

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. **Sary Targońskiej**

pt.: **“Otrzymywanie i badanie układów biokompozytów na bazie biopolimerów i nanomateriałów domieszkowanych jonami ziem rzadkich”**

opracowana na zlecenie

Dyrektora Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN we Wrocławiu

1. Tematyka rozprawy

Tematyka recenzowanej rozprawy dotyczy zaawansowanych nanomateriałów oraz nanokompozytów dla medycyny, w szczególności o wysokim potencjale aplikacyjnym w odbudowie i regeneracji tkanki kostnej.

Tkanka kostna z punktu widzenia inżynierii materiałowej jest złożonym materiałem kompozytowym zbudowanym głównie z włókien kolagenowych i nanokryształów apatytu. Ten naturalny kompozyt polimerowo-ceramiczny dzięki hierarchicznej i uporządkowanej strukturze jest zdolny do przenoszenia obciążeń kilkakrotnie przewyższających ciężar człowieka. Istotną rolę w prawidłowym funkcjonowaniu kości odgrywa hydroksyapatyt (HAp), o wzorze $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Nadaje kościom sztywność i wytrzymałość mechaniczną. Występuje w postaci nanokryształów płytkowych o rozmiarach znacznie poniżej 50 nm, o dużej powierzchni właściwej rzędu 100-200 m²/g. Od momentu, kiedy opracowano metody wytwarzania syntetycznego HAp, stał się on obiektem zainteresowania naukowców ze względu na wysoką biogodność, właściwości osteokondukcyjne oraz powolną biodegradację w

warunkach in vivo. Znajduje zastosowanie w leczeniu ubytków kostnych, jako materiał bioaktywny warstw na implantach, lub jako nośnik substancji czynnej biologicznie w systemach dostarczania leków.

Stechiometryczny HAp składa się zasadniczo z wapnia i fosforu o stosunku molowym Ca/P równym 1,67. Udowodniono, że stechiometryczny HAp jest najskuteczniejszy w regeneracji kości. Naturalny HAp jest niestechiometryczny. Ma niedobór wapnia lub fosforu. Kationy, takie jak Na^+ , Mg^{2+} i Al^{3+} mogą być podstawione w pozycjach wapnia. Jony węglanowe mogą zastępować jony fosforanowe lub hydroksylowe, podczas gdy jony fluorkowe zastępują jony hydroksylowe.

Jest wiele prac, również z grupy Pana Profesora Wiglusza, w których w miejsce jonów wapnia podstawiane są inne jony, w celu uzyskania dodatkowych właściwości. Na przykład dodatek jonów srebra nadaje ceramice właściwości antybakteryjne. Zaś po podstawieniu europem materiał wykazuje wzmocnioną luminescencję. Jest to niezmiernie interesujące i przyszłościowe podejście do projektowania nanomateriałów apatytowych o właściwościach hybrydowych, które oprócz terapeutycznych właściwości kościotwórczych mogą jednocześnie przeciwdziałać rozrostowi bakterii oraz wspomagać obrazowanie medyczne leczonej tkanki.

Innym podejściem modyfikacji apatytów opisywanym w literaturze jest podstawienie części grup fosforanowych grupami krzemianowymi. Obecność krzemu wpływa pozytywnie na adhezję białek i proliferację osteoblastów w procesie regeneracji kości. Hydroksyapatyt niemodyfikowany lub modyfikowany może być użyty jako bioaktywny składnik w kompozytach polimerowych. Materiał organiczno-nieorganiczny jest w pewnym sensie odwzorowaniem kompozytowej struktury tkanki kostnej. Osnowa polimerowa, podobnie jak kolagen w kości, zwiększa sprężystość i odporność na kruche pękanie. Stawiając w ogólnie dostępnej bazie *Pubmed* zapytanie „composite & hydroxyapatite & polymer” odnajdujemy ponad 3000 rekordów, z czego w latach 2010-2022 jest ich ponad 2100. Świadczy to o dużym zainteresowaniu wśród badaczy tematyką kompozytów z udziałem hydroksyapatytu.

W świetle tych rozważań można stwierdzić, że podjęta w pracy doktorskiej tematyka badawcza dotycząca projektowania i wytwarzania zaawansowanych nanomateriałów apatytowych oraz kompozytów polimerowych z ich dodatkiem jest istotna i bardzo dobrze wpisuje się w obecne trendy oraz wyzwania badań naukowych w obszarze biomateriałów, których celem jest opracowywanie skutecznych terapii uszkodzeń i chorób tkanki kostnej.

2. Struktura, cel i zakres pracy

Podstawę recenzowanej pracy doktorskiej stanowi tematycznie spójny zbiór 5 artykułów naukowych dotyczących opracowanych przez Doktorantkę nanoapatytów domieszkowanych jonami ziem rzadkich oraz kompozytów, w których zmodyfikowana nanoceramika zdyspergowana została w polimerowej osnowie. Zbór artykułów poprzedzony jest wprowadzeniem do tematyki rozprawy, opisem metod badawczych użytych w pracy i najważniejszych wyników badań własnych w formie krótkiego przewodnika po tych publikacjach. Jest to stosunkowo nowa formuła prac doktorskich wybierana coraz częściej przez doktorantów, którzy zdecydowali się na opublikowanie wyników swoich badań przed obroną pracy doktorskiej.

Wszystkie artykuły opublikowane zostały jako oryginalne prace wieloautorskie w czasopismach z listy *Journal Citation Report*. Impact Factor tych prac mieści się w przedziale od 3,512 do 5,076. Doktorantka jest pierwszym w 4 i drugim w 1 z nich. Można wnioskować, że miała kluczowy udział w powstaniu wszystkich artykułów. Nie zostało to jednak potwierdzone dołączonymi do pracy deklaracjami współautorów.

Poniżej przedstawiono spis publikacji stanowiących podstawę recenzowanej pracy:

- D1. **Targonska S**, Szyszka K, Rewak-Soroczynska J, Wiglusz RJ. A new approach to spectroscopic and structural studies of the nano-sized silicate-substituted hydroxyapatite doped with Eu³⁺ ions. *Dalton Trans.* 2019 Jun 11;48(23):8303-8316.
- D2. **Targonska S**, Wiglusz RJ. Investigation of Physicochemical Properties of the Structurally Modified Nanosized Silicate-Substituted Hydroxyapatite Co-Doped with Eu³⁺ and Sr²⁺ Ions. *Nanomaterials (Basel)*. 2020 Dec 24;11(1):27.
- D3. **Targonska S**, Sikora M, Marycz K, Smieszek A, Wiglusz RJ. Theranostic Applications of Nanostructured Silicate-Substituted Hydroxyapatite Codoped with Eu³⁺ and Bi³⁺ Ions-A Novel Strategy for Bone Regeneration. *ACS Biomater Sci Eng.* 2020 Nov 9;6(11):6148-6160.
- D4. **Targonska S**, Rewak-Soroczynska J, Piecuch A, Paluch E, Szymanski D, Wiglusz RJ. Preparation of a New Biocomposite Designed for Cartilage Grafting with Antibiofilm Activity. *ACS Omega.* 2020 Sep 15;5(38):24546-24557.

D5. Szyszka K, **Targonska S**, Gazinska M, Szustakiewicz K, Wiglusz RJ. The comprehensive approach to preparation and investigation of the Eu³⁺ doped hydroxyapatite/poly (L-lactide) nanocomposites: Promising materials for theranostics application. *Nanomaterials* 2019, 9 (8), 1146.

Wymienione publikacje zostały już pozytywnie zrecenzowane przez przedstawicieli środowiska naukowego i są już wielokrotnie przytaczane – liczba cytowań wynosi 24. Świadczy to o wysokim poziomie prezentowanych w nich badań. Podsumowując, zestawiony spójny tematycznie zbiór 5 publikacji jest oryginalnym osiągnięciem Doktorantki w obszarze działalności naukowej, zasługującym na szczególne podkreślenie.

Cała rozprawa liczy 145 stron. Wprowadzenie i przewodnik po publikacjach liczą 44 strony i są napisane w języku polskim. Już na wstępie Doktorantka poprawnie formułuje cel główny pracy doktorskiej. Jest nim „otrzymanie i charakterystyka fizykochemiczna nanorozmiarowych związków o strukturze apatyty, które użyto w materiałach kompozytowych na bazie różnych biopolimerów” (cytat z paracy). Dalej Doktorantka wprowadza czytelnika w tematykę rozprawy omawiając podstawowe informacje o nanomateriałach o strukturze apatyty domieszkowanych pierwiastkami europu, kompozytach polimerowych oraz luminescencji jonów europu(III). Kolejne strony zawierają skrótowe opisy technik badawczych używanych w pracy. W opinii recenzenta, jeżeli nie jest to wymóg formalny Instytutu, podawanie podstawowych opisów stosowanych technik jest zbędne.

We wprowadzeniu brakuje podsumowania jaki problem badawczy Doktorantka chce rozwiązać w świetle obecnego stanu wiedzy. W recenzowanej pracy brak jest również sformułowania hipotezy badawczej. Mimo, że teza nie jest wymagana w pracach doktorskich, jej formułowanie wymaga od kandydata wnikliwej analizy problemu naukowego oraz zaproponowania podejścia do jego rozwiązania.

W tej części pracy Doktorantka prezentuje również swój dorobek naukowy. Wyróżnia 5 artykułów, które stanowią podstawę recenzowanej rozprawy, oraz podaje spis innych 15-stu prac, których jest współautorem. Zamieszcza także listę prezentacji konferencyjnych, projektów badawczych i szkoleń, w których uczestniczyła. Jest współautorką 2 zgłoszeń patentowych oraz laureatką nagród. Biorąc pod uwagę

powyższe osiągnięcia, wysoko oceniam dorobek naukowy Pani mgr inż. Sary Targońskiej.

Osiągnięcie celu pracy doktorskiej wymagało od Doktorantki przeprowadzenia szerokiego zakresu prac badawczych opisanego szczegółowo w 5 artykułach naukowych. Prace miały charakter interdyscyplinarny i obejmowały wytwarzanie i charakteryzację struktury, właściwości fizycznych, chemicznych oraz biologicznych nowych materiałów na bazie apatyty (3 artykuły) oraz kompozytów polimerowych (2 artykuły).

Pierwszą z grup materiałów opracowanych przez Doktorantkę i opisanych w publikacji **D1** są krzemianowo-fosforanowe apatyty domieszkowane jonami europu(III). Autorka wytworzyła w procesie syntezy hydrotermalnej interesujące związki apatyty z dodatkiem krzemianów oraz różnych stężeń jonów Eu^{3+} . Zmieniając temperaturę procesu wpływała na wielkość ziaren nanomateriałów. Oceniała również jak zmiany w stężeniach jonów wpływały na wybrane właściwości zmodyfikowanej bioceramiki apatytowej. Morfologię i nanorozmiary cząstek obserwowano z użyciem mikroskopii elektronowej SEM i TEM. Badania XRD potwierdziły skład fazowy odpowiadający heksagonalnej strukturze hydroksyapatytu. Nanostrukturę wytworzonych materiałów potwierdzono ilościowo z użyciem metody Rietveld'a. Na obecność tej formy aparatu wskazują również wyniki badań spektroskopii w podczerwieni FTiR. W wysokiej temperaturze procesu oprócz hydroksyapatytu powstawał dodatkowo fosforan triwapniowy. Ilościową analizę składu chemicznego przeprowadzono przy pomocy optycznej spektroskopii emisyjnej ze wzbudzeniem w plazmie indukowanej (ICP-OES) oraz spektroskopii rentgenowskiej z dyspersją energii (EDX). Specjalnej uwadze poświęcono badaniom wpływ dodatku jonów Eu^{3+} na właściwości spektroskopowe. Zaobserwowano emisję promieniowania w zakresie długości fali 570-720nm. Wzrost stężenia jonów europu (III) skutkowało skracaniem czasu zaniku luminescencji, co Autorka tłumaczy prawdopodobieństwem niepromienistych przejść między atomami domieszki.

Drugą grupą materiałów opracowanych w ramach pracy doktorskiej były krzemianowe apatyty domieszkowane zarówno europem (III) jak i strontem (II). Zostały one opisane w artykule (D2) pt.: *Investigation of Physicochemical Properties of the Structurally Modified Nanosized Silicate-Substituted Hydroxyapatite Co-Doped with Eu^{3+} and*

Sr²⁺ ions. Krzem i stront zostały wybrane ze względu na udokumentowane właściwości osteogenne. Jony europu wybrano podobnie jak w pierwszej pracy jako jony optycznie aktywne. W tym przypadku przy stałej zawartości jonów strontu (II) zmieniano ilość domieszek europu (III). Badano również wpływ obróbki termicznej. W wyniku syntezy otrzymano nanomateriały o wielkości ziarna w przedziale 16-56nm. Zarejestrowano, podobnie jak w przypadku materiału pierwszego, emisję promieniowania w zakresie 570-580nm, odpowiadającą przejściu ⁵D₀->⁷F₀. Emisja zależała od ilości jonów Er³⁺ i temperatury obróbki. Podobnie jak we wcześniejszej pracy, wzrost stężenia jonów europu (III) skutkowało skróceniem czasu zaniku luminescencji.

Interesujące wyniki badań zaprezentowano w publikacji (D3), zatytułowanej: *Theranostic Applications of Nanostructured Silicate-Substituted Hydroxyapatite Codoped with Eu³⁺ and Bi³⁺ Ions-A Novel Strategy for Bone Regeneration*. Dyplomantka opisuje w niej innowacyjne materiały, niepublikowane dotąd, krzemianowo-fosforanowe związki apatytowe współdomieszkowane jonami europu (III) i bizmutu (III). Dotychczasowe badania wskazują, że bizmut ma właściwości antybakteryjne, zaś dodany do HApu wspomaga wstępne kościotworzenie. Dodanie Bi jest więc uzasadnione w zakładanej aplikacji. Podobnie jak w poprzednich pracach Autorka uzyskała nanometryczne cząstki nieorganiczne o rozmiarach w zakresie 20-65nm. Badania FTIR potwierdziły obecność grup charakterystycznych dla hydroksyapatytu. Zarejestrowano charakterystyczne dla europu widma emisyjne. Ponadto zawartość bizmutu wpływała na korzyść obsadzania przez jony europu (III) pozycji Ca₁. Na uwagę zasługują obszerne badania biologiczne wytworzonych materiałów. Wykazano brak cytotoksyczności oraz pozytywny wpływ udziału Bi na zwiększoną żywotność komórek i zmniejszenie apoptozy. Dodatkowo materiał z 1 mol% Bi wykazywał właściwości antyoksydacyjne. Zaś zawartość 0,5 mole Bi³⁺ zwiększała właściwości osteogenne nanocząstek.

Dwie kolejne prace wchodzące w skład rozprawy doktorskiej dotyczą materiałów kompozytowych o osnowie polimerowej oraz napełniaczach nanoapatytowych.

Opublikowany w ACS Omega w 2020r. artykuł pt.: *Preparation of a New Biocomposite Designed for Cartilage Grafting with Antibiofilm Activity*, porównywał wybrane właściwości kompozytów polimerowych z dodatkiem hydroksyapatytów oraz fluoroapatytów domieszkowanych jonami srebra. Wykonano badania XRD w celu potwierdzenia obecności fazy krystalicznej i oszacowania rozmiaru komórki

elementarnej. Do obserwacji morfologii otrzymanych nanomateriałów użyto SEM i TEM. Badania potwierdziły obecność faz hydroaksyapatytu i fluoraopatyty oraz srebra w nanocząstkach oraz ujawniły ich pręcikowy kształt. Przyszłe zastosowanie opracowywanych kompozytów wymagało oszacowanie kinetyki uwalniania jonów srebra z osnowy z politetrafluoroetyleny (PTFE) oraz przeprowadzenia badań mikrobiologicznych. Uwalniające się jony Ag powodowały działanie antybakteryjne wytworzonych kompozytów.

Ostatnia praca opisuje syntezę i charakteryzację nanoapatytów domieszkowanych jonami Eu^{3+} , które zostały użyte jako wypełniacze w kompozytach o osnowie z PLLA, w stosunku masowym 1:9 (HAp:PLLA). Obecność europu (III) spowodowała emisję promieniowania o barwie czerwonej po wzbudzeniu próbek światłem UV. Właściwości luminescencyjne mogą zostać wykorzystane w obrazowaniu próbek kompozytowych. Wyniki badań DSC potwierdziły znany z innych prac wpływ cząstek HAp na proces krystalizacji. Właściwości mechaniczne wytworzonych kompozytów były również mierzone i porównywane do właściwości tkanki kostnej. Kompozyty o 10% udziale wagowym domieszkowanej ceramiki charakteryzowały się modulem sprężystości rzędu 3GPa.

W ostatnim rozdziale przewodnika Doktorantka formułuje najważniejsze osiągnięcia i wnioski z przeprowadzonych badań. Nie nakreśla jednak kierunków dalszych działań. Przewodnik kończą streszczenia w językach polskich i angielskich oraz spis użytej literatury. Jest to 101 pozycji – aktualne artykuły naukowe ściśle powiązane z tematyką pracy.

Przewodnik po publikacjach jest przygotowany z dużą starannością. Jego układ, użyty język, styl i słownictwo są poprawne. Do drobnych uwag edytorskich można zaliczyć nieliczne błędy językowe: np. „nanorozmiowych” (str.12), „strenght” (Fig.9, Nanomaterials, 2019), czy błędne sformułowania: „napięcie przy zerwaniu” (str.17 i 18), „dyslokacje gęstości” (str.23). Powtarza się również słowo „matryca” w miejsce powszechnie stosowanego „osnowa”. Są też błędy edytorskie w rysunkach, np. błąd w legendzie na rysunku Fig.5 w artykule D1. Część rysunków jest nieczytelnych i trudnych do interpretacji, np. Fig.11 i Fig.12 w artykule opublikowanym w ACS Omega (2020).

3. Ocena merytoryczna i uwagi krytyczne

Wysoko oceniam wartość merytoryczną recenzowanej pracy Pani mgr inż. Sary Targońskiej. Duże znaczenie poznawcze oraz wysoka jakość uzyskanych wyników umożliwiła Doktorantce ich publikacje w wiodących czasopismach naukowych.

Tematyka rozprawy jest aktualna i ważna, zarówno z punktu widzenia zdobywania nowej wiedzy z obszaru nanomateriałów apatytowych, jak i przyszłego praktycznego zastosowania wyników badań w medycynie i biotechnologii. Znakomicie wpisuje się w nowoczesne kierunki badań w obszarze nowych nanomateriałów oraz kompozytów do teranostyki.

Doktorantka w pełni zrealizowała ambitny program badań. Cel pracy został osiągnięty. Doktorantka wytworzyła i scharakteryzowała nanorozmiarowe związki krzemianowe o strukturze apatytu domieszkowane jonami europu i bizmutu, oraz hydroksy- i fluoroapatyty domieszkowane jonami srebra. Wybrane nanocząstki użyła jako napełniaczy w kompozytach polimerowych.

Do największych osiągnięć Doktoranta można zaliczyć otrzymanie oryginalnych związków apatytów krzemianowo-fosforanowych współdomieszkowanych jonami europu i bizmutu. W literaturze przedmiotu jest to nowość na skalę światową. Otrzymany materiał charakteryzował się zasługującymi na uwagę właściwościami optycznymi oraz biologicznymi. W pozostałych pracach szczególnie wartościowe są badania wpływu stężenia jonu optycznego na strukturę otrzymanych związków oraz właściwości luminescencyjne. Interesujący jest też zaobserwowany efekt promowania zimnej krystalizacji polimerów przez nanoHap z dodatkiem europu(III).

Na podkreślenie zasługuje także duża wiedza teoretyczna i praktyczna Doktorantki z obszaru syntezy innych nanomateriałów apatytowych domieszkowanych jonami pierwiastków ziem rzadkich. Złożoność podjętej tematyki badawczej wymagała od Doktorantki wykorzystania szeregu nowoczesnych metod i urządzeń badawczych do charakteryzowania materiałów. W celu opisu struktury i właściwości nanomateriałów zastosowała transmisyjną (TEM) i skaningową (SEM) mikroskopię elektronową, EDS, dyfrakcję rentgenowską (XRD), spektroskopię w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR), optyczną spektroskopię emisyjną ze wzbudzeniem w plazmie indukowanej oraz spektroskopię luminescencyjną. Do oceny odpowiedzi biologicznej użyła typowych testów, tj.: Live/Dead, MTS, almarBlue, RT-qPCR, ROS.

W konsekwencji przeprowadzonych badań, Pani mgr inż. Sara Targońska wytworzyła interesujące nanomateriały i kompozyty z ich udziałem, które po dodatkowych badaniach in vitro oraz in vivo, zakończonych pozytywnych wynikach, mogą znaleźć praktyczne zastosowanie w medycynie i biotechnologii.

Czytając wprowadzenie, przewodnik i załączone publikacje nasuwają się pewne pytania i uwagi dotyczące zawartych w nich treści merytorycznych:

- Jak optymalizowano skład i warunki syntezy omawianych w pracy nanomateriałów?
- W niektórych artykułach Doktorantki brakuje obrazów dyfrakcyjnych z wybranych obszarów próbek, SAED, które mogłyby potwierdzić wyniki XRD, dotyczące struktury krystalicznej i składu otrzymanych nanomateriałów.
- Na podstawie dostarczonych map EDS trudno jest wykazać równomierne rozmieszczenie domieszek w osnowie apatytowej. Czy były inne badania potwierdzające ułożenie domieszek w apatycie?
- Badania biologiczne przeprowadzono dla wybranego stężenia nanocząstek w roztworze. Jak dobierano te stężenie? Jakie stężenia nanomateriałów przewiduje się w przyszłych zastosowaniach?
- Jak zmienia się rozpuszczalność i stabilność termiczna hydroksyapatytu po domieszkowaniu jonami wybranych pierwiastków?
- Interesujące byłoby oszacowanie jak domieszkowanie hydroksyapatytu różnymi jonami proponowanymi w pracy wpływa na jego właściwości mechaniczne, np. czy zwiększą twardość i odporność na pękanie w porównaniu z HAp niedomieszkowanym.
- W badaniach spektroskopowych badano głównie emisję promieniowania w materiałach wzbudzanych UV. Jeżeli chodzi o przyszłe aplikacje bardziej interesująca wydaje się być odpowiedź na działanie promieniowania IR.
- Dla niektórych otrzymanych materiałów przewidzianych do regeneracji tkanki kostnej interesujące byłoby wyniki badania bioaktywności in vitro, w SBF.
- Czym kierowała się Doktorantka dokonując wyboru materiałów kompozytowych do regeneracji tkanki chrzęstnej, w pracy opublikowanej w ACS Omega? Zastosowanie PTFE z modyfikowanymi cząstkami HAp i FAp wydaje się niezasadne.

- Dlaczego nie zbadano właściwości powierzchni (topografii i zwilżalności) kompozytów? Właściwości te mogły mieć kluczowy wpływ na otrzymane wyniki badań biologicznych.
- Czy i jeżeli tak to jak zapewniono równomierną dyspersję cząstek w osnowach polimerowych w opracowanych kompozytach? Jak dyspersja mogła wpływać na właściwości wytworzonych materiałów kompozytowych?
- Jaki jest mechanizm odpowiadający za zaobserwowany efekt promowania zimnej krystalizacji w polimerze przez dodatek europu w nanoHap?
- Zaskakujący jest brak wpływu dodatku cząstek nieorganicznych na właściwości mechaniczne kompozytów PLLA z dodatkiem Eu^{3+} :HAp. Wskazana jest dyskusja tych wyników na podstawie wykresów naprężenie-odkształcenie.
- W publikacji D1 brakuje suplementu, który zawiera cenne informacje na temat przeprowadzonych badań.

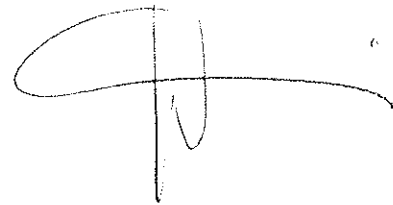
Podsumowując stwierdzam, że opiniowana rozprawa doktorska posiada wiele aspektów poznawczych i stanowi oryginalny wkład Autorki w rozwój materiałów hydroksyapatytowych. Stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego jakim jest opracowanie i scharakteryzowanie nowych rozwiązań materiałowych na bazie nanomateriałów domieszkowanych jonami ziem rzadkich i kompozytów z ich udziałem, umożliwiających jednoczesne wspomaganie procesów regeneracyjnych, działanie antybakteryjne oraz obrazowanie.

4. Wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę powyższą opinię, uważam, że rozprawa mgr inż. Sary Targońskiej zatytułowana: **“Otrzymywanie i badanie układów biokompozytów na bazie biopolimerów i nanomateriałów domieszkowanych jonami ziem rzadkich”**, spełnia wszystkie wymogi stawiane pracom doktorskim w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku „o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule naukowym w zakresie sztuki”. Wnioskuje do Rady Naukowej Instytutu Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN o przyjęcie niniejszej rozprawy i dopuszczenie Doktorantki do publicznej obrony.

Ponadto, biorąc pod uwagę obszerny zakres badań naukowych, ich wysoki poziom merytoryczny i duże znaczenie dla rozwoju dyscypliny naukowej, jak również udział w realizacji projektów badawczych, oraz wyróżniającą aktywność naukową i publikacyjną mgr inż. Sary Targońskiej, które moim zdaniem znacznie przekraczają zwyczajowe wymagania stawiane pracom doktorskim, wnioskuję do Rady Naukowej o wyróżnienie recenzowanej pracy doktorskiej.

Wojciech Świąszkowski

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'W' followed by a vertical line and a horizontal stroke.