

prof. dr hab. inż. Jerzy Małachowski
Wydział Inżynierii Mechanicznej
Wojskowa Akademia Techniczna
ul. gen. Sylwestra Kaliskiego 2
00-908 Warszawa
Tel.: +48 261 839 140
E-mail: jerzy.malachowski@wat.edu.pl

Warszawa, 09.11.2020 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej

„*Analiza możliwości zmniejszenia obrażeń dzieci w czasie wypadków drogowych*”

autorstwa mgr inż. EDYTY ROLI

1. Podstawa opracowania

Podstawę opracowania stanowi pismo (sygn. RNDIM/34/2020) Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynierii Mechanicznej Politechniki Warszawskiej, prof. dr. hab. inż. ADAMA WOŹNIAKA i dołączona do niego rozprawa doktorska mgr inż. EDYTY ROLI pt. *Analiza możliwości zmniejszenia obrażeń dzieci w czasie wypadków drogowych*. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Cezary Rzymkowski, prof. uczelni.

2. Omówienie pracy

Recenzowana rozprawa doktorska została napisana łącznie na 182 stronach maszynopisu i wydana w formacie B5 przez Politechnikę Warszawską. Składa się ona z: podziękowania, streszczenia w j. polskim i angielskim, 5 rozdziałów, wykazu piśmiennictwa (189 pozycji literaturowych) i 6 dodatków. Tytuły poszczególnych rozdziałów są następujące: (1) Wprowadzenie; (2) Podstawy teoretyczne; (3) Badania numeryczne; (4) Badania doświadczalne; (5) Podsumowanie.

Po przeprowadzeniu dogłębnego studium literaturowego (łącznie 189 pozycji literatury) zostały opracowane wnioski, na podstawie których zaprezentowano następujące cele szczegółowe rozprawy doktorskiej ujęte w poszczególnych rozdziałach:

- przedstawienie stosowanych metod analizy oraz syntezy systemów bezpieczeństwa dla dzieci oraz zebranie danych niezbędnych do przeprowadzenia badań własnych (Rozdział 2.1),
- identyfikacja rzeczywistych pozycji, w jakich podróżują dzieci (badania eksperymentalne), ocena częstości ich występowania, wykorzystanie najczęściej

występujących pozycji jako pozycji początkowych w symulacjach numerycznych (Rozdział 4.1, 3.4),

- analiza wpływu wybranych pozycji dziecka na ryzyko odniesienia poważnych urazów podczas potencjalnego wypadku samochodowego (Rozdział 3.4),
- ocena skuteczności urządzeń przytrzymujących (Rozdział 3),
- zaproponowanie i przeprowadzenie badań symulacyjnych zaawansowanych systemów bezpieczeństwa przeznaczonych dla dzieci (poduszka gazowa, napinacze, ograniczniki siły) (Rozdział 3.3, 3.5),
- zbadanie wrażliwości na zmianę wartości wybranych parametrów opracowanego modelu numerycznego (Rozdział 3.6),
- sformułowanie zadania optymalizacji oraz optymalizacja zaproponowanych systemów bezpieczeństwa dla dzieci (Rozdział 3.7),
- identyfikacja czynników istotnych w badaniach dotyczących bezpieczeństwa dzieci przewożonych samochodami osobowymi, ocena poprawności stosowania urządzeń przytrzymujących (Rozdział 4.1, Dodatek F),
- sformułowanie nowych zaleceń, które mogą być wykorzystane do nowych wymagań w testach homologacyjnych, konsumenckich oraz strategii redukcji ofiar wypadków drogowych wśród populacji dzieci w Polsce (Rozdział 5).

Przedstawione powyżej cele w pełni odzwierciedlają wykonane prace o charakterze analitycznym i badawczym, a zarazem pozwoliły Autorce rozprawy sformułować także następujące tezy pracy:

- Pozycja dziecka tuż przed zderzeniem może mieć wpływ na ryzyko odniesienia obrażeń podczas wypadku samochodowego.
- Zastosowanie aktywnych, integralnych z urządzeniem przytrzymującym pasów bezpieczeństwa oraz poduszki gazowej może ograniczyć działanie niekorzystnych przeciążeń na 3-letnie dziecko podczas zderzenia czołowego, co może prowadzić do zminimalizowania doznawanych obrażeń.
- Przeprowadzone badania mogą prowadzić do sformułowania oraz rozwiązania zadań optymalizacji w oparciu o kryteria kinematyczne oraz biomechaniczne kryteria urazów w celu dobrania optymalnych bądź bliskich optymalnym wartości parametrów systemów bezpieczeństwa.

Należy jednak uznać, iż powyższe tezy brzmią bardzo oczywiście, szczególnie po tak głębokim studium literaturowym i nie wnoszą w swojej treści przełomowych pomysłów badawczych lub wyzwań naukowych.

Pani Doktorantka w swojej rozprawie dotyka jakże ważnej problematyki, a mianowicie bezpieczeństwa naszych „najmłodszych” jako uczestników ruchu drogowego. Statystyki w tym obszarze nadal pokazują, że szczególnie w przepisach, nie tylko polskich ale i światowych, jest wymaganych szereg nowych zapisów i wymagań, które będą w stanie doprowadzić do zerowej wartości śmiertelności wśród dzieci, jako pasażerów pojazdów, a tym samym uczestników ruchu drogowego. Stąd też podjętą tematykę należ uznać za bardzo celową, bardzo aktualną i zbieżną z ogólną tendencją ukierunkowaną za zredukowanie śmiertelności i urazowości wśród uczestników ruchu drogowego.

Dzieci, z uwagi na odmienną od dorosłych anatomię, wymagają specjalnie dopasowanych do ich potrzeb systemów bezpieczeństwa instalowanych w środkach transportu. Stąd też, biorąc pod uwagę identyfikację nietypowych pozycji, w jakich podróżują dzieci, dokonano oszacowania zagrożeń, jakie stwarzają tego typu pozycje, na drodze analiz numerycznych, odzwierciedlając sytuacje związane z wypadkiem drogowym. Pani mgr Edyta Rola dla swoich badań uzyskała stosowną zgodę Komisji Etyki i Bioetyki. W swoich analizach podjęła się zbadania szeregu urządzeń (w tym także tzw. inteligentnych rozwiązań) zmniejszających ryzyko odniesienia poważnych urazów, do których można zaliczyć: integralne urządzenie przytrzymujące pasy bezpieczeństwa z napinaczami, ogranicznikami siły oraz poduszką gazową. Podstawową funkcją, jaką pełnią te urządzenia jest przede wszystkim: ograniczenie przeciążeń działających na ciało dziecka, poprawa jego pozycji początkowej (tuż przed zderzeniem), eliminacja niekorzystnego luzu w pasach bezpieczeństwa, zapobieganie uderzeniu w sztywne elementy wnętrza kabiny samochodu oraz dobranie optymalnych bądź bliskich optymalnym parametrów systemów bezpieczeństwa. Do swoich analiz i porównań Autorka dysertacji wykorzystwała kryteria kinematyczne oraz biomechaniczne urazów najistotniejszych części ciała dziecka. Na tej bazie zaproponowała model matematyczny formułując prawdopodobieństwo urazu (powstania obrażenia), w którym jako funkcję celu zdefiniowała minimalizację obrażeń najistotniejszych części ciała poprzez kombinację stosowanych wskaźników urazów zależnych od wielu zmiennych wejściowych. Funkcja celu dotyczyła minimalizacji prawdopodobieństwa urazów następujących części ciała: głowy, klatki piersiowej i szyi opisanych funkcjonalami prawdopodobieństwa lub biomechanicznymi wskaźnikami urazów. Na bazie przeprowadzonych analiz Pani Doktorantka mogła stwierdzić, że zastosowanie prawidłowo dobranego do indywidualnych potrzeb dziecka urządzenia przytrzymującego z napinaczami, ogranicznikami siły oraz poduszką gazową zmniejsza

o ponad 50 % prawdopodobieństwo odniesienia poważnych obrażeń oraz śmierci w wyniku zderzenia czołowego samochodu osobowego. W swojej dysertacji uwzględniła także rozrzut wartości parametrów fizycznych systemów bezpieczeństwa oraz niesymetryczne pozycje dziecka tuż przed zderzeniem. Szczególnie ten aspekt należy uznać za bardzo nowatorski, gdyż nie jest objęty obowiązującymi przepisami homologacyjnymi oraz konsumenckimi, a w rzeczywistych sytuacjach często ma miejsce. Autorka w swoich badaniach eksperymentalnych wykazała, że dziecko siedzi często w innej niż zbliżonej do zdefiniowanej standardowymi procedurami usadzania manekinów podczas testów zderzeniowych pozycji. W odróżnieniu od pozycji, w jakiej usadzone są manekiny, dzieci spontanicznie wybierają pozycje, w których często pasy bezpieczeństwa nie są prawidłowo ułożone i nie mają szansy właściwie chronić dziecka w warunkach wypadków drogowych. Jest to szczególnie ważne w sytuacji, gdy dochodzi do gwałtownego hamowania lub zderzenia, gdyż wówczas poziom ryzyka odniesienia poważnych obrażeń przez dziecko, przyjmujące pozycję nieoptymalną, może istotnie wzrosnąć. Za duży wkład użyteczny niniejszej rozprawy w zagadnienie poprawy bezpieczeństwa dzieci jako pasażerów pojazdów, należy uznać opracowane przez Autorkę rekomendacje dotyczące bezpieczeństwa dzieci przewożonych samochodami osobowymi w Polsce

Mgr inż. Edyta Rola jest współautorką 4 publikacji konferencyjnych i jednego artykułu w czasopiśmie z listy MNiSW notyfikowanych w bazie SCOPUS. Na szczególne podkreślenie zasługuje zaprezentowanie wyników swoich badań w wydaniach materiałów konferencyjnych (*IRCOBI Conference Proceedings*) związanych z *International Research Council on the Biomechanics of Injury* w roku 2014, 2015 i 2016. Jest to konferencja, która zrzesza wąską grupę europejskich specjalistów i naukowców, która za swoją misję przyjęła m.in. zachęcanie do badań nad biomechaniką i mechanizmami urazów powstających w zderzeniach (wypadkach), służenie jako organ doradczy w wymienionych kwestiach oraz wspieranie i zachęcanie młodych naukowców do pracy w tej dziedzinie mając na celu stałą poprawę podstaw naukowych prowadzonych badań, których wyniki następnie służą do formułowania norm i wytycznych w zakresie bezpieczeństwa osób – uczestników wypadków drogowych.

3. Uwagi, pytania merytoryczne oraz dyskusyjne

Po zapoznaniu się z treścią całej rozprawy, Recenzent chciałby otrzymać odpowiedzi/wyjaśnienia na następujące kwestie oraz wyraża swoje następujące wątpliwości natury merytorycznej:

- 1) We wstępie Autorka przedstawia szereg urządzeń (systemów), których działanie ukierunkowane jest na poprawę bezpieczeństwa dzieci przewożonych w pojazdach. Brak jest jednak odniesienia do ostatnio reklamowanego systemu modyfikującego geometrię pasów bezpieczeństwa dla dorosłych, a mianowicie urządzenia „Smart Kid Belt”, który to system polega na zapewnieniu poprawnego ułożeniu odcinka pasa biodrowego i płynnym dopasowaniu odcinka barkowego do wzrostu dziecka. Jaka jest opinia Pani Doktorantki odnośnie proponowanego rozwiązania? W szeregu pracach (publikacjach) przedstawiane jest także rozwiązanie aktywnego systemu zagłówka w foteliku dziecięcym, który aktywowany jest w momencie wypadku drogowego lub też dodatkowych urządzeń absorbujących energię uderzenia i zintegrowanych z konstrukcją fotelika dziecięcego. Na ile, w opinii Autorki dysertacji, tego typu rozwiązania są w stanie poprawić w sposób znaczący poprawę przewożonych dzieci? Czy znane są Pani Doktorantce tego typu rozwiązania i prace związane z takimi badaniami?
- 2) W opinii Recenzenta, nazwy rozdziałów 2 (Podstawy teoretyczne), 3 (Badania numeryczne) i 4 (Badania doświadczalne) są zbyt ogólnikowe i nie odzwierciedlają treści w nich zawartych.
- 3) Czy celowym jest uwzględnienie w prowadzonych analizach numerycznych zmian/modyfikacji w modelach konstytutywnych opisujących poszczególne partie ciała ludzkiego, z uwagi na wystąpienie obciążeń dynamicznych, a co za tym idzie, także wygenerowanie zjawisk lepkościowych na skutek fali odkształcenia zachodzących w materiale i wynikający z nich m.in. zmian charakterystyk sztywnościowych? W dodatku C (Wybrane właściwości materiałowe tkanek dziecięcych) zawarty jest szereg ciekawych danych literaturowych odnośnie właściwości materiałowych tkanek dziecięcych. Niestety w opisie realizowanych przez Autorkę badań numerycznych z wykorzystaniem manekina z serii Q („Zastosowano model manekina 3letniego dziecka Q3 składający się z 72 ciał sztywnych połączonych różnego typu parami kinematycznymi oraz kontaktami, zwalidowany przez TASS International...”) brak jest odniesienia do tych danych oraz sposobu ich implementacji w zaproponowanej serii badań numerycznych.
- 4) W dysertacji Autorka nie odniosła się do serii manekinów dedykowanych dla testów zderzeń bocznych (seria Q3s opracowana przez Humanetics Innovative Solutions Inc) opisanych w regulaminie 129 EKG ONZ. Opisując warunki testów numerycznych nie zaprezentowano matematycznego opisu modelu urządzenia określonego nazwą MADYMO Belt Fitting Wizard? Czy możliwe jest zdefiniowanie charakterystyk

- podatnościowych oraz np. wstępnego napięcia pasów? W oparciu o jakie równanie stanu lub funkcję opisującą zmianę ciśnienia realizowany jest opis numerycznego otwarcia poduszki gazowej dla 3-letniego dziecka? Celowym byłoby także umieszczenie szerszych informacji, jakie metody (może MES lub podejście sprzężeniowe, tj. MES i metoda układów wieloczłonowych) użyto do opisu procesu rozłożenia poduszki i jak uwzględniono jej podatność w kontakcie z manekinem dziecka? Czy uwzględniano model interakcji dynamicznej z głową dziecka, w tym także zjawisko tarcia?
- 5) Przy opisach na rys. 3.9 i 3.10 użyto błędnego opisu prezentując wielkości przyspieszenia głowy i klatki piersiowej dziecka i podpisując „Przebieg przeciążenia ...”. W kilku miejscach Pani Doktorantka opisuje te wartości używając słowa przyspieszenie, a innym razem używając wartości przyspieszenia ziemskiego. Wielkości te i sposób ich prezentacji winien być ujednoczony i spójny w całej rozprawie.
 - 6) W rozprawie spotyka się szereg żargonowych zwrotów, które w języku inżynierskim, opisującym konkretne zagadnienia z obszaru mechaniki, nie powinny wstępować, np.: „Siła odcięcia ogranicznika siły nie może być niska ...”; „Kolejno przeprowadzono serię symulacji numerycznych z zamodelowanymi dodatkowymi systemami bezpieczeństwa.” – brak opisów szczegółów realizacji numerycznej w tym względzie; „Agresywność poduszki gazowej ...”; „Zamodelowano dwustopniowy inflator poduszki gazowej ...” – brak matematycznego opisu niniejszego rozwiązania opisującego proces fizyczny „napełniania” gazem/ciśnieniem; „... t_1 i t_2 są dowolnymi momentami...”; „... stosowano metodę Full Factorial...”, itp. lub braków w opisach np. od strony matematycznej funkcjonowania danych modeli numerycznych lub zastosowanych metod.
 - 7) Jak realizowano od strony numerycznej i matematycznej opis luzu pomiędzy modelem pasów a modelem manekina dziecka? Czy był to rodzaj zdefiniowanych więzów kinematycznych - jeżeli tak to jakiego rodzaju, czy też jakaś forma zagadnienia kontaktowego?
 - 8) Na grafikach od 3.15 do 3.18 powinno dodatkowo pokazać położenia manekina dla zaprezentowanych wartości skrajnych (granicznych) wraz z określeniem ich zmian, mając na względzie kryteria przemieszczeniowe, które służą także do oceny ryzyka urazowości.
 - 9) Definiując zmienne niezależne Autorka nie określiła, czy w analizach były one opisane w sposób dyskretny czy z wykorzystaniem np. funkcji ciągłych?

- 10) W pracy przyjęto założenia do analizy statystycznej nie prezentując ich uzasadnienia. Czy inne, alternatywne ujęcie tego typu analiz było przez Autorkę rozpatrywane?
- 11) Przedstawione własne analizy numeryczne na zaproponowanym modelu parametrycznym wraz z analizą optymalizacyjną winny być zaprezentowane dodatkowo w formie algorytmu obliczeniowego.
- 12) W rozdziale 4 zaprezentowano wyniki z badań własnych. Jednak w opinii Recenzenta, ich czytelność i próba interpretacji jest mocno utrudniona (pomijając przy tym fakt, że nie zaznaczono mian jednostek). Dodatkowo położenia markerów powinny być zaprezentowane np. w płaszczyźnie czołowej przedniej z uwzględnieniem dwóch pomierzonych składowych i z dodatkową grafiką reprezentującą np. skrajne położenia danego markera. Z pewnością dawałoby to lepsze możliwości interpretacyjne. Rodzą się więc takie pytania jak: w jaki sposób ustalono pozycję pierwotną, względem której były rejestrowane dane zmiany oraz czy wyniki z nich otrzymane nie powinny stanowić podstawy do analiz numerycznych zaprezentowanych w rozdziale 3.4 „Pozycja dziecka tuż przed zderzeniem a ryzyko odniesienia urazów”? Wskazuje na to z pewnością zakres zaproponowanych w rozdziale 4.1 badań własnych, który dotyczy „4.1 Badania dzieci przewożonych w urządzeniach przytrzymujących w warunkach naturalnych”. Generalnie należy stwierdzić, iż wyniki przedstawione na grafikach w tym rozdziale powinny być poddane dużo głębszej analizie matematycznej (a nie tylko prezentacja położenia jednej współrzędnej w funkcji czasu), tak by na tej podstawie można było nadać im dużo głębszy sens fizyczny.
- 13) Recenzent w rozprawie nie znalazł prezentacji wyników i analiz z niżej wymienionych urządzeń opisanych w rozdziale 4, tj. „W badaniach eksperymentalnych zastosowano 3 czujniki IMU składające się z 3osiowego akcelerometru, żyroskopu i magnetometru. Czujniki charakteryzowała wysoka stabilność pomiarów, regulowany filtr EKF umożliwiający uzyskanie lepszej wydajności w zależności od aplikacji, zsynchronizowane dane z zewnętrznym modułem GPS, kalibracja i wyrównanie kompensacji temperaturowej dla akcelerometru, żyroskopu i magnetometru. Jako dane wyjściowe można wybrać: kąty Eulera, dane akcelerometru, żyroskopu i magnetometru, wysokość, pozycję i prędkość wg GPS (po podłączeniu zewnętrznego modułu).”

Zamieszczone powyżej uwagi mają na celu lepsze i bardziej dogłębne zrozumienie zaprezentowanego zagadnienia badawczego oraz pozwolić Autorce dysertacji do przemyśleń w kierunku kolejnych etapów prowadzonych analiz, ze szczególnym ukierunkowaniem na

możliwość np. modyfikacji/ulepszenia/udokładnienia zaprezentowanej metodologii badawczej i w żaden sposób nie umniejszają wartości niniejszej rozprawy.

4. Ocena końcowa przedłożonej rozprawy

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska charakteryzuje się ważnym aspektem naukowym, poznawczym i utylitarnym (w tym przypadku może mieć istotne znaczenie dla poprawy bezpieczeństwa dzieci przewożonych samochodami osobowymi).

Na wartość naukową rozprawy składają się następujące oryginalne elementy, w tym także wnioski badawcze, które są zarazem, w opinii Recenzenta, osiągnięciami autorskimi tejże rozprawy doktorskiej:

1. Zaproponowanie metodologii badawczej opartej o wieloaspektowej analizie.
2. Zaproponowanie badań optymalizacyjnych w kierunku minimalizacji prawdopodobieństwa odniesienia urazów ciała.
3. Zaproponowanie własnych badań doświadczalnych, które dotyczyły zachowania dzieci w urządzeniach przytrzymujących w warunkach rzeczywistych otrzymując na to zgodę stosownej komisji bioetycznej, jak też przeprowadzenie procesu ankietyzacji dotyczącego bezpieczeństwa dzieci przewożonych samochodami osobowymi na terenie Polski.

Dodatkowym walorem niniejszej rozprawy doktorskiej jest zdobycie przez Doktorantkę szeregu nowych umiejętności, tj.: w zakresie prowadzenia wieloetapowych analiz numerycznych połączonych z budową modeli parametrycznych i na tej bazie podjęcia próby poszukiwania rozwiązania optymalnego, zaprojektowania własnych badań w warunkach rzeczywistych oraz analiz wyników wynikających z procesu ankietyzacji. Za bardzo cenne Recenzent uważa wypracowanie przez Autorkę szeregu rekomendacji, które pozwoliłyby podnieść poziom bezpieczeństwa dzieci przewożonych samochodami osobowymi w Polsce. Szczególnie w tym obszarze jest wiele do zrobienia, zarówno od strony prawodawczej, jak też i wypracowania nowych wymagań konstrukcyjnych dla projektantów urządzeń przytrzymujących dzieci. Trzeba przyznać, iż w Polsce statystyki umieralności i urazowości dzieci na skutek wypadków drogowych są przerażające mimo tendencji spadkowej, szczególnie na tle niektórych krajów europejskich, w których przyjmują one wartości zerowe.

W rozprawie doktorskiej od strony edycyjnej widoczne są jednak pewne niedociągnięcia, a mianowicie: stosowanie sformułowań odbiegających od języka naukowo-inżynierskiego, posługiwanie się słownictwem charakterystycznym dla danego kodu komputerowego

używanego w analizach numerycznych, niska jakość załączonych grafik oraz sposób graficznej prezentacji niektórych wyników.

Należy jednak uznać i podkreślić, iż zaprezentowane wyniki dają podstawę do opracowania artykułów naukowych, które winny zostać opublikowane w czasopiśmie z listy JCR (np. *Traffic Injury Prevention* lub *International Journal of Crashworthiness*) i tym samym udostępnić wypracowane wnioski i rekomendacje szerszej grupie badaczy i projektantów zajmujących się bezpieczeństwem osób przewożonych w pojazdach.

5. Wniosek końcowy

Recenzent stwierdza, że przedstawiona dysertacja doktorska spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez ustawę „*O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki*” (Dz. U. Nr 65, poz. 595, z dnia 14 marca 2003 roku, z późn. zm.) i stawia wniosek o dopuszczenie do publicznej obrony rozprawy doktorskiej mgr inż. EDYTY ROLI.

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Edyta Roli', written in a cursive style. The signature is positioned in the lower right quadrant of the page.