardzo groźne skutki najechania samochodu osobowego na tył samochodu ciężarowego powodują, że nadal w wielu ośrodkach prowadzone są prace analityczne i badawcze mające na celu zwiększenie skuteczności ochrony pasażerów samochodów osobowych w tego typu wypadkach.

W ten nurt poszukiwań naukowych i technicznych, wpisuje się recenzowana praca. Powyższe krótkie uzasadnienie pokazuje, że wybór tematu rozprawy należy uznać za trafny. Pozytywnie należy również ocenić wybór zastosowanych w pracy metod badawczych oraz konsekwentnie realizowany proces badawczy. Doktorant przeprowadził rzetelną analizę wiedzy i wymagań formalno-prawnych dotyczących tylnych urządzeń zabezpieczających w samochodach ciężarowych. Przeprowadził szereg badań eksperymentalnych struktur energochłonnych pod kątem zastosowania ich w zderzakach RUPD, w tym zaproponowanego w pracy autorskiego rozwiązania konstrukcyjnego. Następnie zbudował matematyczny model zderzenia samochodów i wykorzystał go w badaniach symulacyjnych.

Analiza treści rozprawy

Część wstępna pracy składa się z pięciu rozdziałów. Rozdział pierwszy to Wprowadzenie, w którym Autor przedstawia krótką analizę statystyczną wypadków drogowych, ze szczególnym uwzględnieniem, zderzeń tylnych, w których samochód osobowy uderza w tył pojazdu ciężarowego. Spośród siedmiu konfiguracji takiego zderzenia, wytypowany został rodzaj występujący najczęściej.

W rozdziale drugim przeanalizowane zostały wymagania normatywne i prawne stawiane tylnym urządzeniom zabezpieczającym (RUPD) stosowanym w pojazdach ciężarowych. Wskazano, że stawiane tym urządzeniom wymagania ograniczają się głównie do postulatów wytrzymałościowych, czyli konieczności zapewnienia odpowiedniej sztywności RUPD, uniemożliwiającej wjechanie samochodu osobowego pod tylną część pojazdu ciężarowego. Problem pochłaniania energii kinetycznej uderzającego samochodu osobowego nie jest uwzględniany.

Rozdział trzeci i czwarty to analiza opracowanych konstrukcji tylnych urządzeń zabezpieczających na podstawie źródeł literaturowych i baz patentowych. Stwierdzono, że zagadnienie pochłaniania energii zderzenia przez RUPD pojawia się w publikacjach naukowych oraz zgłoszeniach patentowych, jednak tylko jedno z opisanych rozwiązań zostało wdrożone do użytku.

Wnioski z przeprowadzonych w rozdziałach 1 ÷ 4 analiz, posłużyły Doktorantowi do sformułowania w rozdziale piątym celu i zakresu rozprawy. Wskazał On: cel główny, cel naukowy i cel praktyczny pracy.

Część badawczą pracy rozpoczyna rozdział szósty, w którym Autor przedstawił własną koncepcję RUPD absorbującego energię zderzenia oraz spełniającego wymagania prawne. Zaproponowana koncepcja RUPD wykorzystuje elementy klasycznego tylnego urządzenia zabezpieczającego, uzupełnionego dodatkowo o absorbery pochłaniające energię zderzenia. W rozdziale tym przedstawiono ponadto, w oparciu o źródła literaturowe, 9 struktur pochłaniających energię (absorberów), charakteryzując najistotniejsze ich cechy.

W rozdziale siódmym opisano opracowane i zbudowane w Łukasiewicz – Przemysłowym Instytucie Motoryzacji, przy znaczącym udziale Doktoranta, stanowisko do quasi-statycznych testów wytrzymałościowych absorberów energii.

Przebieg quasi-statycznych i dynamicznych (zderzeniowych) badań wytrzymałościowych próbek wytypowanych materiałów, mających zdolność pochłaniania (absorbowania) energii uderzenia oraz analizę otrzymanych wyników opisano w rozdziale ósmym. W rozdziale tym opisano również badania czterech dostępnych, stosowanych w samochodach osobowych, struktur pochłaniających energię zderzenia (tzw. crash-boxów). Dla tych konstrukcji przeprowadzono te same badania (quasi-statyczne i dynamiczne), jak dla wymienionych powyżej próbek materiałów absorbujących energię. Na podstawie przeprowadzonych badań i analizy ich wyników wytypowano najskuteczniejsze spośród analizowanych absorbery nadające się do zamontowania w tylnym urządzeniu zabezpieczającym pojazd ciężarowy.

W rozdziale dziewiątym przedstawiono własną koncepcję absorbera, w którym do pochłaniania energii uderzenia wykorzystano opór skrawania materiału. Przeprowadzono te same badania, jak dla materiałów i struktur badanych w rozdziale ósmym. Wyniki tych badań porównano z wynikami wcześniej badanych absorberów. Oceniono, że opracowany absorber osiągnął wysoką skuteczność pochłaniania energii.

W rozdziale dziesiątym przedstawiono opracowany i zweryfikowany model dynamiczny zderzenia samochodu osobowego z pojazdem ciężarowym wyposażonym w tylne urządzenie zabezpieczające. Model ten wykorzystano do porównawczych badań prowadzonych metodą symulacji komputerowej, w których urządzenie RUPD wyposażano w różne badane rodzaje absorberów energii. W badaniach tych symulowano wiele wariantów zderzenia różniących się m.in. masami pojazdów i prędkościami zderzenia.

Rozdział jedenasty zawiera podsumowanie pracy i uwagi końcowe. Sformułowane są w nim wnioski wskazujące, że sformułowane w rozdziale piątym cele zostały osiągnięte. Autor wskazał również kierunki dalszych badań.

Po rozdziale jedenastym (końcowym) podany jest wykaz literatury (Bibliografia). Zakończeniem pracy są trzy załączniki zawierające: 1. Wyniki badań zderzeniowych dla wybranych absorberów; 2. Wyniki badań zderzeniowych dla crash-boxów stosowanych w pojazdach i 3. Równania opisujące model matematyczny zderzenia.

Uwagi krytyczne dotyczące rozprawy

Praca jako całość, pod względem merytorycznym zasługuje na pozytywną ocenę. Napisana jest bardzo starannie i niemal nie zawiera błędów językowych i edycyjnych. Nieliczne

uwagi krytyczne przedstawiam poniżej, w kolejności pojawiania się w tekście. Chciałbym zaznaczyć, że uwag tych jest relatywnie mało, a ponadto w większości dotyczą drobnych uchybień.

1. Str. 33, linia 10^g – użyto określenia: „... najbardziej optymalna”. Przecież „optymalna” jest synonimem słowa „najlepsza” (według przyjętego kryterium optymalizacji). Czy zatem użył by Pan określenia: „najbardziej najlepsza”?
2. Str. 50, rozdz. 5 – szkoda, że zgodnie z zapisem Ustawy „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” Art. 187 i wytycznymi RDN nie został sformułowany problem naukowy, który Doktorant w swej pracy zamierzał rozwiązać.
3. Str. 59, linie 13^g i 14^g – Podane wymiary charakteryzują prostopadłościan, a nie sześciąt.
4. W rozdz. 8.2, str. 73 i dalsze – próbki materiałów o różnych strukturach poddano badaniom zderzeniowym prowadzonym dla 4 prędkości (2,8; 5,6; 6,7 i 8,9 m/s), nie podając jakiegokolwiek uzasadnienia lub komentarza, dlaczego wybrano właśnie takie cztery prędkości uderzenia i dlaczego nie przeprowadzono prób dla wyższych prędkości (maksymalna prędkość w tych badaniach to 8,9 m/s, czyli 32,04 km/h).
5. Str. 83, rys. 8.12 i str. 90, rys. 8.19 – Doktorant powinien zdecydować się i konsekwentnie posługiwać się w pracy przyspieszeniem lub opóźnieniem. W tym samym rozdziale mamy raz wykresy przyspieszenia, a dalej wykresy opóźnienia.
6. W rozdz. 8.3, str. 85 opisano próby zderzeniowe wybranych (stosowanych w samochodach osobowych) struktur pochłaniających energię zderzenia (tzw. crash-boxów) też dla 4 prędkości, ale innych niż w rozdz. 8.2 (str. 86, linia 5^g: 2,8; 4,4; 5,6 i 6,7 m/s), również nie podając uzasadnienia ich wyboru. W tym przypadku prędkość maksymalna w badaniach była jeszcze mniejsza i wynosiła 6,7 m/s, czyli 24,12 km/h.
7. W rozdz. 9, Str. 93 – dla opracowanego absorbera próby zderzeniowe przeprowadzono tylko dla 2 prędkości uderzenia (5,6 i 6,7 m/s – rys. 9.5) i dla 4 prędkości (rys. 9.6), przy czym w tym przypadku powrócono do wartości prędkości z rozdz. 8.2, znowu bez uzasadnienia.
8. Str. 97, linia 2_d – styl: „... przy natomiast dla ...”.
9. W rozdz. 10.2, str. 116 – do badań symulacyjnych zastosowano 2 wartości prędkości: 8,9 i 11,1 m/s (tab. 10.5 i dalsze). Tu również brak jakiegokolwiek uzasadnienia tej decyzji. Pierwszą z tych prędkości stosowano do badań eksperymentalnych próbek materiałów o różnych strukturach (rozd. 8.2) i do opracowanej własnej konstrukcji. Badania struktur pochłaniających energię (crash-boxów) przeprowadzono wyłącznie dla prędkości mniejszych niż 8,9 m/s. Maksymalna, stosowana w tych badaniach prędkość wynosiła 6,7 m/s, czyli była aż o około 25% mniejsza. Prędkości 11,1 m/s (ok. 40 km/h) nie stosowano w żadnej z 3 serii badań opisywanych wcześniej w rozdziałach 8.2; 8.3 oraz 9. Dlaczego? Skąd wzięły się dane (charakterystyki struktur) do badań symulacyjnych, skoro dla tej ostatniej prędkości nie wyznaczano charakterystyk elementów?
10. W rozdz. 10.2.1 – wielokrotnie używane jest w tekście sformułowanie: „z i bez absorbera”. Poprawniejsze językowo byłoby sformułowanie: „z absorberem i bez”.

Poza wymienionymi uchybieniami praca napisana jest bardzo starannie. Wszystkie sformułowania są precyzyjne, stosowana jest poprawna terminologia naukowa i techniczna. W wykazie uwag krytycznych nie wskazano znaczących błędów merytorycznych.

Ocena końcowa rozprawy

Recenzowaną rozprawę doktorską oceniam pozytywnie. Przedstawione uwagi krytyczne nie podważają pozytywnej oceny pracy. Uważam, że zadanie jakie podjął Autor w rozprawie zostało w sposób poprawny i obszerny rozwiązane z wykorzystaniem wiedzy z różnych dziedzin inżynierii mechanicznej, techniki pomiarowej oraz techniki komputerowej. Autor wykazał, że dobrze opanował tę wiedzę i potrafi się nią skutecznie posługiwać do rozwiązywania problemów naukowych i technicznych.

Praca mgr inż. Pawła Posuniaka posiada cechy poprawnie przeprowadzonej pracy naukowej. Autor wykazał, że potrafi w sposób poprawny prowadzić różnorodne badania i analizy, pozwalające na kompleksową ocenę badanego zjawiska. Praca zrealizowana jest rzetelnie. Jako całość stanowi logiczną i spójną analizę wpływu zastosowania różnych rodzajów absorberów na zmniejszenie obciążeń działających na samochód osobowy uderzający w tył pojazdu ciężarowego.

Recenzowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie interesującego z teoretycznego punktu widzenia, a zarazem mającego potencjalnie bardzo dużą wartość utylitarną problemu naukowego. Problem ten jest w ostatnich latach tematem aktualnym i podejmowanym w wielu pracach badawczych i publikacjach naukowych.

Uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Pawła Posuniaka spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązującą Ustawę z dnia 14 lipca 2018r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (z późniejszymi zmianami), dlatego wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

