



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE

Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
KATEDRA BIOMATERIAŁÓW I KOMPOZYTÓW

Prof. dr hab. inż. Elżbieta PAMUŁA

Kraków, 17 stycznia 2026

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Judyty Dulnik
pt. *"Biodegradowalne dwuskładnikowe materiały polimerowe
formowane metodą elektroprzędzenia – wpływ rozpuszczalnika,
sieciowania i funkcjonalizacji na wybrane właściwości i odpowiedź
komórkową"*

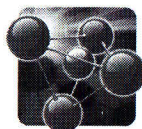
zrealizowanej pod kierunkiem

Promotora prof. dr. hab. inż. Pawła Sajkiewicza
i Promotor pomocniczej dr hab. inż. Doroty Kołbuk-Konieczny

Recenzja została opracowana na podstawie uchwały
Rady Naukowej Instytutu Podstawowych Problemów Techniki
Polskiej Akademii Nauk z dnia 13 listopada 2025 i zlecenia
Sekretarza Rady Naukowej IPPT PAN

Prof. dr. hab. inż. Zbigniewa Ranachowskiego
z dnia 17 listopada 2025 (data wpływu 21 listopada 2025)

W ostatnich dwóch dekadach obserwuje się coraz większe wykorzystanie wyrobów polimerowych otrzymanych technikami elektroprzędzenia, np. w charakterze materiałów izolacyjnych, jako filtry powietrza i wody czy też w zastosowaniach biomedycznych jako opatrunki, rusztowania do hodowli komórek, systemy dostarczania leków. Materiały te składają się z włókien o submikronowej średnicy, cechuje je bardzo duża porowatość i rozwinięcie powierzchni, co nadaje im unikatowe właściwości mechaniczne, fizykochemiczne i biologiczne. Technologia ta wymaga jednak rozpuszczenia polimerów takich jak np. poliestry w alkoholach fluorowanych, które są toksyczne zarówno dla pracujących z nimi osób jak i środowiska.



WIMiC

Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
Katedra Biomateriałów i Kompozytów

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, tel. +48 12 617 44 48, fax. +48 12 617 33 71
e-mail: epamula@agh.edu.pl, www.ceramika.agh.edu.pl
Regon: 000001577, NIP: 675 000 19 23

Pani mgr inż. Judyta Dulnik w swojej pracy doktorskiej podjęła się opracowanie nowych rozwiązań technologicznych mających na celu z jednej strony ograniczenie uciążliwości środowiskowej procesów wytwórczych a z drugiej otrzymanie elektroprzędzonych materiałów o korzystniejszych właściwościach biologicznych.

Doktorantka założyła w swojej pracy, że poprzez dobór składu rozpuszczalników, dobór mieszanek polimerowych a także modyfikację powierzchniową uzyskanych materiałów będzie możliwe otrzymanie ulepszonych materiałów do hodowli komórek, których proces wytwarzania będzie bardziej przyjazny dla środowiska, a ponadto, że będą one bardziej biogodne.

Uważam więc, że wybór tematyki rozprawy doktorskiej jest trafny, aktualny i właściwie uzasadniony.

Praca doktorska pani mgr inż. Judyty Dulnik to cykl jednotematyczny pięciu artykułów opublikowanych w recenzowanych, prestiżowych czasopismach anglojęzycznych o zasięgu międzynarodowym i wysokim współczynniku oddziaływania (*International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials, Polymer Degradation and Stability, European Polymer Journal, Materials i Journal of Functional Biomaterials*). Czasopisma, w których wydano artykuły, są umieszczone na liście *Journal Citation Report* a ich współczynnik oddziaływania IF wynosi odpowiednio: 2,5, 7,4, 6,3, 3,2 i 5,2. Artykuły zostały opublikowane w latach 2015-2022 i na etapie składania rozprawy (16.10.2025) były zacytowane w sumie aż 262 razy. W czterech artykułach doktorantka jest pierwszą autorką a w jednym drugą. Tematem przewodnim analizowanych prac są badania nad opracowaniem metody otrzymywania dwuskładnikowych biomateriałów polimerowych metodą elektroprzędzenia z wykorzystaniem mniej toksycznych rozpuszczalników, które będą skutecznie sfunkcjonalizowane kolagenem/żelatyną, dzięki czemu będą wykazywać korzystniejsze właściwości biologiczne.

Tytuł dysertacji doktorskiej *"Biodegradowalne dwuskładnikowe materiały polimerowe formowane metodą elektroprądzenia – wpływ rozpuszczalnika, sieciowania i funkcjonalizacji na wybrane właściwości i odpowiedź komórkową"* został właściwie sformułowany i wskazuje, że praca dobrze wpisuje się w dyscyplinę inżynieria materiałowa.

Oprócz publikacji naukowych włączonych do rozprawy, streszczenia w języku polskimi i angielskim, dysertacja zawiera spis skrótów, wstęp (1 strona), wprowadzenie merytoryczne (4 str.), cele pracy (1 str.), hipotezę badawczą (1 str.), opis wykorzystanych materiałów (7 str.), opis metodologii (17 str.), listę publikacji wchodzących w skład cyklu wraz z danymi bibliograficznymi (1 str.), a także opis najważniejszych wyników zawartych w tych artykułach wraz z wypunktowanymi osiągnięciami (22 str.). Pracę kończy rozdział podsumowujący wyniki (2 str.), rozdział podkreślający oryginalny wkład doktorantki w dyscyplinę naukową oraz spis literatury obejmujący 87 pozycji. Do dysertacji dołączono też oświadczenia doktorantki o udziale w każdej z publikacji naukowych podpisane przez nią, promotora oraz współautorów.

Praca spełnia więc podstawowe wymagania ustawowe dla prac doktorskich.

Rozprawę rozpoczyna rozdział zatytułowany *Wstęp*, w którym doktorantka dzieli się swoimi refleksjami na temat czym jest dla niej praca doktorska i odnosi się do drogi naukowej jaką przeszła do tej pory. Przyznam, że jestem bardzo tym zbudowana, bo do takich refleksji dochodzą osoby na dalszych etapach ich rozwoju naukowego... o ile w ogóle kiedyś dochodzą. Jest to dla mnie już pierwszy dowód dojrzałości naukowej doktorantki.

Wstęp merytoryczny, choć krótki, doskonale nakreśla stan wiedzy i podaje co badania doktorantki wniosły do literatury przedmiotu. Następnie autorka sformułowała cztery cele badawcze i postawiła trzy hipotezy dotyczące zastosowania alternatywnych i mniej toksycznych rozpuszczalników, optymalizacji metody

sieciowania żelatyny we włóknach dwuskładnikowych oraz aktywacji powierzchni włókien w celu jej skuteczniejszej funkcjonalizacji.

W rozdziale *Materiały* najpierw opisano polimery i białka stosowane w pracy, następnie rozpuszczalniki takie jak alkohole fluorowane i kwasy organiczne (mrówkowy, octowy) oraz przedstawiono listę pozostałych odczynników.

W rozdziale *Metody* opisano proces elektroprzędzenia w tym zastosowaną aparaturę, metody badań procesu degradacji a raczej wmywania kolagenu z włókien dwuskładnikowych. W tym miejscu doktorantka odniosła się do dwóch swoich prac (publikacja 2: *Biodegradation of bicomponent PCL+gelatin and PCL+collagen nanofibres electrospun from alternative solvent system* opublikowanej w czasopiśmie *Polymer Degradation and Stability* 130, 2016, 10e21 i publikacja 3: *Crosslinking of Gelatin in Bicomponent Electrospun Fibers* opublikowanej w *European Polymer Journal* 104, 2018, 147-156) i przyznała, że termin „biodegradacja” został w tym przypadku użyty niewłaściwie, bo badania prowadzono w środowisku abiotycznym. Dla mnie jest to drugi dowód potwierdzający dojrzałość naukową doktorantki, która potrafi sama zrecenzować swoje wcześniejsze prace i przyznaje się do tego, że gdyby na obecnym etapie pisała te artykuły, to użyłaby bardziej odpowiedniego terminu „degradacja”. W dalszej części opisano metody sieciowania biododatku we włóknach dwuskładnikowych za pomocą genipiny, EDC-NHS, BDDG i transglutaminazy podając jakie reakcje odpowiadają za te procesy. Następnie opisano metody aktywacji powierzchni włókien obejmujące hydrolizę, aktywację plazmą i aminolizę, podkreślając korzyści np. hydrolizy zasadowej względem kwasowej. Opisano też metody wykorzystywane do scharakteryzowania roztworów a potem uzyskanych włókien takie jak: mikroskopia optyczna i elektronowa, kalorymetria różnicowa, szerokokątowa dyfraktometria rentgenowska, spektroskopia w podczerwieni, zwilżalność, chromatografia żelowa, badania mechaniczne i badania komórkowe z wykorzystaniem fibroblastów L929 i HF. W tej części doktorantka nie podawała dokładnych

parametrów w jakich wykonywano badania, co jest uzasadnione, bo przecież znajdowało się w załączonych artykułach, ale wyjaśniała dlaczego właśnie te metody zastosowano. Następnie doktorantka opisała najważniejsze założenia i osiągnięcia swoich prac wchodzących w cykl publikacji.

Z pełnym przekonaniem stwierdzam, że ta część pracy doktorskiej mgr inż. Judyty Dulnik została właściwie zredagowana. Nie znalazłam w niej niedociągnięć czy błędów, które – gdyby się pojawiły – na pewno byłyby w tym miejscu przeze mnie wymienione. Sugerowałabym może tylko zamiast terminu „naprężenie przy zerwaniu” użyć terminu „wytrzymałość na zerwanie” (str. 49).

Teraz chciałabym odnieść się do załączonych artykułów doktorantki, które stanowią cykl publikacji.

W publikacji 1, pt. *Electrospinning and Structure of Bicomponent Polycaprolactone/Gelatin Nanofibers Obtained Using Alternative Solvent System* (International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials, 64(7), 354-364, 2015) doktorantka wykazała, że opracowała mniej toksyczny rozpuszczalnik będący mieszaniną kwasu octowego i mrówkowego do rozpuszczania polikaprolaktonu i żelatyny. Udowodniła, że takie roztwory nadają się do formowania włókien metodą elektroprzędzenia, ale że włókniny te mają inną budowę krystaliczną i mikrostrukturę. Artykuł spotkał się z dużym zainteresowaniem środowiska naukowego, o czym świadczy liczba cytowań wynosząca 60.

W publikacji 2, pt. *Biodegradation of bicomponent PCL/gelatin and PCL/collagen nanofibers electrospun from alternative solvent system* (Polymer Degradation and Stability, 130, 10-21, 2016) doktorantka opisała rezultaty badań własnych nad stabilnością w środowisku wodnym włókien PCL/żelatyna i PCL/kolagen uzyskiwanych z wykorzystaniem dwóch typów rozpuszczalników. Badania wykazały, że szybciej białko ulega wyflukaniu z włókien, które przedzono z roztworów będących mieszaniną kwasu octowego

i mrówkowego niż rozpuszczalnika chlorowanego. Artykuł ten uzyskał aż 107 cytowań.

W publikacji 3 pt. *The effect of a solvent on cellular response to PCL/gelatin and PCL/collagen electrospun nanofibres*, (European Polymer Journal, 104, 147-156, 2018) doktorantka dokładnie scharakteryzowała roztwory polimerów w zależności od rodzaju rozpuszczalnika i dodatku żelatyny/kolagenu i określiła ich wpływ na końcowe właściwości uzyskanych włókien. Wykazała lepszą adhezję i proliferację komórek na włókninach z żelatyną. Praca była cytowana 63 razy.

W publikacji 4 pt. *Crosslinking of gelatin in bicomponent electrospun fibers* (Materials, 14(12), 3391-1-13, 2021) doktorantka skupiła się na procesach sieciowania żelatyny w dwuskładnikowych włóknach na bazie polikaprolaktonu. Dobrała najpierw odpowiednie stężenie alkoholu etylowego aby rozpuścić sieciowniki (EDC/NHS, BDDGE, genipinę) a następnie wykazała, że do tego celu najbardziej nadaje się EDC/NHS, który nie wpływa na morfologię włókien. Pracę zacytowano 14 razy.

W publikacji 5 pt. *Comparative Study of Three Approaches to Fibre's Surface Functionalization* (Journal of Functional Biomaterials, 13(4), 272-1-23, 2022) oceniono wpływ metod aktywacji powierzchniowej elektroprzędzonych włókien z kopolimeru laktydu i kaprolaktonu i wykazano, że poprawia on funkcjonalizację ich powierzchni za pomocą żelatyny. Zmodyfikowane materiały nie były cytotoksyczne względem fibroblastów.

Na końcu doktorantka podsumowała uzyskane wyniki i wyciągnęła wnioski, co świadczy o jej umiejętności syntetycznego spojrzenia na otrzymane rezultaty. W dysertacji znalazł się jeszcze jeden rozdział, w którym doktorantka podkreśliła jakie elementy w jej pracy stanowią oryginalny wkład w literaturę przedmiotu. Tym samym wyręczyła recenzenta z tego obowiązku. Muszę jednak przyznać, że w pełni zgadzam się z opinią doktorantki w tym względzie.

Studiując dysertację nasunęły mi się dwa pytania do dyskusji w czasie publicznej obrony:

1. Czy na sfunkcjonalizowanych powierzchniowo włókninach z polikaprolaktonu i innych poliestrów alifatycznych można byłoby immobilizować inne białka lub związki biologicznie aktywne?
2. Czy doktorantka planuje prowadzenie kolejnych badań opracowanych przez nią biomateriałów? W jakich zastosowaniach materiały te mogłyby być w przyszłości użyte?

Stwierdzam, że dysertacja doktorska pani mgr inż. Judyty Dulnik pt. *"Biodegradowalne dwuskładnikowe materiały polimerowe formowane metodą elektroprzędzenia – wpływ rozpuszczalnika, sieciowania i funkcjonalizacji na wybrane właściwości i odpowiedź komórkową"* bardzo dobrze wpisuje się w dyscyplinę inżynieria materiałowa, gdyż dotyczy opracowania metody otrzymywania nowych typów dwuskładnikowych włóknin oraz poszukiwania korelacji pomiędzy ich budową i właściwościami w kontekście zastosowań medycznych. Dysertacja spełnia też wymagania stawiane rozprawom doktorskim wg. Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. poz. 1669, z późn. zm.), gdyż prezentuje ogólną wiedzę kandydatki w dyscyplinie inżynieria materiałowa, wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia przez nią pracy naukowej a ponadto stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

W związku z powyższym wnoszę o przyjęcie rozprawy doktorskiej oraz dopuszczenie pani mgr inż. Judyty Dulnik do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.

Biorąc pod uwagę: (1) kompleksowe podejście doktorantki do tematu oraz końcowy efekt polegający na opracowaniu sposobu otrzymywania dwuskładnikowych włókien metodą elektroprzędzenia wzbogaconych w czynnik wspierający adhezję komórek (kolagen, żelatynę); (2) opublikowanie wyników w bardzo dobrych czasopismach; (3) oddźwięk w środowisku naukowym objawiający się bardzo dużą liczbą cytowań; (4) realizację prac w ramach projektów finansowanych w drodze konkursów NCN, przy czym w jednym z nich pełniła funkcję kierownika; (5) upowszechnianie swoich wyników na konferencjach; (6) wzorowe zredagowanie pracy - wnoszę o wyróżnienie rozprawy.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'E. Perse'.