

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Joanny Nowak
pt. „Dwufazowe modelowanie i badania eksperymentalne tkanki ludzkiej
z obrzękiem limfatycznym w zakresie diagnostyki
właściwości hydromechanicznych”
napisanej pod kierunkiem
prof. dr hab. inż. Mariusza Kaczmarka**

Niniejsza recenzja jest sporządzona na prośbę Pana dr hab. inż. Mieczysława Cieszko, prof. uczelni – Przewodniczącego Rady Dziedziny Nauk Inżynieryjno-Technicznych Uniwersytetu Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy z dnia 05.07.2023 roku zgodnie z wymogami Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t. j. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789 z późn. zm.) oraz ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. poz. 1669 z późn. zm.).

1. Ocena zasadności podjęcia tematu

Pani mgr inż. Joanna Nowak w swojej rozprawie doktorskiej podejmuje bardzo ważny problem dotyczący modelowania tkanek z obrzękiem w różnych stadiach choroby. Doktorantka swoje rozważania naukowe prowadzi w oparciu o modele

teoretyczne, symulacje numeryczne i badania eksperymentalne, w celu rozwijania metod oceny właściwości hydromechanicznych.

Obrzęk limfatyczny, którego dotyczy recenzowana praca jest problemem powszechnym i niezwykle istotnym, zwłaszcza w aspekcie społecznym. Pacjenci zmagający się z tym schorzeniem odczuwają, poza niebagatelny pogorszeniem jakości życia, także negatywny wpływ na ogólny stan zdrowia. Obrzęk limfatyczny jest wynikiem niewydolności układu limfatycznego, w którym transport limfy i substancji w niej zawartej jest mocno zmniejszony lub nawet całkowicie zatrzymany. Nadmiar płynu może mieć charakter miejscowy lub ogólny. Obrzęk nie musi być chorobą samą w sobie. Przyczyną jego pierwotnej postaci są rozmaite anomalie układu chłonnego, a w przypadku wtórnej postaci – powikłania różnych stanów chorobowych jak na przykład chorób nowotworowych, przewlekłej niewydolności żylniej, zakrzepicy żył głębokich i powierzchownych, urazów, infekcji czy zwłóknień.

Diagnostyka i leczenie schorzeń związanych z obrzękiem są jak na razie słabo rozwinięte. Jest to w dużej mierze spowodowane trudnościami jakie wynikają między innymi z niezrozumienia mechanizmów zachodzących podczas rozwoju choroby, a także z uwagi na szereg nierozpoznanych procesów hydromechanicznych. W dostępnych bazach bibliograficznych jest stosunkowo niewiele prac z zakresu opisu hydromechaniki tkanki z obrzękiem. Jest to jednak problem bardzo istotny, na co zwróciłem uwagę wcześniej. Dlatego też niezbędne wydaje się opracowanie metod w zakresie wczesnej diagnostyki, która wymaga poznania właściwości materiału oraz zidentyfikowania pewnych kluczowych parametrów tkanki. Pozyskana w ten sposób wiedza może być pomocna w interpretacji reakcji tkanki na podejmowane działania terapeutyczne.

Zarówno obrzęk, jak i wynikające z jego obecności powikłania zdrowotne w znacznej mierze wpływają na jakość życia pacjenta, na jego postawę wobec własnej osoby, a także na radzenie sobie z chorobą. Należy mieć na uwadze, że nie tylko rodzaj objawów, ich intensywność oraz rokowania mają wpływ na ocenę i przeżywanie choroby

przez chorego, ale opinia zespołu terapeutycznego, który ma zawsze swój specyficzny, indywidualny sposób wartościowania bezpośrednio przekazywany pacjentowi. W tym aspekcie zrealizowana praca doktorska jest istotna nie tylko z punktu widzenia naukowego, ale nade wszystko utylitarne.

2. Zakres i struktura pracy – elementy oceny merytorycznej

Opiniowana praca liczy 133 strony wraz ze spisem treści i bibliografią i streszczeniami (w języku polskim i angielskim). Na początku rozprawy Doktorantka opisała cel pracy i motywację, następnie jest sześć rozdziałów merytorycznych oraz spis literatury zawierający 105 pozycji o zasięgu międzynarodowym. W tym miejscu Recenzent pragnie podkreślić, że oceniana praca jest bardzo dobrze udokumentowana w zakresie bibliograficznym. W dalszej części niniejszego punktu recenzji przedstawiono bardziej szczegółową prezentację zawartości poszczególnych rozdziałów, koncentrując się na ich ocenie w aspekcie wzajemnej spójności oraz podporządkowania rozważań przyjętemu celowi.

Przedmiot rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Joanny Nowak stanowi oryginalne rozwiązanie zagadnienia naukowego, jakim było sformułowanie modeli matematycznych właściwych do opisu tkanki podskórnej z obrzękiem wraz ze skórą. W dalszej części Doktorantka dokonała implementacji tych modeli w symulacjach numerycznych. Ponadto, opracowano metodologię pomiarową w ramach przeprowadzonych badań eksperymentalnych. Przewidywania z przedstawionego dwufazowego modelu tkanki podskórnej wraz ze sprężystą warstwą skóry posłużyły do interpretacji wyników z badań *in vivo*. Przeprowadzona analiza parametryczna pozwoliła na ocenę jakościową otrzymanych wyników dla rozważanych metod wgłębnikowych. Autorka rozprawy podjęła się trudnego zadania, którego celem była próba wyznaczenia przybliżonych wartości parametrów (przepuszczalności i modułu Younga tkanki podskórnej) opisujących hydromechanikę tkanki z obrzękiem.

Na początku rozprawy w rozdziale „Cel i motywacja pracy” Autorka wprowadza czytelnika w obszar swoich badań wskazując przy tym na fakt, że obrzęk limfatyczny stanowi istotny problem medyczny i społeczny. W niniejszym paragrafie wyraźnie opisano cel pracy i opisano sposób jego realizacji, zarówno w aspekcie teoretycznym, jak i praktycznym (symulacje, eksperyment). W pracy Doktorantka postawiła następujące hipotezy badawcze:

- modelowanie dwufazowe może mieć kluczową rolę w rozwijaniu diagnostyki tkanek obrzękowych,
- symulacje numeryczne mogą pozwolić wyjaśnić przebieg i różnice wyników testów diagnostycznych oraz określić znaczenie właściwości skóry i tkanki podskórnej.

O ile celowość postawienia takich hipotez nie podlega dyskusji i jest to bardzo cenny punkt w pracy naukowej Doktorantki to już ich sformułowania są dyskusyjne. Hipotezy powinny być sformułowane jednoznacznie i wtedy podlegają confirmacji albo falsyfikacji. Sformułowania „może mieć kluczową rolę” albo „mogą pozwolić wyjaśnić” nie są jednoznaczne. Moim zdaniem lepiej byłoby napisać (odpowiednio):

- modelowanie dwufazowe **ma** kluczową rolę w rozwijaniu diagnostyki tkanek obrzękowych,
- symulacje numeryczne **pozwalają** wyjaśnić przebieg i różnice wyników testów diagnostycznych oraz określić znaczenie właściwości skóry i tkanki podskórnej.

W opisywanym rozdziale Doktorantka przedstawiła również zakres swojej pracy poprzez charakterystykę poszczególnych rozdziałów.

W pierwszym rozdziale swojej rozprawy Autorka bardzo szczegółowo przedstawiła zawarty został przegląd literaturowy w zakresie badań eksperymentalnych i modelowania tkanki z obrzękiem. Na początku rozdziału opisano anatomię tkanek zdrowych (skóry i tkanki podskórnej) oraz opis i etiologię tkanki obrzękowej. Szczególną uwagę zwrócono na dostępne metody identyfikacji obrzęku limfatycznego.

Szczególnie cenny jest opis parametrów wyznaczanych dla tkanek zdrowych, ludzkich i zwierzęcych, takich jak moduł Younga dla skóry i tkanki podskórnej oraz przepuszczalność tkanki podskórnej. W końcowej części niniejszego rozdziału przedstawiono krótki przegląd modeli matematycznych, które są wykorzystywane do opisu tkanek, ze szczególnym uwzględnieniem modelu dwufazowego.

W rozdziale drugim ocenianej pracy opisano równania bilansu faz i modele matematyczne sformułowane dla materiału dwufazowego w zakresie małych odkształceń oraz dla deformacji skończonych. Skóra traktowana jest jako jednofazowy materiał sprężysty. Tkanę podskórną z obrzękiem opisuje się jako materiał dwufazowy (porowaty szkielet wypełniony płynem). W modelu, który opisuje mechanikę skóry i tkanki podskórnej dla uproszczenia zostały pominięte siły bezwładności i grawitacji. Tkanka podskórna została potraktowana jako izotropowy, sprężysty, przepuszczalny materiał wypełniony płynem. Jest to dobre przybliżenie przy założeniu, że ruch śródmiąższowego płynu tkankowego i porowatego szkieletu może odbywać się niezależnie.

Rozdział trzeci niniejszej pracy doktorskiej obejmuje badania eksperymentalne. W treści tego rozdziału zawarto metodykę i obiekty badań (fantomy i pacjenci). Przedstawiono również wybrane rezultaty z pomiarów na pacjentach oraz wyniki badań aparatem wgłębnikowym na fantomach z pianki poliuretanowej.

Czwarty rozdział pracy to „Symulacje numeryczne”. Autorka przedstawiła warunki początkowe i brzegowe przyjęte w modelu numerycznym oraz wyniki z symulacji numerycznych dla trzech rozważanych w pracy metod badań. W rozdziale tym zostały również przedstawione wyniki analizy parametrycznej, która miała na celu identyfikację parametrów decydujących o właściwościach hydromechanicznych tkanki obrzękowej.

W rozdziale piątym Doktorantka przeprowadziła dyskusję wyników pochodzących z eksperymentów i symulacji. Szczególną uwagę poświęcono jakościowej

i ilościowej interpretacji wyników eksperymentów, w przypadku systemu dwukomorowego podjęto próbę identyfikacji charakterystycznych parametrów tkanki podskórnej z obrzękiem. W opisywanym rozdziale dokonano także podsumowania wykorzystanej metodyki badawczej w aspekcie wiarygodności pozyskanych wyników, a także łatwości zastosowania i komfortu pacjenta.

Ostatni rozdział zawiera wnioski końcowe. Autorka w tym rozdziale na początku przypomniała problem badawczy, cel i zakres badań. Następnie za pomocą 10 punktów Doktorantka przedstawiła wnioski z przeprowadzonych prac. Sformułowane wnioski pozwoliły na confirmację przyjętych hipotez badawczych. W dalszej części niniejszego rozdziału przedstawiono w punktach oryginalne wyniki z prowadzonych badań. Jest to bardzo cenne, gdyż dowodzi dużej świadomości podejmowanych prac naukowych przez Doktorantkę. Wskazuje, że badania zostały zrealizowane zgodnie z przyjętym celem i mają wymiar zarówno użyteczny, jak i naukowy.

3. Uwagi krytyczne

Praca jest napisana w języku polskim. Autorka swobodnie operuje terminologią, która jest obecnie powszechnie stosowana w danym obszarze badawczym. Po kilkakrotnym przeczytaniu rozprawy mogę odpowiedzialnie stwierdzić, że spełnia ona wszelkie kryteria, które Ustawodawca nakłada na tego typu prace naukowe. Moje uwagi nie wskazują na żadne wady rozprawy ani też na jej słabe strony – takich nie dostrzegłem. Uwagi te mają charakter dyskusyjny i wynikają wyłącznie z mojego subiektywnego spojrzenia na pewne kwestie.

3.1 Uwagi o charakterze dyskusyjnym:

- Tytuł rozdziału 1 jest chyba niepotrzebnie tak rozbudowany (z uwzględnieniem całej zawartości tego rozdziału). Oczywiście rozumiem dobre intencje Doktorantki, ale jest to przecież po prostu „przeгляд stanu wiedzy”.

- Podrozdział 1.4 jest moim zdaniem trochę pobieżny jak na typowy przegląd bibliograficzny.
- W podrozdziale 3.1 opisano między innymi pacjentów, którzy uczestniczyli w badaniach. W jaki sposób dokonano doboru pacjentów do badań? Jakie były liczebności powtórzeń w przypadku badań z udziałem pacjentów i z wykorzystaniem fantomów?
- Moim zdaniem podrozdział dotyczący wyników badań lepiej byłoby wyłączyć w formie osobnego rozdziału, czyli rozdział 3 mógłby dotyczyć wyłącznie metodyki i obiektów badań, a kolejny rozdział (np. oznaczony jako 4) byłby opisem wyników badań. Taki podział treści pracy wydaje się bardziej przejrzysty.
- Podczas analizy i oceny wyników pozyskanych z badań brakuje wykorzystania testów statystycznych do oceny istotności różnic między badanymi układami. Nie znalazłem tego w tekście rozprawy. Czy takie testy były wykonane? Co można byłoby zastosować w odniesieniu do uzyskanych rezultatów? Dotyczy to wszystkich opisanych wyników w podrozdziale 3.4.
- Na Rys. 33, str. 65 mamy dopasowanie krzywej relaksacji funkcją wykładniczą. Jak oceniono stopień dopasowania? brakuje wzoru funkcji. Poza tym moim zdaniem ten wykres ma trochę za małe wymiary. Na większym byłoby lepiej widać szczegóły.
- Na Rys. 43, str. 76 Doktorantka przedstawiła zestawienie wyników z pomiarów aparatem węgelnikowym dla wybranej kończyny pacjentów w okolicy kostki, pośrodku łydki i pod kolanem. Czy te wykresy dotyczą pojedynczego losowo wybranego pacjenta czy są to wartości uśrednione dla danej próby losowej pacjentów? Nie mogę tego „wyłować” z tekstu rozprawy.
- Dalej w odniesieniu do rysunku wspomnianego w punkcie wyżej (Rys. 43, str. 76). Jedna z prezentowanych krzywych ilustruje przebieg siły nacisku

w funkcji czasu przed masażem, a druga krzywa po masażu. Opis tych wyników w tekście pracy ma raczej charakter jakościowy. Czy można byłoby ilościowo ocenić (jakąś miarą dywergencji) zróżnicowanie tych dwóch przebiegów?

- Rozdział 4 str. 80, cyt. „W rozdziale zostały zawarte wyniki symulacji numerycznych przeprowadzonych w oparciu o dane zaczerpnięte z literatury.” brakuje wskazania z jakich pozycji Pani korzystała.
- Na początku rozdziału 5 Doktorantka napisała (cytuję): „Stwierdzona wcześniej zgodność jakościowa lub ilościowa wyników...” – trochę mi brakuje w pracy oceny „zgodności ilościowej” za pomocą odpowiednich testów.

3.2 Uwagi o charakterze redakcyjnym:

- Czytanie pewnych partii tekstu ze zrozumieniem może utrudniać brak odsyłaczy do niektórych zamieszczonych rysunków (Rys. 2, Rys. 15, Rys. 29).
- Wykresy (począwszy od Rys. 30), a także rysunki 74 i 76 powinny być zdecydowanie większe, aby można było lepiej dostrzec szczegóły (różnice między krzywymi). Te rysunki to przecież wynik ciężkiej pracy Doktorantki i należy się nimi chwalić, czyli pokazać to tak, aby czytelnik mógł na nich zobaczyć jak najwięcej istotnych szczegółów.
- Brakuje Rys. 78; str. 121, 124 – to chyba pomyłka. Zamiast Rys. 78 powinno być chyba odniesienie do Rys. 77.
- Zapis *in vitro*, *in vivo*, *ex vivo* powinien być formatowany pochyłym krojem pisma. Do str. 17 w pracy było dobrze, później już występuje krój prosty.
- Podpisy pod rysunkami i opisy w tekście (np. Rys. 1, Rys. 2) nie zawsze uwzględniają elementy zaznaczone na danym rysunku.
- Tytuł tabeli: „Tabela 1. Przykładowe moduły Younga...”, powinno być: „Tabela 1 Przykładowe wartości modułu Younga...”. Podobnie jest w Tabeli 2.

- Czasami pojawiają się w tekście (chodzi o listy punktowane) zbędne odsyłacze do pozycji bibliograficznych po każdym punktorze (np. str. 27). Wystarczy to zrobić na początku listy punktowanej lub na końcu.
- Z uwagi na multidyscyplinarny charakter pracy (inżynieria mechaniczna, biomechanika, inżynieria biomedyczna...) sądzę, że pewnym ułatwieniem dla czytelnika mógłby być spis oznaczeń dla wielkości występujących w pracy, a także spis rysunków i tabel.

Opisane powyżej uwagi mają w dużej części charakter dyskusyjny bądź techniczny i nie wpływają istotnie na wartość merytoryczną niniejszej rozprawy naukowej.

4. Ocena końcowa

Recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Joanny Nowak jest oryginalnym opracowaniem o pokaźnych walorach naukowych, poznawczych i aplikacyjnych. Spełnia ona wymogi stawiane rozprawom doktorskim, czego wyrazem jest:

- osiągnięcie celów pracy zgodnie z regułami poznania naukowego;
- zaproponowanie oryginalnych procedur eksperymentalnych i symulacji komputerowych;
- zastosowanie trafnie dobranych metod i narzędzi;
- wskazanie możliwości aplikacyjnych zbudowanych modeli.

Na pozytywną ocenę zasługuje wytrwałość w realizacji badań oraz wysoki poziom warsztatu informatyczno-empirycznego, którym posługuje się Autorka ocenianej rozprawy. Potwierdza to Jej duże umiejętności w zakresie realizacji badań naukowych co skutkuje uzyskaniem wielu cennych odpowiedzi na postawione, na początku problemy badawcze (Rozdział 6, str. 125-126). Warto podkreślić, że oryginalnymi wynikami pracy są:

- opracowanie modeli numerycznych dla trzech metod badań (fałdomierza, aparatu wglębnikowego oraz systemu dwukomorowego), z wykorzystaniem

dwufazowego modelu tkanki podskórnej z obrzękiem, w zakresie małych i skończonych deformacji;

- opracowanie metodologii pomiarowej dla dwóch z trzech metod badań (fałdomierza wraz z uchwytem do formowania fałdu oraz aparatu wgłębnikowego z funkcją montażu w uchwycie mobilnym);
- realizacja badań eksperymentalnych z udziałem pacjentów w warunkach ambulatoryjnych oraz z wykorzystaniem fantomów z pianki poliuretanowej w testach laboratoryjnych.

Mając na uwadze powyższe mogę jednoznacznie stwierdzić, że recenzowana rozprawa doktorska Pani mgr inż. Joanny Nowak pt. *Dwufazowe modelowanie i badania eksperymentalne tkanki ludzkiej z obrzękiem limfatycznym w zakresie diagnostyki właściwości hydromechanicznych* ma bez wątpienia walory poznawcze i twórcze. **Praca spełnia tym samym wymogi** obowiązującej Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku (z późn. zmianami) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki **niezbędne do ubiegania się o stopień doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie Inżynieria Mechaniczna. Wnoszę w związku z tym o dopuszczenie mgr inż. Joanny Nowak do publicznej dyskusji nad rozprawą doktorską.**

Recenzent wnioskuje o rozważenie przez Komisję ds. przeprowadzenia przewodu doktorskiego - o ile publiczna obrona dysertacji zostanie przeprowadzona na dobrym poziomie - przegłosowanie wniosku o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Joanny Nowak. Powodem tak sformułowanego wniosku jest aktualność wybranego tematu rozprawy, zakres przeprowadzonej analizy teoretyczno-empirycznej, wysoki dorobek publikacyjno-badawczo-rozwojowy jak również możliwość wykorzystania wyników pracy w praktyce medycznej.

