

Toruń, 20.09.2021 r.

Dr hab. n. techn. Rafał Malinowski
Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut
Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników
ul. M. Skłodowskiej-Curie 55
87-100 Toruń

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Bartłomieja Kryszaka pt.: „Zastosowanie promieniowania laserowego do modyfikacji warstwy wierzchniej materiałów na bazie poli(L-laktydu)”

Podstawą formalną przygotowania niniejszej recenzji jest zlecenie Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej, Pani prof. dr hab. inż. Grażyny Gryglewicz, przesłane mi pismem z dnia 12.07.2021 r. Po wstępnym zapoznaniu się z treścią rozprawy, stwierdziłem, że przedstawiona w niej tematyka jest zgodna z moimi zainteresowaniami naukowymi, przez co mogłem przystąpić do opracowania jej recenzji. Jednocześnie oświadczam, że nie prowadziłem i nie prowadzę z Doktorantem żadnych wspólnych badań naukowych oraz, że nie jesteśmy współautorami jakiegokolwiek publikacji naukowej.

1. Tematyka rozprawy

Polimery biodegradowalne już od wielu lat są przedmiotem badań licznych prac naukowych i rozwojowych. Jest to spowodowane wieloma czynnikami, a przede wszystkim ich unikalnymi właściwościami związanymi z podatnością na biodegradację w różnych warunkach środowiskowych, a także takimi właściwościami niektórych z nich jak biodegradacyjność lub bioresorbowalność. Polimery te mają dwa główne obszary zastosowań: (a) w masowej produkcji wyrobów codziennego użytku, a przede wszystkim opakowań różnych produktów oraz (b) specjalistyczne – głównie w medycynie i inżynierii tkankowej. Jednym z najważniejszych przedstawicieli polimerów biodegradowalnych, mających zastosowanie w obu wymienionych obszarach, jest polilaktyd (PLA). Pomimo cennych zalet tego polimeru i jego szerokiego zastosowania, wiele z jego właściwości wymaga modyfikacji. Dotyczy to m.in. właściwości jego warstwy wierzchniej (WW), która w postaci niezmodyfikowanej często

ogranicza zastosowanie PLA, a w tym w medycynie lub inżynierii tkankowej. Dlatego duże znaczenie praktyczne ma nowa wiedza dotycząca sposobów modyfikowania właściwości PLA, w tym jego WW, i technologii wytwarzania nowych materiałów polilaktydowych.

Przedmiotem recenzowanej rozprawy jest opracowanie nowych sposobów modyfikowania WW folii polilaktydowej oraz folii wytworzonej z kompozytu polilaktydowego zawierającego 10% mas. hydroksyapatytu (HAp). Do modyfikowania tej warstwy zastosowano promieniowanie laserowe generowane z trzech różnych typów laserów (lasera molekularnego CO₂, lasera ekscymerowego i światłowodowego lasera femtosekundowego). Przedstawione w rozprawie sposoby modyfikowania właściwości WW materiałów polilaktydowych mają istotne znaczenie w inżynierii chemicznej, materiałowej i biomedycznej. Biorąc pod uwagę zakres badawczy rozprawy, należy zaznaczyć, że ma ona również charakter interdyscyplinarny, dzięki czemu dyskutowane zagadnienia stanowią istotny wkład zarówno do nauk inżynieryjno-technicznych jak również do nauk ścisłych i przyrodniczych.

Zgodnie z obowiązującym rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 roku w *sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych* (Dz.U. 2018 poz. 1818), recenzowana rozprawa kwalifikuje się do **dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych** i wchodzącej w jej skład dyscypliny naukowej **inżynieria chemiczna**, a także częściowo do dyscyplin naukowych **inżynieria materiałowa** oraz **inżynieria biomedyczna**.

2. Teza badawcza i cele rozprawy

W rozprawie na stronie 6 przedstawiono tezę badawczą, która jest następująco sformułowana:

„Promieniowanie laserowe, pomimo degradującego wpływu na strukturę polilaktydu, w kontrolowanych warunkach procesu modyfikacji jego powierzchni pozwala na unikatową funkcjonalizację, wykazującą potencjał w zastosowaniach biomedycznych”.

Sformułowana w ten sposób teza dobrze oddaje istotę rozprawy, jest merytorycznie poprawna i zrozumiała. Uwagę, o charakterze wyłącznie porządkowym, może stanowić jedynie umiejscowienie tezy, która w niektórych pracach jest formułowana po przeglądzie i analizie literatury.

Doktorant sformułował również cel ogólny rozprawy, którym jest: *opracowanie nowych sposobów modyfikacji powierzchni materiałów polimerowych na bazie poli(L-laktydu) z wykorzystaniem promieniowania laserowego operującego w różnych zakresach spektralnych (ultrafioletu, bliskiej i średniej podczerwieni), będących alternatywą dla dotychczas stosowanych metod.* Dodatkowo na początku każdego z trzech głównych podrozdziałów

eksperymentalnych (3.1.1; 3.2.1 oraz 3.3.1) Doktorant przedstawił cele szczegółowe odnoszące się do poszczególnych technik modyfikowania WW wytworzonych materiałów. Są to:

- a) *Określenie zmian zachodzących w strefie wpływu ciepła w kompozycie PLLA/HAP pod wpływem promieniowania lasera CO₂ poniżej i w pobliżu progu ablacji.*
- b) *Opracowanie nowej metody biomineralizacji poli(L-laktydu) w symulowanym roztworze płynów ustrojowych (SBF) z wykorzystaniem lasera ekscymerowego ArF, [...] jako czynnika aktywującego powierzchnię polimeru i ułatwiającego adhezję apatytowej warstwy mineralnej do podłoża.*
- c) *Określenie wpływu promieniowania laserowego światłowodowego lasera femtosekundowego na właściwości fizykochemiczne poli(L-laktydu) dla kilku różnych sposobów traktowania powierzchni wiązki laserowej.*

Ogólny cel rozprawy, a także cele szczegółowe zostały osiągnięte na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych, które nieco różniły się w zależności od zastosowanego rodzaju lasera i przeznaczenia odpowiednio zmodyfikowanych materiałów. **Stwierdzam, że cele ogólne i szczegółowe zostały sformułowane właściwie i zrozumiale oraz że są zgodne z zakresem pracy.**

3. Układ rozprawy

Recenzowana rozprawa składa się ze 110 stron, w tym 4 stron załączonego dorobku naukowego, a także zawiera 33 bardzo dobrze wykonane rysunki (20 wykresów oraz 13 schematów, zdjęć i wzorów) oraz 11 tabel. Bibliografia zawiera 102 zacytowane pozycje literaturowe z czego tylko 2 nie są obcojęzyczne. Cytowana literatura stanowi aktualne prace naukowe, z czego 1/3 stanowią najnowsze prace, tzn. opublikowane w ostatnich 5 latach.

Rozprawa składa się z trzech głównych bloków tematycznych, tj. przeglądu literatury, metodyki badawczej oraz wyników badań z wnioskami. Główną jej część stanowią badania eksperymentalne, co odpowiada tego typu pracom o charakterze naukowym. Rozprawa zawiera siedem rozdziałów, na które składają się kolejno: (1) teza pracy, (2) motywacja i cele ogólne badań, (3) przegląd literatury, (4) metodyka badawcza, (5) dyskusja wyników badań własnych, (6) wnioski oraz (7) bibliografia. W skład rozprawy wchodzi ponadto: spis treści, streszczenie (w języku polskim i języku angielskim) oraz dorobek naukowy Doktoranta. Treść rozprawy mogłaby być uzupełniona o wykaz używanych w niej skrótów i akronimów, a także o przedstawienie najważniejszych wniosków po dokonanej przeglądzie literatury. Uważam ponadto, że wnioski końcowe powinny być rozszerzone i podzielone na te o znaczeniu naukowym i te o znaczeniu użytkowym, tym bardziej, że praca ma istotny aspekt aplikacyjny.

Podsumowując stwierdzam, że pomimo nieznaczących braków, przedstawiony układ rozprawy mieści się w kryteriach ogólnie przyjętych dla tego typu prac naukowych w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych.

4. Ocena merytoryczna

Opracowywanie nowych materiałów biodegradowalnych, a w tym tych biozgodnych i bioresorbowalnych przeznaczonych do zastosowań w medycynie lub inżynierii biomedycznej ma bardzo duże znaczenie. Stymulatorem opracowywania tego typu materiałów jest możliwość otrzymania ich nowych rodzajów o niespotykanych dotąd właściwościach lub możliwość zastosowania ich w niestosowanych dotychczas technologiach, co może przekładać się na ich nowe aplikacje, w tym specjalistyczne. Zaproponowane w rozprawie laserowe techniki modyfikowania właściwości WW materiałów na bazie PLA, ukierunkowane na zastosowanie tak zmodyfikowanych materiałów polimerowych w inżynierii biomedycznej, są oryginalne, mają duże znaczenie praktyczne, a także są odpowiedzią na ciągle potrzeby stosowania coraz bardziej uniwersalnych i innowacyjnych materiałów.

Przegląd literatury opiera się na 77 zacytowanych pozycjach literaturowych. Doktorant analizuje polimerowe materiały biodegradowalne mające zastosowanie biomedyczne, opisuje ogólnie polimery biodegradowalne wskazując na ich najważniejsze właściwości i zastosowania, a także dokonuje szczegółowej charakterystyki czterech poliestrów alifatycznych, tj. poliglikolidu (PGA), polikaprolaktonu (PCL), polilaktydu (PLA) i poli(laktydu-ko-glikolidu) (PLGA). Są to najważniejsze polimery stosowane w zastosowaniach biomedycznych, aczkolwiek nie jedyne, a biorąc pod uwagę również kopolimery, ich liczba może być znacznie większa. Następnie Doktorant dokonuje charakterystyki metod modyfikowania właściwości powierzchni polimerów biodegradowalnych, skupiając się głównie na opisie najważniejszych technik laserowych stosowanych w modyfikowaniu tych polimerów. Z przeprowadzonej analizy aktualnego stanu wiedzy wynikają istotne kwestie, zwłaszcza w aspekcie stosowania laserów w modyfikowaniu właściwości materiałów polilaktydowych, mające wpływ na właściwe opracowanie metodologii badawczej i przeprowadzenie badań. Przegląd literatury mógłby kończyć się zestawieniem najważniejszych wniosków, obrazujących słuszność przyjętej koncepcji opracowania dalszych etapów badawczych. Pomimo tego uważam, że Doktorant trafnie dokonał wyboru zacytowanych prac, które dotyczą diskutowanych w rozprawie zagadnień.

Opisana w kolejnym rozdziale metodologia badawcza jest poprawna. Zawiera zestawienie i charakterystykę stosowanych materiałów i surowców, procedurę wytwarzania

próbek badawczych i roztworu symulowanych płynów ustrojowych, a także szczegółowy opis stosowanych technik badawczych i specjalistycznej aparatury. W rozprawie badano dwa rodzaje materiałów, tj. folię otrzymaną z PLLA i folię otrzymaną z kompozytu PLLA/HAp. Pierwszą folię poddano działaniu laserów ekscymerowego i femtosekundowego, a drugą folię – lasera CO₂. Wybór próbek i odpowiadającym im rodzajom laserów, którymi modyfikowano te próbki, został przez Doktoranta odpowiednio uzasadniony w rozdziałach dotyczących: (a) opisu mechanizmów oddziaływania wiązki laserowej z materiałem, (b) opisu metodologii badawczej oraz (c) opisu celów cząstkowych.

W części eksperymentalnej Doktorant opisuje wyniki badań trzech głównych eksperymentów, które można traktować jako odrębne zagadnienia, a których wspólnym mianownikiem są: (a) materiał bazowy, tj. poli(L-laktyd) oraz (b) modyfikacja laserowa WW. Są to:

- 1) Modyfikowanie warstwy wierzchniej folii wytworzonej z kompozytu PLLA/HAp przy użyciu lasera CO₂.

Doktorant wykonał w nim badania wpływu lasera CO₂ na właściwości warstwy wierzchniej kompozytu PLLA/HAp, który wybrał ze względu na duży potencjał aplikacyjny tego materiału w inżynierii tkankowej. Określił jakich efektów można się spodziewać podczas obróbki laserowej tego kompozytu. Wykazał również w jaki sposób można kontrolować efekty degradacji materiału i selektywnie wykorzystywać je w inżynierii tkankowej, co jest bardzo istotne w aspekcie szybszej bioresorpcji materiału w organizmie żywym.

- 2) Opracowanie nowej metody selektywnej mineralizacji powierzchni PLLA z wykorzystaniem lasera ekscymerowego.

W przedstawionym eksperymencie Doktorant modyfikował laserowo WW folii polilaktydowej, a następnie osadzał na niej warstwę apatytową metodą polegającą na zanurzeniu zaktywowanej laserowo próbki do roztworu symulowanego płynu ustrojowego. Doktorant wykazał, że zaproponowana metoda odznacza się selektywnością procesu w przeciwieństwie do metod dotychczas opisanych w literaturze. Ponadto stwierdził, że modyfikacja WW zastosowanym laserem powoduje szybszy wzrost warstwy apatytowej w porównaniu do próbki niemodyfikowanej, co ma istotne znaczenie w inżynierii biomedycznej. Doktorant przedstawił również mechanizm tego zjawiska. Innym ważnym osiągnięciem było wykazanie, że tak zmodyfikowane materiały charakteryzują się przyspieszoną

hydrolizą, co może mieć kluczowe znaczenie w kontekście regulowania czasu degradacji materiału zastosowanego w organizmie człowieka.

3) Strukturyzacja powierzchni PLLA laserem femtosekundowym.

W tym eksperymencie Doktorant zastosował – w przeciwieństwie do dwóch poprzednich – wiązkę lasera o energii powyżej progu ablacji PLLA. Było to celowe, aby zmienić strukturę próbki, a głównie jej chropowatość i zwilżalność. Dodatkowo Doktorant zastosował cztery sposoby obróbki WW próbki, tj. (a) jednorodne modyfikowanie całej powierzchni o energii impulsu 27,6 μJ , (b) jednorodne modyfikowanie całej powierzchni o energii impulsu 68,0 μJ , (c) modyfikowanie liniowe oraz (d) modyfikowanie punktowe. Doktorant wyjaśnił mechanizm powstawania wypukłych struktur na próbce pod wpływem zastosowanych impulsów, a także przeprowadził badania wpływu różnych sposobów obróbki WW na jej właściwości. Na uwagę zasługują w szczególności wyniki badań biologicznych, a w tym ocena cytotoksyczności, ocena kolonizacji fibroblastów i osteoblastów oraz powinowactwa wybranych szczepów bakterii do kolonizacji próbek. Doktorant wykazał, że analizowane próbki nie są cytotoksyczne, co ma szczególnie ważne znaczenie w prowadzeniu dalszych badań nad zastosowaniem tego typu materiałów. Co więcej, stwierdził on, że najwięcej komórek fibroblastów i osteoblastów gromadzi się na próbkach modyfikowanych punktowo. Równie ważnym efektem jaki zaobserwował Doktorant, jest efekt ograniczający rozwój bakterii w modyfikowanych miejscach próbki, co ma fundamentalne znaczenie w medycynie. Ostatnim istotnym osiągnięciem przedstawionym w rozprawie było udowodnienie przy pomocy techniki mikroskopii fluorescencyjnej, że zastosowanie systemów laserowych może być bardzo łatwo wykorzystane do ukierunkowanej kolonizacji komórek eukariotycznych, dzięki czemu istnieje możliwość selektywnego naświetlania wybranych obszarów na materiale, istotnych z punktu widzenia ich zastosowania w inżynierii biomedycznej. W szczególności należy podkreślić bardzo ważny potencjał aplikacyjny materiałów opracowanych w tym eksperymencie, co zasługuje na wysoką ocenę.

Podsumowując stwierdzam, że część eksperymentalna rozprawy, składająca się z trzech niezależnych eksperymentów, została wykonana w sposób właściwy. Techniki badawcze zostały poprawnie dobrane do każdego z przeprowadzonych eksperymentów. Wyniki badań uzyskane przez Doktoranta mają ważne znaczenie poznawcze i użytkowe. Znaczenie

poznawcze jest związane przede wszystkim z wkładem nowej wiedzy do obszaru nauki o materiałach i sposobach modyfikowania ich właściwości. Znaczenie uytylitarne, które w tej rozprawie jest mocno akcentowane, dotyczy aspektów wykorzystania zmodyfikowanych w różny sposób materiałów w inżynierii tkankowej lub biomedycznej. **Przedstawione w rozprawie wyniki badań są oryginalne i stanowią nowość naukową, ponieważ nie były dotąd znane zaproponowane przez Doktoranta techniki laserowe modyfikowania WW materiałów polilaktydowych. Wyniki te stanowią istotny wkład Doktoranta w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria chemiczna, a także dyscyplin inżynieria materiałowa i inżynieria biomedyczna.**

Praca podsumowana jest 7 wnioskami, z czego ostatni stanowi zestawienie 4 najważniejszych osiągnięć Doktoranta, po raz pierwszy wykazanych w badaniach eksperymentalnych. Wnioski końcowe mogłyby jednakże być szerzej przedstawione albo pogrupowane na ogólne i szczegółowe.

Na szczególną uwagę zasługuje załączony do pracy dorobek naukowy Doktoranta, który świadczy o jego dużej aktywności naukowej i który oceniam bardzo wysoko. Przedstawił on 8 wysoko punktowanych publikacji naukowych przedstawionych w czasopismach z IF, 8 artykułów opublikowanych w materiałach konferencyjnych, a także udział w 4 konferencjach i 1 projekcie badawczym (OPUS 14). Jego aktualny dorobek naukowy (stan na dzień 20.09.2021r.) obejmuje 9 publikacji z IF, przy czym średni IF tych publikacji wynosi ponad 4,4, a 5 z tych publikacji znajduje się na liście TOP10%. Jego aktualny h-indeks wynosi 4, a liczba cytowań prac naukowych Doktoranta wynosi 65 (według bazy SCOPUS).

Za najważniejsze osiągnięcia naukowe Doktoranta uważam: (a) eksperymentalne zweryfikowanie przedstawionej tezy rozprawy, (b) opracowanie trzech niezależnych metod modyfikowania WW materiałów polilaktydowych, pokazujących możliwości zastosowania różnych rodzajów laserów do otrzymywania nowych materiałów, mających zastosowanie głównie biomedyczne, (c) wykazanie selektywnego działania zmodyfikowanych laserowo materiałów polilaktydowych, (d) opracowanie metody aktywacji, z wykorzystaniem lasera, WW materiałów polilaktydowych, zwiększającej jej powinowactwo do jonów roztworu symulowanych płynów ustrojowych, (e) kontrolowanie czasu degradacji materiału w organizmie człowieka, poprzez zmianę czasu hydrolizy tego materiału w następstwie jego obróbki laserem ekscymerowym, (f) wykazanie możliwości bezpośredniego wpływu działania lasera femtosekundowego na rozwój komórek poprzez strukturyzację WW materiału, (g) określenie odpowiedzi komórkowej fibroblastów, osteoblastów, bakterii i drożdży na

zmodyfikowane laserowo materiały, a także wykorzystanie tej wiedzy w projektowaniu materiałów do celów biomedycznych.

5. Uwagi krytyczne

W rozprawie znajdują się nieliczne błędy literowe oraz nieliczne błędy o charakterze stylistycznym. Można znaleźć w niej jednak pewne nieprawidłowości o charakterze merytorycznym, językowym lub porządkowym, do których należą:

- Tytuł rozdziału 1.1 [*POLI(L-LAKTYD) I JEGO ZNACZENIE W INŻYNIERII TKANKOWEJ*] nie do końca odzwierciedla treść przedstawioną w podrozdziałach 1.1.1; 1.1.2 oraz 1.1.3. We wszystkich trzech podrozdziałach przedstawiono zagadnienia wykraczające poza obszar dotyczący wyłącznie charakterystyki polilaktydu i jego znaczenia w inżynierii tkankowej.
- Doktorant stosuje w pracy zamiennie pojęcia warstwy wierzchniej i powierzchni. Z uwagi na wykonane prace eksperymentalne powinno konsekwentnie być stosowane pojęcie warstwy wierzchniej, co byłoby również zgodne z tytułem rozprawy. Zgodnie z definicją *warstwa wierzchnia jest to zewnętrzna warstwa materiału, ograniczona rzeczywistą powierzchnią przedmiotu, obejmująca tę powierzchnię oraz część materiału w głąb od powierzchni rzeczywistej, która wykazuje zmienione cechy fizyczne w stosunku do cech materiału rdzenia. Z kolei powierzchnia rzeczywista to zbiór elementów, które istnieją fizycznie i oddzielają cały przedmiot od ośrodka zewnętrznego.*
- W opisie właściwości PLA Doktorant podaje temperaturę topnienia tego polimeru wynoszącą 180°C i pisze dalej, że jest ona wartością zdecydowanie większą w porównaniu do temperatury topnienia PGA. Jest to sprzeczne z informacją podaną na str. 12, mówiącą o tym, że temperatura topnienia PGA wynosi 225-230°C.
- W opisie rozdziału 3.2.4. Doktorant podaje wartości procentowe spadku średniego ciężaru cząsteczkowego. Nie odpowiadają one jednak liczbowym wartościom tego ciężaru zestawionym w tabeli 7.
- Na rys. 17B przedstawiono wyniki badań DSC podczas cyklu chłodzenia badanych próbek. Widoczny na widmie pik (zakładam, że egzotermiczny) w zakresie temperatury od ok. 100 do ok. 110 °C nie został scharakteryzowany. Poza tym, warto byłoby wyjaśnić różnice w wartościach temperatury pików krystalizacji podczas pierwszego cyklu ogrzewania i cyklu chłodzenia.

- W ostatnim zdaniu na str. 87 Doktorant pisze: „*Biorąc pod uwagę linię komórkową fibroblastów (rysunek 28A), przez pierwsze 24 godziny komórki zdecydowanie lepiej rozwijały się na wszystkich modyfikowanych powierzchniach niż na gładkiej powierzchni referencyjnej folii PLLA*”. Nie jest to do końca zgodne z danymi zestawionymi na rys. 28A, ponieważ stwierdzenie to dotyczy tylko próbek referencyjnej oraz S1. W przypadku pozostałych próbek można stwierdzić, że wartości absorbancji przy 540 nm nie są istotnie różne ze względu na podane wartości odchyień standardowych. Analogiczna sytuacja ma miejsce w przypadku analizy wyników badań pokazanych na rys. 28B po czasie 24h.
- Na str. 42 Doktorant dokonuje oceny różnic w zagęszczeniu fibroblastów [...] próbki S4, jednakże w opisie tej oceny jest mowa o próbce S3.
- W metodyce badawczej (rozdział 2) Doktorant pisze: „*Celowość wyboru tych materiałów do badań przedstawiono w rozdziałach 1.2.1 oraz 1.2.3*”. W rozprawie nie ma jednakże rozdziału 1.2.3.
- Przywołana norma badań właściwości mechanicznych podczas statycznego rozciągania, tj. PN-EN ISO 527-1:1996 jest już dawno nieobowiązująca. Obecnie stosuje się normę PN-EN ISO 527-1:2020. W opisie metodologii badawczej powinna być przywołana norma obowiązująca w chwili wykonywania badań, a także powinny być stosowane te symbole, które w tej normie są zamieszczone (dotyczy to parametru „ R_m ” podanego w opisie statystycznej próby rozciągania).
- W opisie metodologii badań DSC podano tygłe aluminiowe o objętości 40 ml. Prawdopodobnie chodziło o objętość 40 μ l.
- W opisie procedury wytwarzania folii z PLLA podana jest informacja, że „...*granulat wytłaczano przy użyciu płaskoszczelinowej jednoślindakowej wylączarki*...”. Powinno być napisane: „*granulat wytłaczano przy użyciu wylączarki jednoślindakowej wyposażonej w głowicę płaskoszczelinową*... ”.
- Rozprawa jest napisana w języku polskim i nie powinny w niej znajdować się anglojęzyczne słowa lub skróty. Na str. 33 należy podać „10% *mas.*” zamiast „10 *wt.%*”.
- W pracy często można spotkać również stosowane przez Doktoranta wyrażenia typu: „krzywe dla obu serii”, „badania dla próbek”, „pomiar dla hydroksyapatytu”. W każdym z tych przykładów należałoby zastosować formę dopełniacza tzn. „krzywe obu serii”, „badania próbek”, „pomiar hydroksyapatytu”.

Przedstawione powyżej najważniejsze uwagi nie obniżają istotnie wartości merytorycznej recenzowanej rozprawy, ale wskazują na konieczność zachowania przez Doktoranta większej uwagi podczas redagowania tekstu rozprawy, jak również większej wnikliwości podczas analizy wyników badań eksperymentalnych.

6. Podsumowanie

Cele ogólny i szczegółowe przedstawione w recenzowanej rozprawie zostały w pełni osiągnięte przez Doktoranta, który musiał wykazać się znajomością wiedzy z różnych obszarów nauki. Aby osiągnąć te cele, a także zweryfikować tezę rozprawy, musiał On odpowiednio zaplanować przeprowadzenie poszczególnych eksperymentów, jak również dobrać do nich właściwe techniki badawcze. Co więcej, na szczególną uwagę zasługują dokonane przez Doktoranta analizy wyników badań, przedstawione w przystępny i zrozumiały sposób, a także formułowanie odpowiednich do nich wniosków. **W mojej opinii spełnienie przez Doktoranta wszystkich wymienionych wyżej warunków umożliwiło przygotowanie niniejszej rozprawy doktorskiej na dobrym poziomie zarówno merytorycznym jak i formalnym.**

Recenzowana rozprawa doktorska ma charakter oryginalnej pracy naukowej, zawierającej ważne elementy poznawcze i aplikacyjne. Przedstawione w niej wyniki badań stanowią istotny wkład Doktoranta w rozwój dyscypliny naukowej inżynieria chemiczna oraz częściowo w rozwój dyscyplin inżynieria materiałowa oraz inżynieria biomedyczna, a zwłaszcza w rozwój wiedzy o laserowych technikach modyfikowania właściwości materiałów polimerowych. Na podstawie wszystkich składowych recenzowanej rozprawy stwierdzam, że Doktorant wykazuje dojrzałość naukową, posiada szeroką wiedzę z zakresu inżynierii chemicznej, jak również jest przygotowany do samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Na podstawie szczegółowej analizy przedłożonej mi do recenzji rozprawy doktorskiej mgr. inż. Bartłomieja Kryszaka pt. „*Zastosowanie promieniowania laserowego do modyfikacji warstwy wierzchniej materiałów na bazie poli(L-laktydu)*” stwierdzam, że **rozprawa ta spełnia warunki** określone w *ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz.U. 2003 Nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami). Na tej podstawie oraz na podstawie *art. 179 ustawy Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* wnioskuję o dopuszczenie Pana mgr inż. Bartłomieja Kryszaka, po spełnieniu pozostałych wymogów, do dalszych etapów publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Na szczególną uwagę zasługuje również dorobek naukowy Doktoranta, który w większości zawiera tematycznie powiązane publikacje wyników badań niniejszej rozprawy przedstawione w renomowanych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym. W części z tych publikacji Doktorant jest głównym współautorem lub autorem korespondencyjnym. Biorąc pod uwagę całokształt osiągnięć Doktoranta tj. jego rozprawę doktorską oraz dorobek naukowy, który oceniam bardzo wysoko, i który w mojej ocenie mógłby stanowić odrębną podstawę do nadania stopnia naukowego, wnioskuje również o wyróżnienie przedłożonej mi do recenzji rozprawy doktorskiej.



Dr hab. n. techn. Rafał Malinowski