

dr hab. inż. Mariusz Ptak, prof. uczelni
Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny
Katedra Konstrukcji Badań Maszyn i Pojazdów
ul. Łukasiewicza 7, 50-371 Wrocław
e-mail: mariusz.ptak@pwr.edu.pl

Wrocław, 01.03.2023

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani **mgr inż. DOMINIK JASTRZĘBSKIEGO** p.t.:
**Personalizacja kształtu numerycznych modeli człowieka wykorzystywanych w
analizach zderzeń z udziałem pieszych,**

której promotorem jest dr hab. inż. Marek Matyjewski, prof. uczelni

1. PRZEDMIOT I ZAKRES ROZPRAWY

Przedłożona do recenzji rozprawa doktorska pt. „*Personalizacja kształtu numerycznych modeli człowieka wykorzystywanych w analizach zderzeń z udziałem pieszych*” podejmuje ważne zagadnienia z obszaru biomechaniki, którym jest personalizacja geometryczna modeli numerycznych ciała człowieka na drodze *morphingu* przy użyciu algorytmu *Dual Kriging*.

Temat rozprawy jest aktualny i ważny zarówno z punktu widzenia naukowego, inżynierskiego oraz społecznego, gdyż dotyczy personalizacji modeli numerycznych – również kobiet. Celem pracy było opracowanie i zaproponowanie sposobu zmiany kształtu modelu człowieka do dowolnej *antropometrii* (geometrii) z zachowaniem odpowiedniej jakości siatki numerycznej – zarówno na poziomie części ciała, jak i całego modelu człowieka. Autor pracy, po analizie literatury, dostrzegł niszę badawczą związaną z ograniczoną liczbą publikacji związaną z *morphingiem* modelu manekina w pozycji stojącej.

2. UWAGI OGÓLNE I SZCZEGÓŁOWE

Struktura pracy jest ogólnie właściwa. We wstępie do pracy brakuje jednak wprowadzenia czytelnika w tematykę rozprawy. Autor od razu prezentuje wykresy, które sugerują „tendencję” liczby wypadków drogowych/zabitych w wypadkach drogowych bez głębszej analizy zagadnienia potrącenia pieszych. Z drugiej strony, przeniesienie dyskusji do rozdziału 5. przypomina strukturę dobrze napisanego artykułu naukowego, w której również paragraf „ograniczenia” (*limitations*) – w pracy rozdział „Ograniczenia prezentowanych metod” – jest ważnym merytorycznie aspektem i wskazuje na dojrzałość naukową Doktoranta.

Dysertacja napisana jest w dużej części poprawnym, zrozumiałym językiem i wykazuje, niestety, jedynie dostateczny poziom edytorski. Szereg uchybień językowych wskazano w dalszej części recenzji. Również przegląd literatury, mimo wylistowania 116 źródeł, nie obejmuje kluczowych pozycji związanych z modelowaniem wypadków z udziałem pieszych – m.in. kanonu literaturowego jakim jest praca autorstwa Simms, Wood z 2009 r.: „Pedestrian and Cyclist Impact – a Biomechanical Perspective”.

Celami szczegółowymi niniejszej rozprawy były:

- opracowanie metody morphingu umożliwiającej zmianę geometrii modelu numerycznego opartego o metodę elementów skończonych,
- opracowanie koncepcji postępowania przy morphingu pojedynczych części ciała modelu człowieka,
- opracowanie koncepcji postępowania przy morphingu całego modelu zakładając niewielką zmianę geometrii,
- opracowanie koncepcji zmiany kształtu modelu w zakresie z przeciętnej mężczyzny do przeciętnej kobiety,
- wykonanie morphingu pojedynczych części modelu ciała człowieka,
- wykonanie morphingu całego modelu mężczyzny do modelu mężczyzny o zmienionej geometrii,
- wykonanie morphingu całego modelu mężczyzny do modelu kobiety,
- przeprowadzenie symulacji sprawdzających poprawność i stabilność numeryczną uzyskanych modeli.

Autor jednocześnie postawił następującą tezę:

„Możliwe jest wykonanie personalizacji geometrycznej numerycznego modelu pieszego THUMS metodą Dual Krigingu zachowując stabilność numeryczną, bez konieczności ponownego tworzenia siatki obliczeniowej. Prawdłowo działający model umożliwi jego walidację i uzyskanie wyników obliczeń numerycznych zbliżonych do wyników badań eksperymentalnych.”

Autor w pracy doktorskiej starał się, wg mnie z sukcesem, dowieść prawdziwości postawionej tezy. Jednak finalnie nie padło stwierdzenie, że teza została udowodniona.

Nowością użyteczną pracy mgr. inż. Dominika Jastrzębskiego jest niewątpliwie:

- personalizacja kształtu poszczególnych części klatki piersiowej i uzyskanie stabilnych modeli numerycznych trzech klatek piersiowych;
- zbadanie wpływu kształtu klatki piersiowej na jej sztywność na podstawie wykonania modeli numerycznych,
- opracowana metoda morphingu całego modelu pieszego THUMS do modelu mężczyzn w różnym centylu masy i wzrostu
- opracowana metoda morphingu całego modelu pieszego THUMS do modelu powierzchniowego ciała kobiety,

Szczególnie ciekawe, w moim odczuciu, jest odwzorowanie modelu THUMS do modelu geometrycznego 3D ciała kobiety. Wymagało to od Doktoranta szeregu umiejętności, które wykraczają poza obszar dyscypliny inżynieria mechaniczna.

Według recenzenta w pracy brakuje podkreślenia i wyszczególnienia osiągnięć naukowych, na tle znacznych osiągnięć inżynierskich opisanych w dysertacji. W związku z powyższym nasuwa się pytanie, co tak naprawdę, według Autora, jest naukową wartością dodaną wniesioną w obszar inżynierii mechanicznej?

Uważam również, że Doktorant mógłby przedstawić bardziej ogólnie metodę morphingu całego modelu pieszego w postaci diagramu decyzyjnego lub modelu procesowego. Niewątpliwie wzbogaciłby to dysertację i pozwoliło innym badaczom na rozszerzenie badań w tym zakresie właśnie w oparciu o tę metodę.

Podkreśla się jednak bardzo duży nakład pracy, który wymagał od Doktoranta nabycie umiejętności nie tylko z obszaru biomechaniki, ale również programowania, pisania własnych skryptów, obróbki modeli 3D oraz zaawansowanych metod numerycznych.

Uwagi szczegółowe:

1. W rozprawie brakuje tabeli skrótów i oznaczeń, część z nich nie jest w ogóle wyjaśnionych co może wpłynąć na niezrozumienie wzorów i oznaczeń. Część skrótów błędnie odwołuje się do ich angielskich odpowiedników – np. tomografia komputerowa (CT) posiada powszechnie używany skrótowiec TK. Dodam, że w praktyce medycznej obraz uzyskany z TK nazywamy tomogramem a nie tomografią (komputerową).
2. Czytając pracę, nasuwa się pytanie czy model geometryczny THUMS, podobnie jak GHBM, powstał na podstawie obrazowania komputerowego (CT/MRI) osób stojących czy leżących? Zakładam, że zwłoki ludzkie użyte przez autora w obrazowaniu TK były w pozycji leżącej.
3. Dlaczego autor zdecydował się na użycie prawej strony modelu do odbicia lustrzanego względem wybranej płaszczyzny symetrii?
4. Wg mnie w opisie każdego prezentowanego rysunku powinien znajdować się opis użytych kolorów – brakuje tego odwołania m.in. na rys. 11 i 17.
5. Autor w pracy niejednoznacznie definiuje używane pojęcia – np. termin „element” często odwołuje się domyślnie do elementu skończonego; „siatka” do siatki elementów skończonych; „korytarz” jako zakres tolerancji wyników; „klatka” do terminu klatka piersiowa. Pomijanie określenia rzeczownika nie powinno mieć miejsca w pracach technicznych, gdyż może powodować błędną interpretację.
6. Autor błędnie zamiennie używa rzeczowników płaszczyzna i powierzchnia (np. str. 96). W języku technicznym pojęcia te nie są tożsame. Co więcej, słowo *antropometria* jest często błędnie używane przez Doktoranta i prawdopodobnie wynika z użycia anglojęzycznej kalki językowej.
7. W tabeli 3 brakuje jednostek dla wskaźnika BMI.
8. Autor dołącza m.in. opis położeń węzłów w załączniku (tab. 7) – sugeruję, aby w przyszłości również używać repozytorium wiedzy on-line dostępnego dla wszystkich czytelników. Wówczas można byłoby zaprezentować również filmy z weryfikacji kinematycznej co niewątpliwie wzbogaciłyby pracę.
9. W rozdziale 3.3. autor używa słowa „kość” na określenie geometrycznego powiązania między węzłami. Według mnie słowo szkielet (*wireframe*) byłoby bardziej adekwatne.
10. Rozdział 4.1 zaczyna się tak: *„W pierwszej kolejności przebadana została oryginalna klatka modelu THUMS, nie poddana żadnym modyfikacjom. Wyniki w postaci wykresów sztywności (wykres siły w zależności od przemieszczenia, linia ciągła w kolorze niebieskim) zostały naniesione na korytarze, składające się ze średniej (linia przerywana) i linii zakreślających pierwsze odchylenie standardowe (linia ciągła, w kolorze szarym).* Nasuwa się pytanie w jaki sposób w symulacjach numerycznych wyznaczono owe „korytarze” – wg recenzenta

powyższe sformułowanie powinno odnosić się do eksperymentu rzeczywistego obciążenia klatki piersiowej na co wskazuje rys. 36.

11. Analizując obciążenie klatki piersiowej – jakiego typu metodę obciążenia (statyka/dynamika; explicit/implicit?) użył autor i dlaczego? W pracy brakuje na ten temat informacji.
12. Na niektórych wykresach przedstawiających siłę w funkcji przemieszczenia (np. rys. 51 i 52) wartość siły wynosi ~ 0 przy nieznacznym przemieszczaniu $\sim 0,5$ mm. Proszę o komentarz.
13. W rozdziale 4.2 Autor stwierdza: *Samo ustawienie nóg podczas uderzenia nie ma silnego wpływu na kinematykę modelu, ponieważ podczas pierwszego uderzenia ścięgna w kolanach często ulegają zerwaniu, zaś same nogi „dopasowują się” do kształtu uderzającego samochodu.* Doświadczenia recenzenta w modelowaniu wypadków z udziałem pieszych są inne – aspekt ten został opisany m.in. w książce „Head Injury Simulation in Road Traffic Accidents” (2018). Pozycja ułożenia nóg pieszego podczas wypadku ma szczególne znaczenie na późniejszą kinematykę, jeśli dochodzi do potrącenia poza płaszczyznę symetrii pojazdu (np. zderzenie narożnikowe). *Nota bene*, wpływ pozycji rąk pieszego podczas wypadku na jego kinematykę jest również kolejną istotną zmienną, co autor słusznie odnotował na (rys. 67).
14. Warunki brzegowe (początkowe) opisane przez autora są nieprecyzyjne. Mianowicie: a) czy współczynnik tarcia między stopą a gruntem również wynosił 0,2 i czy model był obciążony grawitacyjnie przed uderzeniem (tzw. presymulacja), aby między stopami a gruntem występowała odpowiednia siła reakcji? b) czy uderzenie było w płaszczyźnie symetrii pojazdu i czy pojazd był hamowany (opóźnienie zadane jako warunek brzegowy)?
15. Według recenzenta, Autor pracy mógłby w przyszłości zastosować powszechnie używany m.in. w rekonstrukcjach wypadków parametr WAD (Wrap Around Distance) do porównywania wyników walidacji/weryfikacji symulacji z pieszymi. Dystans owinięcia pieszego na pojeździe pozwoliłby odnieść wyniki autora do innych prac badawczych związanych z bezpieczeństwem pieszych.
16. W pracy pojawia się wiele błędów gramatycznych, ortograficznych, edytorskich. Chciałbym zauważyć, iż znacząca liczba przytoczonych poniżej błędów (szczególnie edytorskich) rzutuje negatywnie na ogólną bardzo dobrą jakość merytoryczną pracy.
 - przecinek przed zaimkami wprowadzający zdania podrzędne (np. który);
 - „ok” – okey; ok. – około; wyrażenie te są błędnie używane;
 - nierozróżnianie w pracy następujących znaków: pauza (myślnik) to znak interpunkcyjny, zaś dywiz (łącznik, ćwierćpauza) jest znakiem ortograficznym;
 - szereg błędów edytorskich, m.in.:

- *inym* pracownikom Wydziału, za *wspacie*;
 - *maniekinami* Hydrid III;
 - *zatosowanie*;
 - *tylu shell*;
 - *każdego zebra*;
 - przykładowo dla *szczęścianu*;
 - współrzędne z *idneksem M*;
 - *morphowany na podsawie*;
 - *bezwzględna wielkość*;
 - *jedyna kość*;
 - *zbiernie* były z zewnątrz;
 - *Honda Accodrd*;
 - *zmorphowanego do antorpometrii*;
 - *zostać zintepretowane*.
- Terminologia: *drgania się wyciszały*
 - Składnia: użycie przydawki określającej w danym kontekście: nie „sztuczne tworzywo” ale tworzywo sztuczne.
 - Logiczne: *m.in. „(...) ze względu na znaczną bezwładność człowieka przy prędkości, z którą poruszał się pojazd w opisywanych symulacjach, początkowa faza trajektorii jest wypłaszczona”.*
 - należy używać spójnych, poprawnych gramatycznie i technicznie sformułowań tj.:
 - *zmorfowanej* czy *zmorphowanej*;
 - *Krigingu* czy *krigingu*;
 - *95-centylowego*,
dziewięćdziesięciodziewięciocentylowego,
95cio centylowego, *duży mężczyzna*;
 - *wiskoelastyczny* czy *lepkopreżysty*;
 - przerwa (spacja) między wartością a jednostką (np. *1,19m*, *1,19 m*) lub jej brak – zgodnie z przyjętą konwencją ortotypograficzną.

3. PODSUMOWANIE I WNIOSEK KOŃCOWY

Przedstawiony materiał badawczo-analityczny zawarty w pracy doktorskiej jest oryginalnym dorobkiem mgr inż. Dominika Jastrzębskiego, który wpisuje się w zakres dyscypliny budowa i eksploatacja maszyn (obecnie inżynieria mechaniczna). Praca zdecydowanie posiada wartość użytkową oraz wartości naukowe, które jednak, według mnie, nie zostały odpowiednio w rozprawie uwypuklone. Wymienione w niniejszej recenzji uwagi nie zmieniają mojej ogólnie bardzo pozytywnej opinii o rozprawie. Powinny one skłonić Autora pracy do dalszego doskonalenia kunsztu naukowca i zagłębiania się w problemy badawcze. Popieram również zaproponowane przez Doktoranta dalsze kierunki badawcze – w szczególności personalizację manekinów numerycznych w oparciu o skanowanie 3D.

Podsumowując, stwierdzam, że praca doktorska pt. *„Personalizacja kształtu numerycznych modeli człowieka wykorzystywanych w analizach zderzeń z udziałem pieszych,”* spełnia wymagania ustawy o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami) i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do publicznej obrony.

dr hab. inż. Mariusz Ptak, prof. uczelni



