

dr hab. inż. Halina Szafrńska, prof. UTH Rad.  
Katedra Fizykochemii i Technologii Materiałów  
Wydział Inżynierii Chemicznej i Towaroznawstwa  
Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny  
im. Kazimierza Pułaskiego  
Radom

Radom, 12.09.2023

## **RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

**mgr szt. Anity Ilskiej**

**pt. „Modelowanie i projektowanie wyrobów uciskowych wspomagających proces leczenia zewnętrznego”**

**Promotor pracy: prof. dr hab. inż. Krzysztof Kowalski, Politechnika Łódzka**

### **Podstawa prawna recenzji:**

Recenzję opracowano na podstawie pisma Pani prof. dr hab. inż. Barbary Błażejczyk – Okolewskiej Przewodniczącej Rady ds. Stopni Naukowych Politechniki Łódzkiej w dyscyplinach Inżynieria Mechaniczna, Inżynieria Materiałowa z dnia 11 lipca 2023 roku.

### **1. Wstęp.**

Ocena rozprawy doktorskiej została dokonana z wykorzystaniem czterech głównych kryteriów.

- Prawdliwość zdefiniowania problemu naukowego i jego aktualność, powiązana z aspektem jego oryginalności.
- Poprawność celów i hipotez badawczych powiązana z poziomem ich weryfikacji.
- Poprawność i spójność rozprawy doktorskiej, prezentacji wyników badań oraz wnioskowania.
- Umiejętność samodzielnej pracy naukowej z uwzględnieniem warsztatu naukowego Doktoranta.



## 2. Prawidłowość zdefiniowania problemu naukowego i jego aktualność, powiązana z aspektem jego oryginalności

Rozprawa doktorska mgr szt. Anity Ilskiej obejmuje opracowanie komputerowo wspomaganą metodę projektowania konfekcjonowanych i bezszwowych wyrobów uciskowych dla terapii zewnętrznej schorzeń flebologicznych i patologii blizn pooperacyjnych, pourazowych i pooperacyjnych.

W tym celu Doktorantka określiła wrażliwość nacisku jednostkowego tych wyrobów na następujące czynniki:

- tolerancję wymiarowania sylwetki użytkownika,
- tolerancję wykonania samego wyrobu,
- korelację sztywności rozciągania dzianiny uciskowej i klasy nacisku na ciało,
- wpływ szwu,
- geometrię obwodu w miejscu zastosowania wyrobu,
- podatności ciała na ucisk.

Przeprowadzone w pracy analizy wykazały, że nacisk jednostkowy jest wrażliwy w znacznym stopniu na powyższe czynniki.

Doktorantka omówiła ponadto różne aspekty manualnego wymiarowania sylwetki pacjenta, zastępując go techniką trójwymiarowego skanowania. Pozwoliło to na wysunięcie logicznego wniosku, że zastosowanie wstępnego ubioru uciskowego (tożsamego z wstępnym odkształceniem sylwetki) obniża wpływ podatności tkanek miękkich na wartość nacisku jednostkowego wyrobu.

Kolejnym krokiem było określenie charakterystyki mechanicznej dzianin stosowanych na wyroby uciskowe w postaci uogólnionej zależności siły od wydłużenia względnego materiału, odniesionych do wydłużenia w zakresie użytecznym. Uzyskane w ten sposób korelacje połączone z danymi ze skanowania sylwetki i związkami konstytutywnymi dla materiału pozwoliły na opracowanie metody projektowania wyrobów uciskowych z wykorzystaniem prawa Laplace'a

Podsumowaniem wszystkich rozważań, zarówno teoretycznych, jak też i badań eksperymentalnych, jest określenie i przedstawienie w postaci algorytmicznej udoskonalonej metody projektowania spersonalizowanych, konfekcjonowanych i bezszwowych wyrobów uciskowych w stanie swobodnym, czyli przygotowanym bezpośrednio do produkcji. Przedstawiona metoda jest stosunkowo złożona, silnie związana z konkretnym wyrobem uciskowym, ponadto uwzględnia zmiany nacisków jednostkowych.

Doktorantka wyraźnie wyodrębniła powyższy zakres badań. Określenie wrażliwości nacisku jednostkowego wyrobów z wykorzystaniem prawa Laplace'a wymagało wielostronnej analizy problemu, powiązanej zarówno z określaniem wymiarów (wymiarowanie sylwetki, określenie geometrii obwodu danej części ciała, zmiana wymiarów pod wpływem ucisku), jak i zastosowanymi materiałami (tolerancja wykonania wyrobu, obecność szwów, określenie związku w postaci funkcji siły i wydłużenia względnego dzianiny). Uzyskany w ten sposób model uwzględnia wiele czynników rzeczywistych, znacznie więcej niż inne wykazane w literaturze

przedmiotu. Pozwala to na bardzo pozytywną ocenę przeprowadzonego modelowania problemu i przedstawienie modelu na wysokim poziomie odzwierciedlenia rzeczywistości.

Doktorantka sformułowała bardzo oryginalny problem badawczy. Zwraca uwagę wyjątkowo bogata i interdyscyplinarna literatura naukowa, obejmująca aż 232 pozycje. Jej przegląd i analiza występuje w kilku miejscach dysertacji.

Pozwala to stwierdzić, że zarówno model wyrobu, jak i metoda projektowania spersonalizowanych, konfekcjonowanych i bezszwowych wyrobów uciskowych w stanie swobodnym są dużym osiągnięciem własnym Autorki, które zostało poparte wszechstronną i interdyscyplinarną analizą aktualnego stanu wiedzy. Szczególnie zwracają uwagę algorytmiczne sformułowania metody projektowania, świadczące o głębokiej analizie problemu zarówno pod kątem merytorycznym, jak i formalnego sformułowania algorytmu.

Opracowana metodyka pozwala na uzyskanie oryginalnego, spersonalizowanego wyrobu o możliwie optymalnych własnościach użytkowych.

### **3. Poprawność celów i hipotez badawczych powiązana z poziomem ich weryfikacji**

Teza zasadnicza prezentowanej pracy doktorskiej głosi, że wykorzystywane dotąd metody projektowania i modelowania wyrobów uciskowych, ze względu na brak kompleksowego uwzględnienia uwarunkowań zmian wartości nacisku jednostkowego, nie zapewniają jego zamierzonej wartości dla tych wyrobów. Dlatego cel główny i jednocześnie aplikacyjny pracy Doktorantka definiuje jako zaproponowanie takiej metody modelowania i projektowania wyrobów uciskowych, która uwzględni wcześniej zidentyfikowane uwarunkowania zmian wartości nacisku jednostkowego.

Zmiany nacisku mogą być spowodowane przez szereg czynników, których określenie pokrywa się jednocześnie z celami szczegółowymi pracy. Uszczegóławiając problem, Autorka skupiła się na trzech grupach zagadnień.

W ramach analizy przygotowawczej materiału, reologia dzianiny poddanej rozciąganiu była aproksymowana za pomocą prostego, ale efektywnego modelu Zenera. W dalszej kolejności Autorka analizowała przydatność i dokonała wyboru dzianin adekwatnych do klasy ucisku.

W klasie problemów geometrycznych Doktorantka rozważyła sposoby i dokładność wymiarowania sylwetki ludzkiej oraz analizowała geometrię części ciała poddanych naciskowi. Problemem pokrewnym była zmiana geometrii wywołana podatnością tkanek miękkich na ucisk, w tym zastosowanie wstępnego nacisku podczas trójwymiarowego wymiarowania użytkownika.

Analizy wykonawcze dotyczyły różnorodnej budowy wyrobu dzianego, głównie obecności szwów (tj. wyrobu bezszwowego i z zastosowaniem szwów), dokładności jego wykonania oraz użytkowania wyrobów uciskowych w sposób warstwowy.

Zaproponowany proces projektowania jest więc wieloaspektowy i multidyscyplinarny. Został zaproponowany jako ciąg kolejnych, celowo i systematycznie rozwiązywanych kroków szczegółowych. Doktorantka stawia sobie kolejne cele, kompleksowo je analizuje, rozwiązuje, po czym przechodzi do następnego celu cząstkowego. Jest to zatem samodzielne stawianie kolejnych hipotez badawczych, ich weryfikacja i walidacja za pomocą badań laboratoryjnych. Autorka wielokrotnie formułuje szereg wniosków cząstkowych w poszczególnych etapach pracy.

Zaproponowane metody badawcze są innowacyjne, wpisują się w nowoczesne trendy, nie mające odpowiedników w dostępnej literaturze naukowej. Całość problematyki optymalnego projektowania wyrobów uciskowych jest bardzo szeroka, wymagająca szczegółowej analizy, planowania analitycznego i wykonania badań, finalnie sformułowania wniosków niezbędnych do osiągnięcia celu globalnego i implementacji algorytmu projektowania wyrobu.

Struktura pracy jest trudna w odbiorze przez czytelnika, jednak wymuszona przyjętą strategią rozwiązania problemu metodą kolejnych kroków. Jest zatem logiczna z punktu widzenia optymalizacji procesu projektowania, mimo trudności pozwala na całościowe śledzenie i ocenę toku myślenia Doktorantki.

Na wyróżnienie zasługuje również interdyscyplinarność pracy, obejmującej problemy inżynierii materiałowej (w zakresie włókiennictwa), medycyny, inżynierii mechanicznej (reologia), informatyki (algorytmika i rozwiązywanie równań różniczkowych).

Dodatkowym potwierdzeniem prawidłowości celów, hipotez badawczych oraz ich weryfikacji jest fakt, iż beneficjentem rozwiązań problemu projektowania wyrobów uciskowych jest firma Tricomed SA, która była partnerem projektu, w ramach którego praca doktorska była jednym z jego rezultatów.

#### **4. Poprawność i spójność rozprawy doktorskiej, prezentacji wyników badań oraz wnioskowania**

Rozprawa ma układ tradycyjny i składa się z omówienia obszaru analizy, ustalenia przedmiotu, programu i metodyki badań, analizy wrażliwości nacisku jednostkowego na różne czynniki, badań sprawdzających, opisu procedury projektowania wybranych wyrobów uciskowych oraz wniosków. Rozprawa dotyczy bardzo szerokiego zakresu analiz i badań. Dlatego jej objętość jest bardzo znaczna, liczy aż 178 stron z załącznikami. Sumarycznie zawiera 8 rozdziałów o rozbudowanej strukturze, zawiera aż 113 rysunków, 13 tabel i aż 232 pozycje literatury. Autorka umieściła ponadto tekst wokół rysunków, co jest dość rzadko spotykane w dysertacjach i utrudnia odbiór pracy. Spis oznaczeń ułatwia zbiorczą ocenę wszystkich elementów rozprawy. Dodatkowy rozdział *Informacje o rozprawie doktorskiej* dokładnie określa granty i staże, jakie były wykorzystywane przy wykonywaniu pracy. Z wyszczególnionych 7 artykułów zawierających elementy pracy, wszystkie zostały wydane w czasopiśmie *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. Udział Doktorantki wynosi przeważnie od 20% do 55%, tylko w jednym przypadku jest to 9%. Ponadto dorobek zawiera referaty na 7 konferencjach, w tym angielskich i międzynarodowych.

Zrozumiałe jest, że przy tak dużej ilości materiału i systemie jego zapisu trudne jest zachowanie jednolitej zwięzłości narracji. Dlatego sądzę, że pożyteczna byłaby nieco większa selekcja i ograniczenie objętości pracy. Opisy algorytmiczne problemu pojawiają się dopiero w przedostatnim punkcie. Stąd lektura wcześniejszych części pracy napotyka na pewne trudności bez odniesienia do końcowych części całości. Prawdopodobnie z powodu dużej ilości materiału dysertacja zawiera kilka niejasnych problemów.

Autorka takim samym symbolem FR% w tabelach 2.3.5 i 2.3.6 określiła współczynnik redukcji ciśnienia wzdłuż osłanianych części ciała oraz w rozdziale 2.4 przy omawianiu projektowania wyrobów uciskowych metodą współczynnika redukcji, która polega na pomniejszaniu obwodów dzianiny w stanie swobodnym w relacji do obwodów ciała pacjenta. Współczynniki te odnoszą się przecież do różnych wielkości fizycznych.

Autorka stosuje w kilku miejscach różne jednostki nacisku: Pascale (jednostka normatywna) i mm Hg (prawdopodobnie wynikająca z aplikacji medycznych wyrobów uciskowych). Brak jest wytłumaczenia tego faktu i korelacji jednostek.

Model reologiczny Zenera jest dość prosty, ale jednocześnie efektywny i możliwy do stosunkowo prostego rozwiązania analitycznego. Jednak Doktorantka wprowadza go bez uprzedniej, choćby szkicowej dyskusji. Podobnie technika jego rozwiązania nie została nawet pobieżnie omówiona.

Wartość siły obwodowej według zależności Laplace'a została przyjęta z pętli histerezy w 6 cyklu rozciągania, co nie zostało skomentowane.

Niezależnie od powyższych uwag, Doktorantka sukcesywnie realizowała postawione główny i szczegółowe cele pracy, przedstawiając je w postaci komplementarnej procedury projektowania. Poszukiwane było rozwiązanie optymalne (możliwie jednorodny i stały w czasie nacisk wyrobu w określonym miejscu ciała) w klasie rozwiązań dopuszczalnych, co posiada wszystkie cechy praktycznej optymalizacji problemu nacisku jednostkowego wyrobów uciskowych.

## **5. Umiejętność samodzielnej pracy naukowej z uwzględnieniem warsztatu naukowego Doktoranta.**

Dokładna analiza rozprawy doktorskiej mgr szt. Anity Ilskiej pokazuje, że podjęła się Ona ambitnego zadania analizy, opracowania modelu i stworzenia nowego algorytmu projektowania wyrobów uciskowych wspomagających proces leczenia zewnętrznego. Praca naukowa jest typowym działaniem teoretyczno-doświadczalnym, polegającym na formułowaniu hipotez teoretycznych, sprawdzanych następnie doświadczalnie. Tym bardziej trzeba podkreślić samodzielność, dojrzałość i przygotowanie analiz teoretycznych i badań doświadczalnych, skrupulatność w ich przeprowadzaniu oraz konsekwencję w dążeniu do wytyczonego celu.

Doktorantka wykonała ogromną pracę naukową, ponieważ każdy wyrób uciskowy ma własną specyfikę. Zbiorcze i syntetyczne przedstawienie takich analiz jest trudne, wymaga wielu skrótów myślowych i selekcji materiału. Mimo nieznaczących uchybień Autorka wykazała się dużą dojrzałością w tych pracach, formułując przemyślane i



wieloaspektowe wnioski. Podkreślić należy ich praktyczną aplikację przy wykonaniu określonego asortymentu wyrobów uciskowych w zakładzie produkcyjnym.

Tak więc strona warsztatowa pracy jest jak najbardziej poprawna, dojrzała i wskazuje na duży potencjał naukowy Doktorantki.

## 6. Wniosek końcowy

Niezależnie od przedstawionych wyżej uwag, pracę doktorską mgr szt. Anity Ilskiej oceniam pozytywnie. Bazując na analizie stanu wiedzy i dostępnej literaturze przedmiotu Doktorantka doszła do wniosku, że dotychczasowe metody projektowania nie zapewniają wykonania wyrobów uciskowych o zdefiniowanych własnościach użytkowych. W efekcie dokonanych analiz i prac doświadczalnych stworzyła autorską metodę projektowania, która pozwala na optymalizację własności takich wyrobów i znaczne podwyższenie ich trwałości użytkowej. Mimo szeregu analiz teoretycznych praca ma charakter wybitnie aplikacyjny.

Na podkreślenie zasługuje również interdyscyplinarny charakter przedstawionych rozważań. Doktorantka wykazała się biegłością w rozwiązywaniu problemów z zakresu inżynierii materiałowej (problemów technologii włókienniczej), medycyny (tkanki ciała ludzkiego), inżynierii mechanicznej (problemy reologiczne i formułowanie opisu odkształcenia ciała obciążonego dynamicznie), czy informatyki (algorytmika i rozwiązywanie równań różniczkowych).

Wszystko to pozwala stwierdzić, że recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska *Modelowanie i projektowanie wyrobów uciskowych wspomagających proces leczenia zewnętrznego* spełnia wymagania dla prac doktorskich zawarte w art. 13. ust.1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (tj. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789 z późn. zmianami) . W związku z tym wnioskuję o dopuszczenie mgr szt. Anity Ilskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego i publicznej obrony.



dr hab. inż. Halina Szafrńska, prof. UTH Rad.