

Recenzja rozprawy doktorskiej n. t.

***„Deformacja nadwozia podczas zderzenia czołowo-bocznego samochodów  
i powstawanie zagrożenia dla kierowcy“***

Autor: mgr inż. **Mateusz Ziubiński**

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Mechanicznej,  
Instytut Pojazdów i Transportu

**A. Ogólna charakterystyka ocenianej rozprawy doktorskiej.**

Rozprawa dotyczy problemów związanych z modelowaniem i oceną skutków zderzeń dwóch samochodów. Autor skupił się na ich zderzeniach czołowo-bocznych (ZCB). Wspomina, że co trzecie zdarzenie w ogólnej liczbie wypadków drogowych w Polsce to ZCB. Ten udział rośnie, mimo spadku ogólnej liczby wypadków. Udział ofiar śmiertelnych ZCB jest duży. Co trzecia osoba odnosząca obrażenia w wypadku drogowym doświadcza ich podczas ZCB. Liczba osób rannych w wyniku ZCB jest blisko trzykrotnie większa niż w zderzeniach czołowych.

Badania eksperymentalne tego typu zderzeń są bardzo drogie i wiążą się z zaangażowaniem złożonego i rozbudowanego środowiska badawczego (stanowiska, aparatura, personel). Dlatego też wielu badaczy sięga po metody modelowania i symulacji opisywanych zjawisk, w tym przypadku: ZCB. Tak też czyni Autor rozprawy.

Profesjonalne modelowanie wymaga dysponowania bogatym materiałem eksperymentalnym, pozwalającym na budowę i weryfikację proponowanych modeli. W przypadku opiniowanej pracy bazą tą są wyniki testów zderzeniowych NHTSA (ogólnodostępne wyniki, w formie „public domain” osiągalnej w sieci internetowej) oraz efekty projektu badawczego zrealizowanego w Przemysłowym Instytucie Motoryzacji - PIMot (obecnie: Sieć Badawcza Łukasiewicz – PIMot), kierowanego przez Mirosława Gidlewskiego.

Rozprawa jest efektem pracy zespołowej pięciu osób. Autor, na str. 112, dokonał opisu własnego udziału w pracach zespołu. Odwołuje się także do wspólnych publikacji członków zespołu. Zdaniem niżej podpisanego, udział Autora jest wystarczający dla sformułowania ocenianej rozprawy i ubiegania się o stopień doktora nauk technicznych.

Praca składa się z 8 rozdziałów.

W rozdziale 1 Autor przypomniał definicje określeń i pojęć opisujących zagadnienia związane z wypadkami drogowymi oraz ich przebiegiem. Dokonał wrywkowej analizy statystyk wypadków. Wskazał istotę, znaczenie problematyki ZCB samochodów. Opisał ogólny przebieg ZCB, zdefiniował pojęcie zagrożenia w wypadku drogowym.

W rozdziale 2 przeanalizował stan opisu i badań ZCB samochodów. Opisał proces powstawania zagrożenia, badania deformacji boku nadwozia, możliwości ograniczania

skutków zagrożenia oraz relacje między warunkami początkowymi a skutkami ZCB. Podkreślił wagę braku kompatybilności pojazdów w trakcie ich zderzenia, a także ograniczone możliwości zmian konstrukcyjnych bocznej części nadwozia. Wskazał obszary niedostatecznie rozpoznane lub wątpliwe w opisie, w tym skutki deformacji drzwi tylnych samochodu. Przypominał o dużym prawdopodobieństwie obrażeń pasażerów w kierunku poprzecznym.

W rozdziale 3 Autor przedstawił cele i zakres rozprawy, wyrażone w jej tytule. Opisał ograniczenie obszaru rozważań, wyróżniając go z obszernego zagadnienia ZCB - zderzeń czołowo-bocznych samochodów. Dotyczą one badań w słabo rozpoznanych obszarach, a możliwych do dalszego zgłębiania. Są to badania modelowe. Rozdział zawiera także listę i opis celów cząstkowych („pomocniczych”) prowadzących do realizacji celów głównych.

W rozdziale 4 uporządkował informacje na temat metod badania procesów zachodzących w trakcie zderzenia. Opisał problematykę badań eksperymentalnych - testy zderzeniowe. Uzasadnił konieczność wykorzystania wyników publikowanych przez NHTSA oraz Ł-PIMot.

W rozdziale 5 Autor zaprezentował założenia dla budowanych modeli kinematyki i dynamiki pojazdów w trakcie ZCB, wyznaczył składowe siły oddziaływania między pojazdami oraz oszacował ich wpływ na przebieg procesów zachodzących w trakcie zderzenia. Opracował własną metodykę wyznaczania charakterystyki deformacji bocznej części nadwozia.

W rozdziale 6 przedstawił własny model ZCB, a także model oddziaływania pojazdu na pasażera (kierowcę). Sparametryzował budowane modele. Zweryfikował, odnosząc je do wyników badań eksperymentalnych, realizowanych według różnych procedur.

W rozdziale 7 Autor zaprezentował uzyskane wyniki badań modelowych i ich analizę. Pogrupował je zgodnie z celami pracy postawionymi w rozdziale 3. Przeprowadził dyskusję wyników badań modelowych, symulacyjnych na podstawie porównania z dostępnymi rezultatami badań eksperymentalnych.

Rozdział 8 zawiera podsumowanie zrealizowanych zadań. Autor omówił osiągnięte rezultaty, zgodne z założonymi celami: naukowymi i tymi o charakterze praktycznym – dla zmian konstrukcji elementów bezpieczeństwa biernego samochodu i dla osób zajmujących się rekonstrukcją wypadków drogowych.

Rozprawę zamyka nienumerowany rozdział "*Literatura*", stanowiący wykaz pozycji literaturowych, na które Autor powołuje się w pracy. Jest wystarczająco szeroki dla tematyki i zakresu rozprawy.

## **B. Elementy pozytywne ogólnej oceny rozprawy doktorskiej, uwagi i komentarze.**

Praca dotyczy analizy zderzeń czołowo-bocznych ZCB, w których, obok energii deformacji pojazdów, istotne są opory ruchu poprzecznego pojazdu uderzanego (pojazd „B”), ilościowo bardzo odbiegających od zderzeń tylnych i czołowych. Stąd wynika wzrost trudności analizy oraz różnice ilościowe w ocenie skutków zderzenia. Stanowi to silne uzasadnienie celowości realizacji ocenianej rozprawy doktorskiej. Istotna jest w tego typu zderzeniach, zdefiniowana w pracy, „agresywność” samochodu uderzającego („A”), kilkukrotnie większa (2-8 razy) niż w przypadku zderzeń czołowych. Autor, w wyniku przeprowadzonego studium literaturowego, określił słabo rozpoznany obszar możliwych modyfikacji konstrukcji bocznej nadwozia, w szczególności konstrukcji tylnych drzwi pojazdu uderzanego („B”). Na podstawie studiów literaturowych przedstawił związek między

zakresem uszkodzeń a prawdopodobieństwem obrażeń pasażera pojazdu „B”. Uwzględnił wpływ masy pasażera. Cytowane modele obliczeniowe oraz wspomniane związki między uszkodzeniami pojazdów a obrażeniami pasażera nie dotyczyły ZCB. Praca w swej treści wiąże parametry badanego układu i warunki początkowe z prawdopodobieństwem obrażeń pasażera.

Mimo wskazanych niedociągnięć redakcyjnych, zwraca uwagę jasny, klarowny język zapisu bardzo obszernej rozprawy oraz poprawna polszczyzna, co jest coraz rzadziej spotykane w literaturze przedmiotu. Praca ma przejrzysty charakter. Wynika to z organizacji opracowania pisanego, stanowiącego swoisty raport z wykonanych prac. Kolejne kroki opisu są poprzedzone efektami przeglądu literaturowego i stawianiem problemów, pytań, których wyjaśnienie stanowi treść kolejnych punktów pracy. To ułatwia przyswojenie treści rozprawy.

Istotnym jest uwzględnienie przez Autora wpływu niepewności realizowanych obliczeń, co związane jest z reprezentacją wartości analizowanych parametrów w postaci przedziałów zmienności a nie jednej wartości.

Wkładem Autora w analizę omawianych zjawisk zderzenia ZCB jest uwzględnienie trzech składowych siły  $F_B$  oddziaływujących ze strony pojazdu uderzającego „A” na pojazd uderzany „B”, co pozwala dodatkowo (poza składową poziomą „wzdłużną”  $F_{Bx}$ ) uwzględnić siłę poprzeczną  $F_{By}$  i pionową  $F_{Bz}$ , co znacznie rozszerza, wzbogaca prowadzone analizy.

W analizie bilansu energii ZCB Autor przedstawia składnik ER – „energię reszt”, czyli składników energii, które nie są ujęte w bilansie. Jego poziom ilościowy to 2%-13%, czyli jest on niski. Fakt uwzględnienia go wzbudza w czytelniku zaufanie do wykonanych obliczeń i analiz. Oznacza, że ponad 87% energii zderzenia jest opisywane zbudowanymi, zestawionymi przez Autora modelami.

Autor przywiązuje duże znaczenie do walidacji i weryfikacji eksperymentalnej wyników badań modelowych/symulacyjnych. To podnosi poziom pracy i wiarygodność jej rezultatów.

**Uważam, że tematyka rozprawy jest bardzo ciekawa i aktualna a możliwe zastosowania uzasadniają celowość jej wykonywania na uczelni technicznej.**

### **C. Uwagi merytoryczne, elementy wymagające wyjaśnienia przez Autora rozprawy.**

Uwagi te mają różny ciężar gatunkowy. Poniżej przedstawiam te wątpliwości i uwagi krytyczne, które moim zdaniem wymagają ustosunkowania się do nich Autora.

1. Str. 71, pierwszy nowy akapit. „Na rysunku 5.4 przedstawiono wyniki obliczeń składowych  $\dot{x}_{EA}$  i  $\dot{x}_{EB}$  wektora prędkości w punktach  $E_A$  i  $E_B$  względem kierunku osi  $OX$  globalnego układu współrzędnych” oraz „Wyniki uzupełniono o różnicę obliczonych prędkości ( $\dot{x}_{EA} - \dot{x}_{EB}$ ), identyfikującą prędkość względną w kierunku bocznego uderzenia samochodu”. Oznacza to, że na rysunku 5.4 przedstawiono wyniki obliczeń składowych  $\dot{x}_{EA}$  i  $\dot{x}_{EB}$  wektora prędkości w punktach  $E_A$  i  $E_B$  dla kierunku osi  $OX$  globalnego układu współrzędnych. Przyglądając się rys. 5.3/str.70 nie rozumiem podanej interpretacji wspomnianej różnicy prędkości, zwłaszcza we fragmencie „... w kierunku bocznego uderzenia”. Jeśli mówimy o obliczeniach w układzie związanym z drogą w płaszczyźnie poziomej, to o względnym ruchu punktów  $E_A$  i  $E_B$  (w płaszczyźnie poziomej) świadczą obie składowe prędkości względnej (na kierunek  $OX$  i  $OY$ ) i ich wypadkowa. Ruchem wywołującym „deformację, tarcie, zaczepianie czy rozrywanie elementów karoserii nadwozi” (str. 70, 2 i 3 wiersz od dołu) jest ruch obrazowany różnicą prędkości punktów  $E_A$  i  $E_B$  w układach  $O_B X_B Y_B$  i  $O_A X_A Y_A$ , czyli

różnica prędkości tych punktów „widziana” w dwóch układach lokalnych związanych z oboma pojazdami. Trudno się zgodzić, że w kierunku osi OX powstaje deformacja i że zmianą tej składowej jest związana zmiana energii kinetycznej obu samochodów. Kierunek OX jest (rys. 5.3/str. 70) jest przyjętym dowolnym kierunkiem odniesienia w układzie związanym z drogą. O kierunku, w którym powstaje deformacja decydują układy związane z pojazdami, ich wzajemne położenie, parametry analizowanego układu oraz warunki początkowe. Myślę, że Autor sam się zbyt mocno zasugerował schematem przedstawionym na rys. 5.3/str. 70. Prezentowany przykład powinien dotyczyć obliczeń we wspomnianych układach lokalnych. Analogiczne uwagi można formułować dla różnic  $y_{EA}-y_{EB}$  prezentowanych na str. 72. Myślę, że jakościową ilustrację analogiczną do tej przedstawionej na rys. 5.4/str. 71 można byłoby uzyskać analizując zapis wideo ze zderzeń prezentowanych przez zespół Ł-PIMot i UTH Radom. Dotyczyłaby ona eksperymentu. Czy tak należy interpretować wynik na rys. 5.5/str. 72 oznaczony gwiazdką i odniesienia do pozycji [51]?

2. Proszę o przedstawienie przekształceń prowadzących do układu równań (5.34), (5.35). Są w pracy zaprezentowane mało klarownie. Jakie znaczenie mają nawiasy w (5.24)?

Przedstawione uwagi krytyczne nie mają wpływu na większość wyciąganych w pracy wniosków.

#### **D. Uwagi edytorskie, redakcyjne.**

Wcześniej podkreślono ogólną pozytywną ocenę strony edytorskiej, redakcyjnej. Jeśli chodzi o uwagi krytyczne dotyczące edycji rozprawy, to należy podkreślić, że w tak długim tekście trudno się ustrzec błędów redakcyjnych. Ich listę zamieszczam poniżej. Nie wpływają one znacząco na końcową ocenę pracy. Mogą być pomocne w trakcie redagowania kolejnych publikacji.

Poniżej przedstawiam te uwagi krytyczne, które moim zdaniem nie wymagają ustosunkowania się do nich Autora, jeśli się z nimi zgadza. Dotyczą głównie edycji pracy. W niewielkim stopniu wpływają one na ocenę pracy.

1. Str. 7, pierwszy akapit oraz str. 9-10.  
Brak jest odniesień do źródeł danych o wypadkach drogowych w Polsce - danych z www KG Policji; opracowań wykonywanych przez zespół Elżbiety Symon, Pawła Rzepki.
2. Str. 9, 73 (6 wiersz od dołu), 74 (2 wiersz od dołu), 84, 86, 141. Autor używa określeń „oś wzłużna pojazdu”, „osie główne”, nie definiując ich. Jest to częsty (nawet w literaturze przedmiotu) skrót myślowy nie poparty wiedzą ścisłą. Zwracam uwagę, że w przypadku samochodu możemy mówić o płaszczyźnie symetrii (z pominięciem asymetrii układu kierowniczego), o głównych centralnych osiach bezwładności bryły nadwozia, osi przechyłu bocznego. Traktuję określenia używane przez Autora jako obiegowe, potoczne. W przyszłych publikacjach należy zwrócić uwagę na wskazany brak precyzji określeń.
3. Str. 11, 66. Wektory  $r_{CA}$ ,  $r_{CB}$  opisują położenie a nie przemieszczenie środków masy samochodów A i B w układzie OXY.

4. Str. 31, 51. Insurance Institute of Highway Safety to Ubezpieczeniowy Instytut Bezpieczeństwa Drogowego a nie Instytut Ubezpieczeń Drogowych.
5. Str. 37, podrozdział 2.3 (4 i 5 linia od końca), str. 57 (4 linia od dołu), str. 92 (13 wiersz od góry). Czy właściwie odwołano się do pozycji [174]?
6. Str. 67, zał. (5.3). Ostatni element zależności to macierz  $\Omega_y$  a nie  $\Omega_x$ .
7. Str. 84, zał. (5.30). Odjemnik zapisano jako  $O_{AC}(t)$  a nie jako  $C_{AC}(t)$ .
8. W niektórych miejscach pracy (np. str. 105) traktuje się określenie „pasażer” jako synonim słowa „kierowca” i na odwrót. Ogólnie jest to zrozumiałe, ale w trakcie szczegółowych analiz (a z takimi mamy do czynienia w rozprawie doktorskiej) wyróżnienie kierującego pojazdem („kierowcy”) spośród wszystkich pasażerów jest bardzo istotne, gdyż wiąże się z miejscem w pojeździe zajmowanym przez niego.
9. Str. 111 (6 i 7 wiersz od góry). Odwołanie się do modelu TM-Easy jest chyba błędne. Podano pozycje [57, 162] a nie [58, 59, 142, 143, 182], gdzie nawet z nazwy i nazwiska autora jest on wspomniany.
10. Str. 123 (14 wiersz od góry). Powinno być „według F124”.
11. Str. 152, rys. 7.13b. Czytelnik nie ma jasności co do znaku obrazowanych prędkości, zwłaszcza po lekturze tekstu na str. 151 (ostatni wiersz): „Są to zatem pochodne wielkości z rys. 7.13a”.
12. Str.166-173. „Wykaz literatury”. We wskazanych opisach pozycji literaturowych widać braki informacji, które bardzo utrudniają identyfikację i dotarcie do wskazanego źródła (chodzi głównie o wydawnictwo, w którym opublikowano dany tekst, rok wydania): pozycje 22, 26, 54, 59, 77, 78, 85, 135, 141, 163, 176, 190, 197, 199. W następujących pozycjach brak jest daty dostępu: 45, 109, 111, 146, 153, 156, 170, 173. W pozycji 171 błędnie zapisano nazwiska autorów.

#### **E. Podsumowanie recenzji i wnioski końcowe.**

Uważam, że praca dotyczy ciekawych, aktualnych i istotnych problemów naukowych i technicznych z obszaru inżynierii mechanicznej oraz transportu. **Stanowi realizację przyjętych celów, zarówno o charakterze poznawczym jak i aplikacyjnym.**

Autor rozprawy, poza własnym dorobkiem (wykazany tekstem rozprawy), korzysta z dorobku zespołu, w którym pracuje. Wzmacnia to Jego pozycję startową jako naukowca, inżyniera.

Mgr inż. Mateusz Ziubiński wykazał, że jest dobrze przygotowany do prowadzenia badań naukowych oraz do pracy w zespołach badawczych.

**Recenzowana rozprawa spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim w stosownej Ustawie i może być dopuszczona do publicznej obrony.**

