

Recenzja pracy doktorskiej pt. „The noninvasive technique of determining local stiffness of human arteries” autorstwa Pana Mateusza Meska

Winthrop Profesor Dr Hab Inz Karol Miller

Kierownik Laboratorium Systemów Inteligentnych dla Medycyny, Uniwersytet Zachodniej Australii

Z zainteresowaniem i przyjemnością zapoznałem się z rozprawą doktorską pt. „Nieinwazyjna technika określania lokalnej sztywności ludzkich tętnic” autorstwa Pana Mateusza Meska, złożoną do oceny na Politechnice Śląskiej.

1. Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych,

Praca doktorska składa się z siedmiu rozdziałów, aneksu oraz spisu literatury, obejmując łącznie 113 stron. Pod względem objętości i zawartości spełnia ona wymagania stawiane rozprawie doktorskiej.

Pierwsze dwa rozdziały – **1. Wprowadzenie** oraz **2. Teoria** – zawierają opis stanu wiedzy oraz cele pracy umiejscowione w kontekście aktualnych badań naukowych, wspierane odpowiednimi odniesieniami do literatury. Rozdział **2. Teoria** zawiera niezbędne podstawy teoretyczne, które są wysoce interesujące i wymagające, gdyż obejmują zagadnienia z zakresu nieliniowej mechaniki ciała stałego, modelowania materiałów, teorii zagadnień odwrotnych, filtrowania oraz sterowania.

2. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej,

Praca doktorska zawiera 97 cytowanych pozycji literatury. Wybór literatury jest odpowiedni i pozwala umiejscowić pracę kandydata w kontekście współczesnych badań naukowych.

Jednakże warto rozważyć uwzględnienie w przyszłych publikacjach opartych na tej rozprawie literatury dotyczącej nowoczesnych technik opartych na uczeniu maszynowym do szacowania parametrów modeli, takich jak np.:

- Mark Alber, Adrian Buganza Tepole, William R. Cannon, Suvranu De, Salvador Dura-Bernal, Krishna Garikipati, George Karniadakis, William W. Lytton, Paris Perdikaris, Linda Petzold & Ellen Kuhl, „Integrating machine learning and multiscale modeling—perspectives, challenges, and opportunities in the biological, biomedical, and behavioral sciences”, *NPJ Digital Medicine* 2(1), 115, 2019;
- K. Linka, E. Kuhl, „A new family of Constitutive Artificial Neural Networks towards automated model discovery”, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering* 403, 115731, 2023.

3. Wskazanie oraz ocena celu pracy kandydata

Celem zaprezentowanej pracy jest opracowanie nieinwazyjnej metody szacowania sztywności lewej tętnicy szyjnej wspólnej (LCCA) na podstawie pomiarów przemieszczeń ultradźwiękami oraz

pomiarów ciśnienia. Niemniej jednak należy zaznaczyć, że cel postawiony we Wstępie na stronie 8 wskazuje na wszystkie tętnice dostępne w badaniu USG, a nie tylko LCCA.

Cel ten został jasno i precyzyjnie określony oraz jest odpowiedni dla pracy doktorskiej.

4. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych

Kandydat wykorzystał zróżnicowane i multidyscyplinarne narzędzia badawcze, takie jak pomiary przemieszczeń za pomocą ultradźwięków, tonometrię oraz zaawansowane metody modelowania matematycznego, numerycznego i symulacji komputerowej. Zastosowane narzędzia badawcze są odpowiednie dla postawionych celów.

Opanowanie tych metod badawczych potwierdza zdolność kandydata do prowadzenia zaawansowanych badań multidyscyplinarnych.

5. Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań

Eksperymenty opisano w rozdziale 3, model numeryczny i jego walidację w rozdziałach 4 i 5, a kluczowe wyniki w rozdziale 6.

Szczególnie interesująca jest sekcja 6.2.2 „Medical data”. Tabela 6.5, zawierająca wyniki szacowania sztywności dla trzech pacjentów, potwierdza, że wartości te mieszczą się w przewidywanym zakresie, jak podano w cytowanej pracy [91].

Poniżej przedstawiam sugestie dotyczące przygotowań do obrony pracy oraz możliwych ulepszeń publikacji wynikających z tej rozprawy – podzielone na poszczególne rozdziały.

Rozdział 1

- „Podwyższona sztywność ściany tętnic zwiększa ryzyko pęknięcia tętniaka” – proszę być przygotowanym do podania źródła lub uzasadnienia tej tezy, ponieważ jest ona kontrowersyjna.
- Par. 2. W publikacjach proszę dodać warning jako jedną z głównych przyczyn zwiększonej sztywności tętnic.
- Par. 3. Proszę wyjaśnić stwierdzenie dotyczące pracy potrzebnej do wyrzutu krwi – wydaje się, że im sztywniejsza ściana, tym mniejsza jest potrzebna praca.
- Proszę poprawić zgodność sekcji 1.2 **Outline** ze spisem treści.
- Kto zbudował stanowisko badawcze?

Rozdział 2

- Proszę przygotować się do wyjaśnienia różnicy pomiędzy notacją tensorową a notacją indeksową (strona 20, równanie 2.4).

- W kwestii założenia o istnieniu nieobciążonej konfiguracji, proszę dokładnie rozważyć, czy to założenie jest uzasadnione w kontekście tkanek biologicznych.
- Strona 23, dół. Tekst dotyczący stosowania pełzania i relaksacji naprężeń do identyfikacji/walidacji wymaga dokładnego rozważenia, ponieważ testy te służą do identyfikacji materiałów hiperlepkosprężystych (lub modeli dwufazowych/wielofazowych), a nie materiałów hipersprężystych.

Rozdział 3

- Proszę wyjaśnić, kto zbudował stanowisko testowe – Pan czy ktoś inny?
- Proszę wyjaśnić, czy model fantomu miał kształt anatomiczny, czy był prostą rurką.

Rozdział 4

- Dlaczego wybrano FEMBio, a nie komercyjny program, taki jak np. ABAQUS?
- Proszę przygotować szczegółowe informacje o typach elementów użytych w modelu oraz o procedurach rozwiązywania zagadnień statycznych i dynamicznych.
- Dlaczego zastosowano RMSE, a nie NRMSE, co jest bardziej standardowe w analizie zbieżności siatki?
- Proszę przygotować się do wyjaśnienia, w jaki sposób uzyskał Pan wiarygodne przemieszczenia z liniowego modelu sprężystego, który zakłada nieskończenie małe odkształcenia (i dlatego jest używany głównie do odzyskiwania naprężeń, a nie przemieszczeń).
- Tabela 4.5. Proszę przygotować się do wyjaśnienia dużych różnic we współczynniku Poissona. Takie różnice we współczynniku Poissona prowadziłyby do bardzo różnej sztywności w odkształceniu objętościowym.
- Strona 54. Proszę przygotować się do wyjaśnienia, dlaczego współczynnik Poissona fantomu bardzo różni się od przyjętego dla prawdziwej tętnicy.

Rozdział 6.

P. 71. Proszę przygotować się do wyjaśnienia, skąd pochodzi równanie 6.1.

Proszę przygotować się do wyjaśnienia, dlaczego zastosowano FEMbio, jakie dokładnie element skończone zostały wybrane i jakie dokładnie procedury rozwiązania zostały zastosowane.

Rozdział 7.

Prosimy o wyjaśnienie, dlaczego i w jaki sposób średnia grubość została zmierzona za pomocą promieni rentgenowskich, a nie tylko grubość w danych punktach.

P. 82. Proszę przygotować się do wyjaśnienia, dlaczego Pan sugeruje model zredukowanego rzędu, skoro pełny model MES jest bardzo prosty i bardzo szybki.

6. Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań

Choć praktyczne zastosowanie wyników badań nie zostało szczegółowo omówione, nie ulega wątpliwości, że opracowana technika nieinwazyjnego pomiaru sztywności tętnic byłaby niezwykle przydatna w diagnostyce, prognozowaniu i planowaniu leczenia chorób naczyniowych.

7. Informacje o ewentualnych nieprawidłowościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie doktorskiej

Praca jest technicznie poprawna i – o ile mogę ocenić – nie zawiera błędów. Wskazałem jednak kilka kwestii, które mogą wymagać dalszego rozważenia przed publikacją oraz omówienia podczas obrony.

Podsumowując, uważam, że praca doktorska przedstawia oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i spełnia kryteria stawiane rozprawom doktorskim.

Profesor Karol Miller

Pilzno, 15 stycznia 2025 r.