

## **RECENZJA**

rozprawy doktorskiej mgr inż. **Dominika Jastrzębskiego**  
pt. „Personalizacja kształtu numerycznych modeli człowieka wykorzystywanych w analizach zderzeń z udziałem pieszych”

***Podstawa opracowania: Pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej Prof. dr hab. inż. Roberta Sitnika, nr RNDIM/521/8/2023.***

### **1. Motywacja podjęcia tematu rozprawy doktorskiej i jej zakres**

Badania doświadczalne w testach zderzeniowych z wykorzystaniem manekinów o wymiarach antropometrycznych i rozkładzie masy człowieka stały się standardem w analizie biomechanicznej wypadków komunikacyjnych oraz w procedurach homologacyjnych samochodów. Wyposażone w skomplikowaną elektronikę i różnego rodzaju czujniki w możliwie bliski sposób odzwierciedlają biomechanikę ciała ludzkiego i dają możliwie pełny obraz obrażeń, jakich może doznać człowiek w przypadku zderzenia. W większości współczesnych przypadków wykorzystywane są opracowane przez General Motors manekiny rodziny Hybrid III lub ich europejski odpowiednik EuroSID (Peugeot-Renault). Rodziny manekinów (dorosły mężczyzna i kobieta oraz dzieci) oddają zasadniczo pozycje siedzącą kierowcy i pasażerów pojazdu samochodowego. W przypadku modelu pieszego uczestniczącego w kolizji nie ma tak rozbudowanej gamy modeli doświadczalnych, badacze skupiają się na analizie bazowego modelu pieszego, tj. 50-centylowego modelu dorosłego mężczyzny w pozycji wyprostowanej. Dla celów analiz numerycznych modele takie istotnie różnią się w zakresie siatki elementów skończonych.

Mgr inż. Dominik Jastrzębski w swojej rozprawie doktorskiej, o typowo numerycznym charakterze, podjął się trudnego zadania opracowania metodyki skalowania przestrzennego geometrii dostępnego modelu bazowego dorosłego pieszego (akronim THUMS AM50 v. 4.01) do wariantowej antropometrii dorosłego mężczyzny, kobiet i dziecka bez konieczności tworzenia nowej siatki obliczeniowej.

Pracę rozpoczyna przegląd literaturowy przedmiotowego zagadnienia w zakresie statystyk wypadków drogowych, zderzeniowych modeli antropometrycznych człowieka i metod symulacji komputerowych w biomechanice zderzeń. Szczególny nacisk Doktorant położył na przedstawienie procedur aproksymacyjnych stosowanych w przekształcaniu geometrii obiektu, które kolokwialnie określa jako morphing i kriging. Rozdział 2 zawiera sformułowanie celu, tezy naukowej oraz zakresu pracy. Najważniejszy dla pracy to rozdział 3, w którym Autor przedstawia procedury skalowania personalizującego dla: modelu klatki piersiowej w oparciu o dane pozyskane z tomografii komputerowej oraz całego człowieka z wykorzystaniem dostępnych danych antropometrycznych. Rozdział 4 zawiera z kolei wyniki walidacyjnych testów symulacyjnych analizowanych modeli. Pracę kończą rozdziały zawierające dyskusję otrzymanych wyników, podsumowanie i wnioski.

Autor swoje opracowanie przedstawił łącznie na 122 stronach maszynopisu zawierającego tekst, tabele, rysunki, wykaz 116 cytowanych pozycji literaturowych oraz załącznik zawierający tabele i wzory.

## **2. Ocena merytoryczna rozprawy**

W swojej rozprawie mgr inż. Dominik Jastrzębski przedstawił własną, oryginalną i złożoną numerycznie procedurę do budowy typoszeregu modeli geometrycznych pieszego wykorzystywanych w symulacjach w analizie biomechaniki zderzeń i urazów. Wykorzystał metody aproksymacyjne bazujące na rozkładzie logarytmicznym normalnym, wielomianowej funkcji celu oraz metodzie podstawowego błędu średniokwadratowego, jak również oprogramowanie komercyjne.

Praca dowodzi, że Doktorant posiada już rozległą i ugruntowaną wiedzę z zakresu metod numerycznych w bioinżynierii. Prawidłowo potrafi ocenić podjęty przez siebie problem, właściwie sformułować tezę i cele badawcze, do realizacji których stosuje nowoczesne metody numeryczne. Biegłe porusza się w podjętej tematyce badawczej i właściwie potrafi skomentować otrzymane wyniki swoich badań na tle osiągnięć badawczych publikowanych przez innych autorów. Do najważniejszych osiągnięć Doktoranta moim zdaniem należy zaliczyć:

- propozycję własnej, oryginalnej procedury numerycznej skalowania przestrzennego geometrii bazowego 50-centylowego modelu dorosłego mężczyzny stosowanego w analizie biomechaniki zderzeń do pięciu wybranych, zróżnicowanych antropologicznych modeli numerycznych (w tym z

uwzględnieniem wymiarów osobniczych dorosłej kobiety i 6-letniego dziecka) bez konieczności tworzenia nowej siatki obliczeniowej; podejście takie jest zbieżne z aktualnymi tendencjami w bioinżynierii tzw. projektowania ‘na wymiar’,

- opracowanie własnego algorytmu dopasowania geometrii struktur tkanek chrzestnej i mięśniowej do spersonalizowanego kształtu struktur kostnych żeber i mostka w procedurze skalowania klatki piersiowej – nie jest to trywialne zadanie i świadczy o dużej ‘sprawności’ numerycznej Doktoranta,
- walidacja otrzymanych modeli numerycznych w oparciu o badania doświadczalne w testach lokalnych, punktowych obciążeń dynamicznych dla przypadku klatki piersiowej oraz w symulacjach numerycznych zderzenia pieszego z samochodem dla całego modelu człowieka,
- przedstawione podejście może stanowić podstawę do opracowanie złożonego algorytmu z wykorzystaniem własnych procedur numerycznych i programów komercyjnych do symulacji wypadków samochodowych z udziałem pieszego.

### **3. Uwagi krytyczne**

W punkcie tym przedstawiam pewne uwagi krytyczne, które nasunęły mi się po zapoznaniu się z recenzowaną pracą:

- w tekście rozprawy Autor wielokrotnie stwierdza, że personalizacja geometryczna kształtu modeli geometrycznych pieszego zachowuje stabilność numeryczną i nie ma konieczności ponownego tworzenia siatki obliczeniowej, nie popierając tego szerszą analizą; przy dużej nieciągłości krzywizn modelu antropometrycznego człowieka może to budzić pewne wątpliwości; w analizach numerycznych MES istnieją metody analizy jakości siatki czy źle uwarunkowanych elementów (np. poprzez parametr skośności – skewness), analizę błędu wynikającą z niedopasowania procedur interpolacyjnych po elementach (np. SDSG lub SERR), czy wreszcie oszacowanie zbieżności rozwiązania,
- w analizie zderzenia z samochodem całego modelu człowieka Autor przedstawia warunki początkowe kolizji, nie ma natomiast podanego oprogramowania, w którym prowadził testy symulacyjne; zamieszczone dla prędkości początkowej samochodu 40 km/godz. wykresy trajektorii po zderzeniowych dla wybranych

elementów systemu (głowa i kręgi piersiowe pieszego czy samochód) dają stosunkowo małe wartości przemieszczeń; w powszechnie stosowanych przez rzeczoznawców ds. wypadków samochodowych oprogramowaniu PC-crash te wartości są istotnie wyższe;

- w nawiązaniu do powyższej uwagi interesujące było by też odniesienie wyników Autora do analizy wartości kryterialnych powszechnie stosowanych w biomechanice zderzeń (np. kryterium uszkodzenia głowy – HIC i inne) – np. z wykorzystaniem programów MADYMO, PC-crash i innych,
- w rozdziale 4 ‘Testy poprawności modelu’ Autor przedstawia wyniki badań klatki piersiowej człowieka przy obciążeniu dynamicznym w teście tzw. Poin Loading; nie jest jasne czy jest to omówienie badań dostępnych w literaturze (na co wskazuje zamieszczenie cytowania w podpisie pod rys. 34), czy są to badania autorskie,
- w podpisach pod rysunkami 36 – 54 Autor używa stwierdzenia ...*Wykresy sztywności...* ; krzywe siła vs przemieszczenie trudno tak określać; z wytrzymałościowego punktu widzenia pojęcie sztywności jest ściśle związane z cechami geometrycznymi i materiałowym,
- w przypadku skalowania geometrii klatki piersiowej (rozd. 3.1) Autor nie podaje źródłowych danych uzyskanych z tomografii komputerowej (CT); współczesna diagnostyka CT o wysokiej rozdzielczości umożliwia progowanie gęstości radiologicznej zróżnicowanych tkanek, w tym tkanki chrzęstnej czy mięśniowej,
- nie jestem purystą językowym, ale można by się było pokusić na zastąpienie ciągle stosowanych w tekście pracy makaronizmów typu, morphing, kriging, itp. polskimi odpowiednikami, tym bardziej, że procedury numeryczne, do których stosuje się te określenia są znane i stosowane już od dekad; przykładowo ‘morfologia’ to nauka o formach (z gr. morphé - kształt, lógos – nauka); zresztą Autor sam to przytacza (str. 20) za Słownikiem Języka Polskiego, w którym istnieje słowo morfing; w przypadku zastosowanej w pracy procedury można by ją określić jako skalowanie zmiennie-parametryczne; w przypadku krigingu już takiego wyjaśnienia nie ma,
- w pracy stosowanych jest wiele skrótów i akronimów – przydało by się umieszczenie na początku pracy wykazu stosowanych skrótów i oznaczeń;

ułatwia to znacznie czytanie pracy; zamieszczony na początku pracy spis rysunków umieściłbym z kolei na końcu pracy.

#### **4. Wniosek końcowy**

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa zawiera cenne aspekty praktyczne i poznawcze, a jej cel oraz postawiona teza naukowa zostały zrealizowane, tzn. opracowano metodę personalizacji geometrycznej numerycznego pięćdziesięciocentylowego modelu pieszego mężczyzny zachowując stabilność numeryczną rozwiązania bez konieczności ponownego tworzenia siatki obliczeniowej. Praca jest oryginalnym rozwiązaniem postawionego zadania badawczego i niewątpliwie stanowi autorski przyczynek naukowy mgr inż. Dominika Jastrzębskiego w zakresie rozwoju algorytmów numerycznych w analizie kolizji pojazdu samochodowego z udziałem pieszego.

Rozprawę doktorską mgr inż. Dominika Jastrzębskiego można sklasyfikować w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie naukowej Inżynieria Mechaniczna.

Opiniowana praca odpowiada wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim określonym w § 6 ust. 3 rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 roku. W nawiązaniu do przepisów Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. *Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668, z późn. zm.) wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie Autora do publicznej obrony przed Radą Naukową Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej.

