

Warszawa, 08.01.2018 r.

Prof. dr hab. inż. Tadeusz Pałko  
Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej  
Politechniki Warszawskiej  
ul. Św. A. Boboli 8  
02-525 Warszawa

*adres prywatny:*  
*Gorlicka 15 A m. 10*  
*02-130 Warszawa*

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Moniki Ratajczak  
p.t. „**Analiza zmian parametrów biomechanicznych tkanek mózgowych spowodowanych obciążeniami dynamicznymi**”

Niniejsza recenzja została opracowana, w związku z powołaniem mnie na recenzenta tej rozprawy przez Radę Wydziału Podstawowych Problemów Techniki Politechniki Wrocławskiej na posiedzeniu w dniu 8.11.2017r. oraz zgodnie pismem z dnia 10.11.2017r. w tej sprawie.

Uszkodzenia mózgu należą do grupy najbardziej dotkliwych chorób człowieka. Rozpatrując środki zaradcze (np. odpowiednie kaski, ubiory sportowe i użytkowe, fotele samochodowe i lotnicze) w celu zapobiegania występowaniu urazowego uszkodzenia mózgu, pożądane jest poznanie odpowiedzi biomechanicznych na działanie obciążeń dynamicznych. Z tych też względów szereg naukowców z różnych ośrodków na świecie, głównie akademickich, zajmuje się tą problematyką. Rezultatami prowadzonych badań z tego zakresu, poza medycyną zainteresowane są również instytucje komunikacyjne, sportowe, ubezpieczeniowe, przemysł odzieżowy i inne gałęzie gospodarki. Od wielu lat w ograniczonym zakresie prowadzone są badania eksperymentalne na zwłokach oraz na ich podstawie wykonywane są modele fizyczne, głównie jako antropometryczne fantomy głowy lub całego człowieka. W ostatniej dekadzie, wraz z rozwojem komputerów nowej generacji o dużej mocy obliczeniowej, preferowane jest modelowanie numeryczne głowy połączone z metodą elementów skończonych. Modelowanie takie odznacza się dużą elastycznością i łatwością modyfikowania oraz rozbudowywania. Z dokonanego przeglądu stanu wiedzy, na podstawie analizy literatury z tego zakresu wynika, że w dotychczasowych modelach numerycznych głowy nie uwzględniano lub zbyt upraszczano biomechanikę żył mostkowych, zwłaszcza w aspekcie tworzenia się krwiaków podtwardówkowych w

odpowiedzi na urazy, zwłaszcza u osób w podeszłym wieku, co wykazują medyczne badania obrazowe, w szczególności przy użyciu tomografii komputerowej, a czego nie wyjaśniają dotychczasowe modele numeryczne głowy.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Moniki Ratajczak pt. „Analiza zmian parametrów biomechanicznych tkanek mózgowych spowodowanych obciążeniami dynamicznymi”, której promotorem jest Pan prof. Romuald Będziński została poświęcona badaniom i ocenie właściwości mechanicznych struktur tkanek mózgowych w odpowiedzi na obciążenia dynamiczne. Zatem tematyka recenzowanej pracy dobrze wpisuje się w wyżej wymieniony obszar badawczy, uzupełniając dotychczasowe niedostatki w tym względzie. Tematyka ta jest ważna zarówno z punktu widzenia poznawczego, dydaktycznego jak i użytecznego, nadającego się do wykorzystania w medycynie. Praca przy tym ma charakter innowacyjny (autorskie opracowanie numerycznego modelu głowy i jego wykorzystanie w badaniach eksperymentalnych). Zakres pracy oceniam jako wystarczający, a nawet przekraczający wymagania stawiane rozprawom doktorskim. Głównym celem pracy było opracowanie i walidacja modelu numerycznego głowy oraz przeprowadzenie badań eksperymentalnych właściwości mechanicznych struktur tkanek mózgowia, ze szczególnym uwzględnieniem wpływu żył mostkowych na odkształcalność tkanek mózgu, w tym względnych przemieszczeń tych tkanek przy obciążeniach dynamicznych. Sformułowano również pięć celów szczegółowych obejmujących: 1) opracowanie nowoczesnego numerycznego modelu głowy, 2) walidacja własnego modelu głowy z wykorzystaniem testów biomechanicznych przeprowadzonych na ludzkich zwłokach, 3) badania różnych modeli materiałowych tkanek mózgowych, 4) badania odkształceń żył mostkowych w odpowiedzi na obciążenia dynamiczne i 5) badania wpływu objętości mózgu na odkształcalność żył mostkowych. W rozprawie przedstawiono następujące trzy tezy jako problemy badawcze:

- Opracowanie modelu obliczeniowego tkanek mózgowych z wykorzystaniem metod obrazowania stwarza możliwość przeprowadzenia oceny zmian właściwości mechanicznych tych struktur spowodowanych gwałtownymi obciążeniami.
- Właściwości mechaniczne tkanki mózgowej i żył mostkowych wpływają istotnie na przemieszczenia mózgu względem czaszki i podczas obciążeń mechanicznych.
- Istnieje zależność pomiędzy parametrami fizycznymi żył mostkowych oraz mózgu a odkształcalnością tych żył.

Należy zaznaczyć, że zarówno przyjęte cele jak i teza rozprawy są ważne zarówno od strony poznawczej, dydaktycznej jak i praktycznej w szczególności dla potrzeb medycyny.

Recenzowana rozprawa została starannie opracowana zarówno pod względem edytorskim i merytorycznym. Objętościowo jest dość obszerna, zawiera 146 stron i składa się z 12 rozdziałów oraz wykazu obszernej bibliografii (249 pozycji). Struktura rozprawy jest przejrzysta i logiczna. We wprowadzeniu (Rozdz. 1) zawarto informacje o znaczeniu i ważności problematyki tematu z punktu widzenia skutków urazów głowy spowodowanych gwałtownymi obciążeniami, a także podano zakres pracy. Po dobrym opisie anatomii biomechaniki i neurologicznych aspektów uszkodzeń mózgowych (Rozdz. 2) przedstawiono przejrzyste różne modele numeryczne głowy człowieka (Rozdz. 3) oraz właściwości mechaniczne struktur mózgowych wraz z żyłami mózgowymi (Rozdz. 4) i bardzo dobre podsumowanie stanu wiedzy (Rozdz. 5). Powyższe pięć rozdziałów zostało bardzo dobrze opracowane na podstawie analizy cytowanej bibliografii, natomiast dalsza część rozprawy oparta głównie na własnych pracach została przedstawiona w następnych siedmiu rozdziałach. W tej zasadniczej części rozprawy na podstawie rozpoznanego stanu wiedzy sformułowano problemy badawcze jako tezy rozprawy oraz ogólne i szczegółowe cele (Rozdz. 6), a także wybór metody badawczej, w której do analiz patomechanizmu odkształceń tkanek mózgowych wynikających z gwałtownych przeciążeń wybrano kod obliczeniowy LS-DYNA wykorzystujący bezpośrednio całkowanie równań ruchu (Rozdz. 7). Zasadniczą, oryginalną oraz nowatorską częścią rozprawy są następne rozdziały opisujące opracowanie autorskiego modelu głowy o nazwie  $\alpha$ HEAD (Rozdz. 8), jego walidacja w oparciu o dane literaturowe (Hardy, 2007) eksperymentu przeprowadzonego na zwłokach ludzkich (Rozdz. 9) i porównanie wyników walidacji z innym modelem numerycznym YEAHM (Fernandos, 2017) a także badania numeryczne względnych przemieszczeń mózgu w zależności od jego właściwości materiałowych dopasowanych do różnych tkanek mózgowych (Rozdz. 10) oraz badania żył mostkowych (Rozdz. 11), obejmujące odkształcenia żył mostkowych w zależności od ich parametrów biomechanicznych, analizę wpływu żył mostkowych na przemieszczenia mózgu względem czaszki, ocenę wpływu zmian objętości mózgu na odkształcalność żył mostkowych. W zakończeniu opisowej części rozprawy zaprezentowano dobrze sformułowane syntetyczne podsumowanie wraz z wynikającymi z przeprowadzonych badań wnioskami (Rozdz. 12).

Do szczególnie wartościowych i w dużej mierze oryginalnych osiągnięć Doktorantki należy zaliczyć:

1. Opracowanie oryginalnego autorskiego modelu numerycznego tkanek mózgowych, opartego o metodę elementów skończonych i z wykorzystaniem metod tomografii komputerowej do obrazowania struktur mózgu, który umożliwi badanie odkształceń i przemieszczeń tych struktur pod wpływem obciążeń dynamicznych.
2. Wykazanie zależności pomiędzy parametrami fizycznymi żył mostkowych oraz mózgu a odkształcalnością tych żył.
3. Dokonanie oceny wpływu właściwości mechanicznych tkanek mózgu i żył mostkowych na przemieszczanie mózgu względem czaszki w wyniku obciążeń mechanicznych.
4. Wykazanie, że najbardziej podatne na odkształcenia są żyły mostkowe w regionie czołowo-ciemieniowym, co znajduje potwierdzenie w badaniach klinicznych stwierdzających największą liczbę krwiałków podtwardówkowych w tym regionie głowy.
5. Wykazanie, że żyły mostkowe u osób w wieku powyżej 80-ciu lat są znacznie bardziej podatne na uszkodzenia, niż u osób do 40-tego roku życia, co wynika ze zmniejszania się objętości mózgu ( średnio 5% na 10 lat).

W trakcie czytania i analizy tekstu rozprawy dostrzeżono kilka drobnych nieścisłości a mianowicie:

- str. 8, w 1g- napisano, że „Urazowe uszkodzenie mózgu (UUM) jest jedną z bardziej dotkliwych chorób na całym świecie”- lepiej byłoby po słowie *chorób* dodać słowo *człowieka*.
- str. 18 w 3d- stwierdzono, że „krew przepływa przez mózg z szybkością 750-100 ml/min (Vetulani, 2011)”, a ściślej byłoby zamienić słowo z *szybkością* na *natężeniem przepływu*.
- str 28, w 3g- zamiast „...względny ruch...”, powinno być „...względny ruch...”
- str 47, w 5g- „Szytywność... przyjęto 1,9 N na jednostkę odkształcenia”, ale nie podano w czym mierzona jest jednostka odkształcenia.
- str 56, w 7d- podano, że „ preparaty żeńskie żył mostkowych wykazują wyższe wartości właściwości mechanicznych niż preparaty męskie”- stwierdzenie to jest nieścisłe, gdyż wartości dotyczą konkretnych parametrów ( np. naprężenia,

odkształceń granicznych itp.) charakteryzujących opisywane właściwości, a nie samego pojęcia „właściwości”, a więc wartość właściwości jest sformułowaniem nieprawidłowym.

- str 67, w 12g- jest napisane „ National Library”, a powinno być „ National Library”.
- str 146, w 7d- w 247 pozycji bibliografii jest niezamknięty nawias.

Poza tymi mało znaczącymi uwagami, rozprawę doktorską oceniam jako bardzo dobrą. W ramach tej rozprawy bardzo dobrze i w sposób nowatorski rozwiązano oryginalne, autorskie opracowanie własnego modelu numerycznego struktur tkankowych głowy pod nazwą  $\alpha$ HEAD, przy użyciu którego następnie przeprowadzono eksperymentalne badania zmian parametrów biomechanicznych pod wpływem obciążeń dynamicznych. Należy podkreślić, że model głowy  $\alpha$ HEAD uzyskał pozytywną ocenę wyniku walidacji na podstawie wykorzystania badań eksperymentalnych przemieszczenia mózgu względem czaszki przeprowadzonych przez Hardy'ego i wsp., które zostały opublikowane w 2007 roku. Doktorantka przeprowadziła również badania porównawcze z modelem YEAHM (Fernandes, 2017), podobnie walidowanym i wykazała wyższość własnego modelu, który okazał się znacznie dokładniejszy. Z badań tych wynika, że uwzględnienie w modelu żył mostkowych, sierpu mózgu i namiotu mózdzku, a także odpowiednich połączeń tkanek mózgowych z czaszką stanowi istotny element potrzebny do prawidłowej oceny biomechaniki obrażeń mózgu. Należy też podkreślić, że opracowany i zwalidowany model numeryczny  $\alpha$ HEAD, umożliwił przeprowadzenie założonych badań wpływu obciążeń dynamicznych na odpowiedź tkanek mózgowia wraz z żyłami mostkowymi, na podstawie których przyjęte tezy badawcze rozprawy zostały potwierdzone, a wszystkie założone cele pracy osiągnięte.

Reasumując uważam, że mgr inż. Monika Ratajczak w przedstawionej rozprawie doktorskiej rozwiązała samodzielnie postawione sobie zadanie naukowe i wykazała się wiedzą i umiejętnościami wymaganymi dla uzyskania stopnia nauk technicznych w dyscyplinie Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna. Rozprawa doktorska mgr inż. Moniki Ratajczak spełnia obowiązujące warunki ustawowe i w związku z powyższym wnioskuje o dopuszczenie w/w. Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Jednocześnie w związku z osiągnięciem oryginalnych i wartościowych wyników pracy i ich szerokim zakresem, przy opracowaniu i eksperymentalnych badaniach innowacyjnego modelu numerycznego dobrze odwzorowującego przemieszczenia struktur tkankowych głowy z uwzględnieniem żył mostkowych w odpowiedzi na obciążenia dynamiczne oraz

uwzględniając fakt, że znacząca część wyników tej rozprawy została opublikowana w trzech czasopismach anglojęzycznych oraz w rozdziale książki anglojęzycznej, a także przedstawiona jako doniesienie na krajowej konferencji naukowej, stawiam wniosek o wyróżnienie niniejszej rozprawy doktorskiej.

*Tadeusz Pałko*  
**prof.dr hab.inż. Tadeusz Pałko**