

Łódź dnia 27 września 2023r.

**Dr hab. inż. Maciej Boguń**

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Łódzki Instytut Technologiczny

Centrum Włókiennictwa

## **RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

**mgr inż. Karoliny Turlakiewicz**

*nt. „Opracowanie nieresorbowalnych, syntetycznych implantów siatkowych wykorzystywanych w operacyjnych metodach leczenia nietrzymania moczu u kobiet oraz przyczynowego lub zapobiegawczego występowania przepuklin okołostomijnych”*

Promotor pracy: **dr hab. Michał Puchalski, prof. Uczelni**

Promotor pomocniczy: **dr hab. inż. Witold Sujka**

Recenzja rozprawy doktorskiej została wykonana na podstawie uchwały nr 62/7/IJK/2023 z dnia 10 lipca 2023 Rady ds. Stopni Naukowych Politechniki Łódzkiej w dyscyplinach inżynieria mechaniczna, inżynieria materiałowa oraz pisma Przewodniczącej Rady Pani Prof. Barbary Błażejczyk-Okolewskiej z dnia 11 lipca 2023 roku.

*Zgodnie z art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2018 poz. 1668 z późn. zm.) rozprawa doktorska została oceniona w aspekcie: oryginalności rozwiązania problemu naukowego, posiadania ogólnej wiedzy teoretycznej w dyscyplinie inżynierii materiałowej i umiejętności prowadzenia samodzielnej pracy naukowej przez Doktorantkę.*

*Rozprawa doktorska realizowana była w ramach Programu „Doktorat Wdrożeniowy” Ministerstwa Edukacji i Nauki*

### **1. Problem badawczy będący przedmiotem rozprawy doktorskiej i jego znaczenie dla rozwoju nauki oraz gospodarki**

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Karoliny Turlakiewicz związana jest z badaniami dotyczącymi okołostomijnych siatek przepuklinowych i taśm stosowanych w metodach operacyjnych nietrzymania moczu u kobiet. Opracowanie tego typu biomateriałów wymaga posiadania wiedzy w szerokim zakresie inżynierii materiałowej, jak także wiedzy teoretycznej z zakresu medycyny oraz inżynierii biomedycznej. Istotne jest bowiem uwzględnianie różnych czynników nie tylko ze sfery materiałowej, ale także poręczności materiału implantacyjnego umożliwiającego łatwą aplikację w okolice uszkodzonych tkanek. W chwili obecnej wiele zespołów naukowych i przedsiębiorstw opracowuje rozwiązania z tego zakresu, które w sposób wydatni mają ułatwić funkcjonowanie pacjentom, jak także zmniejszyć koszty zarówno zabiegów operacyjnych i czasu rekonwalescencji. Ważnym aspektem społecznym, jest także problem nietrzymania moczu, czego wynikiem jest bardzo duży dyskomfort pacjentów doświadczonych tym schorzeniem. Doktorantka na bazie studium literaturowego wykazała konieczność prowadzenia prac w zakresie nowych materiałów wychodzących naprzeciwko potrzebom rynkowym. Zawarte w części teoretycznej pracy informacje na temat rozwoju implantów siatkowych pokazują światowe trendy w tym zakresie. Istotne w tym przypadku jest

wypracowanie odpowiedniego materiału implantacyjnego, który będzie z jednej strony dobrze „integrował” się z naturalnymi tkankami, a z drugiej strony będzie utrzymywał stabilność parametrów fizyko-chemicznych w długim okresie czasu, tak aby ograniczyć konieczność ponownej operacji. W chwili obecnej na rynku jest wiele rozwiązań związanych z zaopatrywaniem przepuklin, dostosowanych zarówno do metodyki aplikacji, jak również ograniczenia działań niepożądanych. Jednocześnie coraz to większe znaczenie w leczeniu nietrzymania moczu odgrywają taśmy urologiczne. Należy zwrócić uwagę, iż podjęta współpraca pomiędzy Tricomed S.A. (producent m.in. siatek przepuklinowych) oraz Instytutem Materiałoznawstwa Tekstyliów i Kompozytów Polimerowych Politechniki Łódzkiej w ramach programu „Doktorat wdrożeniowy” umożliwiła Pani mgr inż. Karolinie Turlakiewicz realizację pracy niezmiernie istotnej z punktu widzenia rozwoju tego typu materiałów. Wpłynąć to może niewątpliwie na powstanie nowych rozwiązań z zakresu zaopatrywania przepuklin okołostomijnych i problemów urologiczno-ginekologicznych, jak także rozwoju dyscypliny naukowej inżynieria materiałowa. Reasumując, moim zdaniem zdefiniowany przez Doktorantkę problem badawczy, którego podjęła się rozwiązać jest oryginalny i wywiera wpływ na rozwój nauki oraz gospodarki.

## **2. Poprawność zdefiniowania celu i hipotez badawczych oraz ocena ich weryfikacji**

Pani mgr inż. Karolina Turlakiewicz, jako cel główny swojej rozprawy doktorskiej wyznaczyła opracowanie nieresorbowalnych, syntetycznych implantów siatkowych wykorzystywanych w operacyjnych metodach leczenia nietrzymania moczu u kobiet oraz przyczynowego lub zapobiegawczego występowania przepuklin okołostomijnych. Jako materiał wyjściowy zdecydowała się wykorzystać polipropylen, który jest bardzo popularny w tego typu zastosowaniach. Natomiast zastosowanie do modyfikacji powierzchni materiału implantacyjnego ditlenku tytanu naniesionego techniką ALD (z ang. *Atomic Layer Deposition*) skutkować będzie zwiększeniem funkcjonalności biomateriału. Dokonując studium literaturowego Doktorantka zdefiniowała dwie tezy badawcze. Teza I polegała na tym, iż wytworzenie odznaczających się stabilnością (kształtu i właściwości) wyrobów dzianinowych w formie siatki lub taśmy chirurgicznej wymaga zastosowania odpowiednio dobranego procesu stabilizacji termicznej. Natomiast II teza zakładała, iż w wyniku modyfikacji polipropylenowego biomateriału metodą ALD istnieje możliwość uzyskania hydrofilowych i biogodnych warstw  $TiO_2$  nie powodując jednocześnie zmian w strukturze nadcząsteczkowej podłoża. Cel główny oraz tezy badawcze zostały zdefiniowane prawidłowo i korelują one bezpośrednio z tematem dysertacji. Osiągnięcie celu głównego i udowodnienie postawionych tez badawczych wymagało od Doktorantki zdefiniowania celów szczegółowych na poszczególnych etapach części eksperymentalnej pracy. Cele te związane były przede wszystkim z odpowiednim opracowaniem warunków procesu stabilizacji dzianiny do wytwarzania dwóch rodzajów materiałów implantacyjnych oraz wyznaczeniem optymalnych warunków modyfikacji wyrobów polipropylenowych z wykorzystaniem techniki ALD. Jednocześnie istotna była także analiza właściwości uzyskiwanych materiałów implantacyjnych w szerokim spectrum metod badawczych. Doktorantka w wyniku realizacji badań objętych pracą osiągnęła zamierzony cel główny i zweryfikowała postawione w pracy tezy badawcze. Zastrzeżenie moje budzi jednakże użyta metodyka badawcza na bazie której Pani mgr inż. Karolina Turlakiewicz zweryfikowała tezę związaną z osadzoną na tworzywie włókien hydrofilową warstwą  $TiO_2$ . Niemniej jednak pod względem postawionego celu głównego i tez badawczych oceniam pracę pozytywnie. Doktorantka wykazała się bowiem umiejętnościami właściwego wyznaczenia celów i prowadzenia badań będących podstawą ich osiągnięcia.

### 3. Ocena struktury i zakresu rozprawy doktorskiej oraz prezentacji wyników badań

Struktura przedstawionej do recenzji dysertacji jest typowa dla rozpraw doktorskich w dziedzinie nauk inżynierskich i technicznych. Całość pracy liczy 173 strony i została podzielona na dziewięć rozdziałów. Przy czym zasadniczą część pracy stanowi pięć rozdziałów obejmujących: część teoretyczną, cel i tezy pracy, część doświadczalną, wnioski oraz spis literatury. Ponadto w pracy zamieszczono streszczenie (język polski i angielski), dorobek naukowy Pani mgr inż. Karoliny Turlakiewicz oraz spis tabel, rysunków i stosowanych skrótów.

Część teoretyczną rozprawy doktorskiej Doktorantka rozpoczyna od przedstawienia informacji na temat implantów siatkowych w chirurgii. W *rozdziale 1.1 Implanty siatkowe w chirurgii* przedstawiony jest ogólny podział tego typu materiałów implantacyjnych oraz opisany jest krótki rys historyczny wykorzystania tego typu materiałów w chirurgii. W kolejnych podrozdziałach tej części pracy Pani mgr inż. Karolina Turlakiewicz opisuje rolę implantów w leczeniu przepuklin okołostomijnych oraz w leczeniu wysiłkowego nietrzymania moczu u kobiet. Zawarte w tych rozdziałach pracy informacje przybliżają czytelnikowi m.in. czym jest przepuklina okołostomijna oraz na czym polega proces jej leczenia. Dość niefortunnie Doktorantka w tej części wyszczególnia *podrozdział 1.1.1.4 Implanty siatkowe*. Biorąc pod uwagę tytuł głównego rozdziału stwarza to wrażenie pewnego rodzaju powtórki. Niemniej jednak w podrozdziale tym dokonano przeglądu dostępnych na rynku rozwiązań, jak także wskazano podział implantów siatkowych na różne generacje. Na uwagę zasługuje szczegółowo dokonana analiza dostępnych na rynku rozwiązań i producentów siatek, co ukierunkowuje zakres prac badawczych. *Podrozdział 1.1.2* dotyczy drugiego rodzaju schorzenia, na które Doktorantka zwróciła uwagę i podjęła się opracowania materiału wspierającego proces jego leczenia. Podobnie jak w poprzednim przypadku przedstawione zostały informacje związane ze schorzeniem, procesem leczenia oraz dostępnymi na rynku materiałami. Kolejny rozdział pracy dotyczy informacji podstawowych na temat polipropylenu związanych z budową chemiczną, krystaliczną oraz jego degradacją termiczną. Biorąc pod uwagę, iż polimer ten jest szeroko opisany w literaturze i stosowany w przemyśle, to taką formę przedstawienia informacji na temat polipropylenu należy uznać za właściwą. W części teoretycznej znajduje się także *rozdział 1.3* dotyczący  $\text{TiO}_2$ , który wykorzystany był do modyfikacji polipropylenowych siatek i taśm dzianych. Doktorantka w tym rozdziale przedstawiła informacje na temat struktury krystalicznej, biogodności, czy zastosowania tego związku chemicznego w medycynie. Ostatni rozdział części teoretycznej stanowi opracowanie związane z techniką osadzania cienkich warstw atomowych na powierzchniach materiałów techniką ALD, czyli jedną z metod chemicznego uzyskiwania cienkich warstw (z ang. *Chemical Vapour Deposition*). W sposób przejrzysty zostały zawarte w tym przypadku informacje na temat samego procesu, jak i jego zalet oraz wad. Przedstawione zostały także informacje o użytym reaktorze. Doktorantka wskazała również informacje na temat badań naukowych wykorzystujących tą metodę funkcjonalizacji materiałów ditlenkiem tytanu w zastosowaniach biomedycznych.

Część eksperymentalna dysertacji poprzedzona została rozdziałem związanym z celem i tezami pracy oraz stosowaną metodyką badawczą. We wcześniejszym fragmencie niniejszej recenzji odniesiono się do zdefiniowanego celu. W przypadku metodyki badawczej Doktorantka wymieniła metody badawcze i przedstawiła podstawy teoretyczne tych badań. Zdaniem recenzenta lepszym rozwiązaniem w przypadku tak opisywanej metodyki badawczej było uwzględnienie w części teoretycznej rozprawy doktorskiej rozdziału poświęconego metodom badawczym stosowanym w inżynierii materiałowej do oceny budowy chemicznej, struktury i właściwości materiałów włókienniczych.

Doktorantka podobnie jak w części teoretycznej rozgraniczyła program badawczy na dwa zagadnienia, z jednej strony dotyczące siatki do zaopatrywania przepukliny okołostomijnej,

a z drugiej strony taśm urologicznych. Niemniej jednak w obu przypadkach istotnym procesem była różnie prowadzona stabilizacja termiczna. W *rozdziale 4.1* Autorka przedstawia materiał wyjściowy oraz prototypową ramę służącą do procesu stabilizacji przy zmiennych parametrach temperatury tego procesu dla okołostomijnych siatek przepuklinowych. Na podstawie określenia wpływu temperatury stabilizacji na zmiany zachodzące w strukturze nadcząsteczkowej polimeru oraz właściwości mechaniczne i termiczne typuje optymalne warunki procesu stabilizacji termicznej. Dla taśm urologicznych zastosowano warunki mocowania zupełnie inne, biorąc pod uwagę kształt biomateriału. Jednocześnie zastosowano zmniejszoną do poziomu 160°C wartość temperatury procesu. Przeprowadzone serie badawcze wykazały podobne zachowanie implantu jak to miało miejsce w przypadku siatek przepuklinowych. Niemniej jednak optymalną wartością temperatury dla stabilizacji taśm okazała się temperatura 140°C. Uwidocznili się w ten sposób wpływ warunków wstępnych procesu stabilizacji na właściwości uzyskiwanych materiałów. Kolejny etap prac realizowanych w pracy doktorskiej dotyczył funkcjonalizacji powierzchni polipropylenu ditlenkiem tytanu. Badania te zostały przedstawione w *rozdziale 4.2*. Pani mgr inż. Karolina Turlakiewicz założyła określony zakres prowadzenia procesu biorąc pod uwagę wyniki odnośnie parametrów procesu stabilizacji termicznej biomateriału. Dla różnych temperatur procesowych dokonano analizy mikroskopowej, właściwości termicznych i mechanicznych, a dla wytypowanych warunków dokonano analizy „wzrostu” warstw TiO<sub>2</sub> w zależności od ilości cyklu procesu. Na bazie tych doświadczeń Doktorantka wytypowała optymalne warunki prowadzenia procesu, dla których dokonała modyfikacji materiałów dzianych. Finalne materiały zostały ocenione przy użyciu badań mikroskopowych, właściwości sorpcyjnych i odpowiedzi biologicznej.

Końcowym elementem pracy są wnioski zawarte w *rozdziale 5*. Pani mgr inż. Karolina Turlakiewicz na podstawie przeprowadzonych serii badawczych i zastosowanej metodyki badawczej wysunęła pięć wniosków końcowych, które świadczą o osiągnięciu celu głównego i udowodnieniu postawionych tez badawczych.

Dodatkowym elementem pracy jest przedstawienie dorobku naukowego Doktorantki, na który składa się współautorstwo trzech publikacji z listy *Journal Citation Reports*, dwa zgłoszenia patentowe oraz dwie nagrody na międzynarodowych wystawach wynalazków.

Odnosząc się do struktury i zakresu rozprawy doktorskiej oraz prezentacji wyników badań należy stwierdzić, iż podział na zasadnicze części pracy został przygotowany prawidłowo. Niemniej jednak w pracy można znaleźć błędy redaktorskie, na które Doktorantka powinna zwrócić uwagę przy dalszym publikowaniu wyników pracy. Zdaniem recenzenta właściwsze jest także w przypadku oceny właściwości biologicznych stwierdzenie biozgodny, aniżeli „biokompatybilny”. W przypadku podawania przedziałów wartości liczbowych bardziej właściwy jest zapis od mniejszej wartości do większej (np. *strona 26*). W tekście występują także kolokwialne sformułowania np. „grubość włókna” oraz skróty myślowe. W przypadku badań dotyczących procesu stabilizacji dla taśm w tekście odnoszono się do temperatury 170°C, gdzie w rzeczywistości maksymalną stosowaną temperaturą było 160°C. Natomiast oceniając pracę pod względem prezentacji uzyskiwanych wyników w formie tabelarycznej i graficznej należy uznać, że została ona przygotowana w sposób właściwy. Opracowane zestawienia są czytelne i umożliwiają wyznaczanie określonych współzależności, a podsumowania poszczególnych rozdziałów wynikają bezpośrednio z przeprowadzonej analizy wyników badań.

Reasumując, poza wskazanymi powyżej uwagami krytycznymi przygotowana przez Panią mgr inż. Karolinę Turlakiewicz dysertacja posiada poprawny układ, a przedstawione wyniki dają możliwość właściwej interpretacji wyników. Opracowana rozprawa doktorska wykazała umiejętność Doktorantki do właściwego opracowania programu badań. Natomiast jego realizacja umożliwiła osiągnięcie celu głównego pracy oraz weryfikację założonych tez

badawczych. Świadczy to, iż Doktorantka posiada odpowiednią wiedzę teoretyczną niezbędną do prowadzenia pracy naukowej.

#### 4. Ocena merytoryczna i uwagi do pracy doktorskiej

Pani mgr inż. Karolina Turlakiewicz w dysertacji poza wskazanymi powyżej uwagami dotyczącymi przygotowania pracy nie ustrzegła się pewnych błędów natury merytorycznej i/lub niedopowiedzeń, które wymagają wyjaśnienia na dalszych etapach przewodu doktorskiego. Poniżej przedstawiona została lista uwag i spostrzeżeń do niniejszej pracy:

- ✓ *strona 84* w części dotyczącej charakterystyki materiału Autorka odwołuje się do „know-how” firmy związanej z parametrami procesu snucia i dziania. Niemniej jednak w tym przypadku należało podać rodzaj dzianiny, określić jej splot.
- ✓ na *stronie 87* i w dalszej części Doktorantka używa sformułowania „uzdatniona woda”, proszę o wyjaśnienie tego pojęcia;
- ✓ na tej samej stronie Autorka pisze „Parametry suszarki związane są z wentylacją oraz dostępem powietrza z zewnątrz wynosiły kolejno 60% i 40%”, proszę o wyjaśnienie tego sformułowania;
- ✓ na *rysunku 25, strona 93* zaobserwowano wzrost temp. topnienia polimeru o około 2°C, do którego odnosi się Doktorantka, czy ten poziom jest znaczący z punktu widzenia technologii wytwarzania materiałów i uzyskiwanych jego właściwości końcowych, jak także dokładności aparatury badawczej;
- ✓ na *stronie 95* Doktorantka odwołuje się do „wymaganej wytrzymałości mechanicznej”, natomiast na *stronie 94* Doktorantka podaje wyniki właściwości mechanicznych (siły zrywającej w kierunku poprzecznym i wzdłużnym) dla których wartości tego parametru przy wszystkich temperaturach procesu stabilizacji są wyższe w porównaniu do próbek niestabilizowanej. Proszę o podanie poziomu tego parametru oraz czy dla tego typu wyrobów nie powinno się wyznaczyć także innych parametrów wytrzymałościowych?
- ✓ na *stronie 99 rys. 29 i tabela 10* została przedstawiona charakterystyka taśmy urologicznej niestabilizowanej i stabilizowanych w różnych temp. Proszę o podanie wymiarów poprzecznych taśmy wyjściowej i wyjaśnienie danych dotyczących liczby kolumnienek na 1 cm;
- ✓ na *stronie 100* Doktorantka definiuje wielkość porów jako 0,8 mm. Czy w tym przypadku podana jest ich średnica?
- ✓ na *stronie 115* Doktorantka dokonuje interpretacji widm FTIR, proszę o wyjaśnienie sformułowania dotyczącego zmiany właściwości powierzchni PP z hydrofobowej na hydrofilową;
- ✓ *strona 134 i 135* na podstawie badań właściwości sorpcyjnych Doktorantka stwierdza zmianę charakteru powierzchni dla PP z hydrofobowego na hydrofilowy. Zdaniem recenzenta to badanie nie upoważnia do prezentowanego wniosku. W tym przypadku bardziej właściwe dla potwierdzenia tej zmiany byłoby wyznaczenie kąta zwilżania. Jednocześnie biorąc pod uwagę, że zarówno taśma, jak i siatka zostały wytworzone z tego samego tworzywa i poddane tej samej modyfikacji to z czego wynika uzyskana różnica w sorpcji wilgoci?
- ✓ *Strona 134* stwierdzona została obecność Cl<sup>-</sup> w materiałach finalnych, który może skutkować niekorzystnym działaniem materiału na komórki. Proszę o wskazanie dopuszczalnego poziomu jego obecności w wyrobach medycznych.

Wskazane powyżej uwagi i zastrzeżenia nie umniejszają wartości poznawczej niniejszej pracy. Po dokonaniu analizy treści merytorycznych przedstawionych w dysertacji Pani mgr inż. Karoliny Turlakiewicz uważam, iż sprecyzowała ona problem badawczy w sposób właściwy,

wykazała się umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz posiada niezbędną wiedzę teoretyczną z zakresu inżynierii materiałowej.

#### **5. Wniosek końcowy**

Rozprawa doktorska mgr inż. Karoliny Turlakiewicz stanowi oryginalną pracę naukową, realizowaną w ramach Programu MEiN „Doktorat wdrożeniowy”. Wyniki jej realizacji umożliwią podjęcie dalszych prac nad uzyskaniem gotowych wyrobów medycznych stosowanych jako okołostomijne siatki przepuklinowe oraz taśmy urologiczne. Przedstawione w recenzji uwagi krytyczne i spostrzeżenia nie umniejszają jej walorów poznawczych, a stanowią wskazówki dla dalszego rozwoju naukowego Doktorantki.

***Podsumowując stwierdzam, iż przedstawiona do oceny rozprawa doktorska spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z art. 187 ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U.2018 poz. 1668 z późn. zm.) i w związku z czym wnioskuję o dopuszczenie Pani mgr inż. Karoliny Turlakiewicz do dalszych etapów przewodu doktorskiego.***

