
ZAŁĄCZNIK 3

Autoreferat

Spis treści

1. Kwestionariusz osobowy	3
2. Informacje o zatrudnieniu w jednostkach naukowych	4
3. Wskazanie osiągnięcia naukowego	4
3.1. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników	7
3.1.1. Wprowadzenie	7
3.1.2. Cel naukowy	9
3.1.3. Szczegółowe omówienie prowadzonych badań i osiągniętych rezultatów	11
3.1.4. Podsumowanie	24
3.1.5. Omówienie dalszych perspektyw i pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	25
3.1.6. Literatura	26
4. Informacje potwierdzające wykazywanie się istotną aktywnością naukową w więcej niż jednej instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej	27
5. Osiągnięcia dydaktyczne, organizacyjne oraz popularyzujące naukę	30
5.1. Działalność dydaktyczna	30
5.2. Działalność organizacyjna	35
5.3. Działalność związana z popularyzacją nauki	36
6. Inne istotne informacje dotyczące kariery zawodowej	38
6.1. Uzyskane nagrody i stypendia	38
6.2. Udział w szkoleniach i warsztatach	40
6.3. Dane naukometryczne	40

1. Kwestionariusz osobowy

Dane osobowe

Imię i nazwisko: **Monika Dobrzyńska-Mizera**

Data urodzenia:

ORCID: 0000-0

Scopus: 559275

Web of Science:

PBN: 5e7093a9

Posiadane stopnie naukowe

Doktor nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria materiałowa

Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Politechnika Poznańska, **24.11.2017 r.**

Tytuł rozprawy: Struktura i właściwości izotaktycznego polipropylenu modyfikowanego żywicą siloksanowo-silsekwioksanową i pochodnymi sorbitoli

Promotor: prof. dr hab. inż. Tomasz Sterzyński

Promotor pomocniczy: dr Maria Laura Di Lorenzo

Posiadane tytuły zawodowe

Magister inżynier uzyskany na kierunku Mechanika i Budowa Maszyn

Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Politechnika Poznańska, 2012 r.

Promotor: prof. dr hab. inż. Tomasz Sterzyński

Inżynier uzyskany na kierunku Inżynieria Materiałowa

Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Politechnika Poznańska, 2011 r.

Promotor: prof. dr hab. inż. Andrzej Młynarczak

2. Informacje o zatrudnieniu w jednostkach naukowych

2019 – nadal	Adiunkt badawczo-dydaktyczny w Zakładzie Tworzyw Sztucznych Instytutu Technologii Materiałowej Politechniki Poznańskiej
2015 – 2019	Asystent badawczo-dydaktyczny w Zakładzie Tworzyw Sztucznych Instytutu Technologii Materiałowej Politechniki Poznańskiej
2012 – 2015	Doktorantka w Zakładzie Tworzyw Sztucznych Instytutu Technologii Materiałowej Politechniki Poznańskiej

W okresie od 13 listopada 2017 r. do 11 stycznia 2019 r. przebywałam na urlopie macierzyńskim.

3. Wskazanie osiągnięcia naukowego

Osiągnięciem naukowym wynikającym z art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) jest:

cykl powiązanych tematycznie artykułów naukowych pod zbiorczą nazwą: „Struktura i właściwości termoplastycznych i termowrażliwych kompozytów polimerowych do zastosowań w przemyśle opakowaniowym i medycznym” opublikowanych w czasopismach naukowych, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 kryteria ewaluacji jakości działalności naukowej ust. 2 pkt 2 lit. b.

Na osiągnięcie naukowe składa się monotematyczny cykl 9 publikacji, poz. A1 – A9, o sumarycznym wskaźniku Impact Factor wynoszącym 42,7 oraz łącznej liczbie punktów MNiSW wynoszącej 1010. Oba wskaźniki liczone wg notowań na rok publikacji odpowiednich artykułów. **Udział własny poszczególnych autorów (oświadczenia) wraz z pełnymi tekstami prac przedstawiono w załączniku 5 i udostępniono na zewnętrznym nośniku pamięci dołączonym do dokumentacji.** Prace zostały opublikowane w latach 2020 - 2024. We wszystkich artykułach jestem pierwszą autorką i/lub autorką korespondencyjną.

[A1] **M. Dobrzyńska-Mizera***, M. Knitter, D. Szymanowska, S. Mallardo, G. Santagata, M.L. Di Lorenzo, *Optical, mechanical, and antimicrobial properties of bio-based composites of poly(L-lactic acid) and D-limonene/β-cyclodextrin inclusion complex*, Journal of Applied Polymer Science 2022, e52177.

(IF 3,0; 70 pkt. MNiSW; kwartył Q2 (68) w kategorii “Materials Science: polymers and plastics”)

[A2] **M. Dobrzyńska-Mizera***, M. Knitter, S. Mallardo, M.C. Del Barone, G. Santagata, M.L. Di Lorenzo, *Thermal and Thermo-Mechanical Properties of Poly(L-lactic Acid) Biocomposites Containing β-Cyclodextrin/D-Limonene Inclusion Complex*, Materials 2021, 14, 2569.

(IF 3,7; 140 pkt. MNiSW; kwartył Q2 (67) w kategorii “Materials Science: general materials science”)

[A3] **M. Dobrzyńska-Mizera***, M. Knitter, M. Piss, D. Szymanowska, S. Mallardo, G. Santagata, M.L. Di Lorenzo*, *Linear low-density polyethylene modified with D-limonene/β-cyclodextrin inclusion complex: Antimicrobial composite for active food packaging*, Polymer Engineering and Science 2023, 1-10.

(IF 3,2; 70 pkt. MNiSW; kwartył Q2 (64) w kategorii “Materials Science: polymers and plastics”; *artykuł wyróżniony odznaką SPE Polymer Engineering and Science Editors Choice* (<https://bcert.me/syqiofqhx>))

[A4] **M. Dobrzyńska-Mizera***, M. Knitter, M. Piss, C. Del Barone, S. Mallardo, G. Santagata, M.L. Di Lorenzo*, *Thermal and Morphological Analysis of Linear Low-Density Polyethylene Composites Containing D-limonene/β-cyclodextrin for Active Food Packaging*, Molecules 2023, 28, 3.

(IF 4,2; 140 pkt. MNiSW; kwartył Q1 (81) w kategorii “Chemistry: Organic chemistry”)

[A5] **M. Dobrzyńska-Mizera***, M. Knitter, A. Woźniak-Braszak, M. Baranowski, T. Sterzyński, M.L. Di Lorenzo, *Poly(L-Lactic Acid)/Pine Wood Bio-Based Composites*, Materials 2020, 13(17), 3776.

(IF 3,6; 140 pkt. MNiSW; kwartył Q2 (67) w kategorii “Materials Science: general materials science”)

[A6] S. Shakooryjavan, **M. Dobrzyńska-Mizera***, S. Akbari*, T. Sterzyński, *Thermal and mechanical properties of aminolyzed-poly(lactic acid) with amine-terminated dendritic polymer: Surface and bulk functionalization*, Polymer Engineering and Science 2024, 1-10.

(IF 3,2; 70 pkt. MNiSW; kwartył Q2 (64) w kategorii “Materials Science: polymers and plastics”)

[A7] S. Targońska, **M. Dobrzyńska-Mizera***, M. Wujczyk, J. Rewak-Soroczynska, M. Knitter, K. Dopierala, J. Andrzejewski, R.J. Wiglusz*, *New way to obtain the poly(L-lactide-co-D,L-lactide) blend filled with nanohydroxyapatite as biomaterial for 3D-printed bone-reconstruction implants*, European Polymer Journal 2022, 165, 110997.

(IF 6,0; 100 pkt. MNiSW; kwartył Q1 (87) w kategorii “Materials Science: polymers and plastics”)

[A8] **M. Dobrzyńska-Mizera**, M. Knitter, M. Kamińska, D. Szymanowska, A. Sobczyk-Guzenda, S. Różańska, J. Różański, M. Mikulski, M. Muzalewska, M. Wyleżół, M. Smuga-Kogut, Z. Modrzejewska i M. L. Di Lorenzo, *Thermosensitive hydrogel doped with osteoconductive fillers for the treatment of periodontitis periapicalis chronica: from synthesis to clinical trial*, Biomaterials Science 2024, 12, 6063 - 6081.

(IF 5,8; 140 pkt. MNiSW; kwartył Q1 (86) w kategorii “General Materials Science” oraz (89) w kategorii “Biomedical Engineering”)

[A9] **M. Dobrzyńska-Mizera**, J.M. Dodda*, X. Liu, M. Knitter, R.N. Oosterbeek, P. Salinas, E. Pozo, A.M. Ferreira, R. Sadiku, *Engineering of bioresorbable polymers for tissue engineering and drug delivery applications*, Advanced Healthcare Materials 2024, 2401674.

(IF10; 140 pkt. MNiSW; kwartył Q1 (90) w kategorii “Materials Science: biomaterials”)

Objaśnienia symboli:

A – artykuł naukowy opublikowany w czasopiśmie uwzględnionym w wykazie czasopism naukowych, opublikowanym przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, posiadający Impact Factor i znajdujący się w bazie JCR, **MNiSW** – Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, **IF** – Impact Factor czasopisma z roku opublikowania artykułu, ***** – oznaczenie autora korespondencyjnego, **Q** – oznaczenia kwartyli dokonano na podstawie informacji z bazy Scopus (dzień dostępu: 29.12.2024 r.).

3.1. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników

3.1.1. Wprowadzenie

Za znaczące osiągnięcie naukowe po uzyskaniu stopnia doktora uważam doświadczalną analizę modyfikacji termoplastycznych i termowrażliwych kompozytów polimerowych w kierunku zmian ich właściwości mechanicznych, termicznych, strukturalnych, optycznych i antybakteryjnych, pod kątem możliwości aplikacji w przemyśle opakowaniowym i medycznym.

Systemy opakowaniowe najczęściej wytwarzane są z poliolefin, głównie polietylenu (PE) i polipropylenu (PP) ze względu na ich doskonałe właściwości przetwórcze, optyczne, barierowe i mechaniczne^{1,2}. Niespełna połowa dostępnych na rynku opakowań z tworzyw sztucznych jest wykonywana z polietylenu, najczęściej polietylenu o wysokiej (HDPE) lub niskiej gęstości (LDPE) czy liniowego polietylenu o niskiej gęstości (LLDPE)³⁻⁶. Liniowy polietylen o niskiej gęstości jest najczęściej używany do produkcji jednorazowych toreb, tac, folii rolniczych oraz opakowań przemysłowych i konsumenckich, w tym folii termokurczliwych i *stretch*, a także pojemników na żywność i specjalistycznych opakowań⁷. LLDPE stanowi unikalne połączenie wytrzymałości, odporności na rozdarcia, łatwości przetwarzania oraz niskiej temperatury topnienia. Jednak, nowoczesne systemy opakowaniowe wymagają stosowania modyfikowanych kompozycji polimerowych o polepszonych właściwościach biobójczych, mechanicznych czy użytkowych, stąd innowacje w sektorze opakowań spożywczych polegają na rozwoju aktywnych folii opakowaniowych modyfikowanych substancjami naturalnymi⁸⁻¹⁰. Dodatek modyfikatorów tego rodzaju ma na celu wydłużenie okresu trwałości zapakowanej żywności przy jednoczesnym utrzymaniu jakości oraz bezpieczeństwa produktu. Środek aktywny mikrobiologicznie może być umieszczony w saszetce i wprowadzony do wnętrza opakowania, a następnie uwalniać lotne związki przeciwdrobnoustrojowe bez bezpośredniego kontaktu z produktem żywnościowym. Jednak, najnowocześniejsze technologie opakowań aktywnych skupiają się na wprowadzaniu różnorodnych związków przeciwdrobnoustrojowych bezpośrednio do osnowy polimerowej¹¹⁻¹³.

W świetle nowych regulacji Unii Europejskiej w połączeniu z coraz większą świadomością problemów środowiskowych promujących postęp w zakresie zrównoważonego rozwoju i ochrony środowiska obserwuje się wzrost zainteresowania alternatywnymi, bardziej ekologicznymi materiałami opakowaniowymi. Zatem, w obliczu prowadzonej obecnie polityki

pilną kwestią stała się substytucja matryc polimerowych, takich jak poliolefiny, pozyskiwanych ze źródeł nieodnawialnych materiałami zrównoważonymi³. Najbardziej obiecującym tworzywem biodegradowalnym w kontekście wytwarzania ekologicznych wyrobów opakowaniowych, również opakowań aktywnych, jest polilaktyd (PLA)^{3,14,15}. Materiał ten wytwarzany jest z surowców odnawialnych (kukurydzy), a podczas jego produkcji konsumowane są znaczne ilości dwutlenku węgla. Jego ważną cechą jest to, że poddaje się recyklingowi i jest on kompostowalny. Jego stosowanie przyczynia się do rozwoju gospodarki rolnej, a właściwości fizyczne i mechaniczne PLA mogą być kontrolowane poprzez zmiany struktury polimeru^{14,16,17}. Modyfikacje polilaktydu przeznaczonego do kontaktu z żywnością prowadzone są w kierunku polepszenia właściwości mechanicznych (plastyfikacja), antybakteryjnych poprzez dodawanie różnego rodzaju środków biobójczych, strukturalnych (nukleacja) czy biodegradowalności poprzez wprowadzanie wypełniaczy naturalnych, w tym lignocelulozowych¹⁸⁻²². Obecnie największym wyzwaniem jest odpowiedni dobór składu kompozycji tak, by właściwości fizykomechaniczne PLA można było uznać za porównywalne z powszechnie stosowanymi tworzywami wytwarzanymi ze źródeł kopalnych. **Stąd prowadzone przeze mnie wraz z zespołem prace badawcze wpisują się zarówno w potrzeby stale rozwijającej się gałęzi opakowań aktywnych na bazie biostabilnych poliolefin, jak i poszukiwania materiałów alternatywnych o ograniczonym szkodliwym oddziaływaniu na środowisko naturalne oraz zapewnienia satysfakcjonujących właściwości użytkowych, jak i efektywności ekonomicznej wyrobów z nich wykonanych.**

Polilaktyd, oprócz wyżej opisanych cech, zaliczany jest do tworzyw resorbowalnych, tzn. że ulega naturalnemu rozkładowi w organizmie człowieka do nieszkodliwego kwasu mlekowego, który jest metabolizowany i wydalany. Jest też materiałem biokompatybilnym, co oznacza, że nie wywołuje silnych reakcji zapalnych ani toksycznych w kontakcie z tkankami ludzkimi. Cechy te sprawiają, że tworzywo to jest doskonałą propozycją nie tylko do zastosowań w przemyśle opakowaniowym, ale także medycznym²³⁻²⁵. **Wykorzystując dotychczas zgromadzone doświadczenia związane z przetwarzaniem i modyfikacją polilaktydu podjęłam próbę wytworzenia termoplastycznych kompozycji na bazie polilaktydu do zastosowań medycznych.** Pomimo pozytywnych cech jakie wykazuje polilaktyd w kontakcie z ciałem ludzkim wymagana jest jego dalsza modyfikacja, by sprostać wymaganiom stawianym materiałom stosowanym w medycynie²⁶⁻²⁹. **Stąd podjęłam prace mające na celu opracowanie technologii wytwarzania nowych materiałów na bazie funkcjonalizowanego polilaktydu.**

Najsilniej rozwijającą się gałęzią medyczną, w której stosuje się polilaktyd jest inżynieria tkankowa, w szczególności w kontekście odbudowy ubytków kostnych. Zazwyczaj takie defekty powstają na skutek urazów, stanów patologicznych toczących się w organizmie czy resekcji guzów nowotworowych. Obecnie ubytki uzupełniane są kością własną pobraną od pacjenta (przeszczepy autogenne), tkanką kostną pobraną od dawców (allografty) lub tkanką kostną pobraną od osobników należących do innego gatunku niż biorca (ksenografty). Każda z opisanych technik wykazuje określone zalety, ale ze względu na ich liczne wady, istnieje potrzeba rozwoju alternatywnych materiałów implantologicznych, do których należą syntetyczne biomateriały (alloplasty)³⁰⁻³³. Sztuczne substytuty kości przynoszą ogromne korzyści zarówno pacjentom, jak i lekarzom, z tego względu, że mogą być personalizowane (dostosowywane do anatomicznych struktur pacjentów), bioresorbowalne oraz indukować odbudowę kości. Takie podejście pozwala na poprawę procesów regeneracji i rekonstrukcji przy jednoczesnym znacznym skróceniu czasu operacji. **Efektem prowadzonych wraz z zespołem prac jest wprowadzenie do osnowy polimerowej napelniaczy o właściwościach antybakteryjnych (dodatek poliamidoamin) i osteokonduktywnych (dodatek hydroksyapatytu) jako materiałów o największym potencjale wdrożeniowym.**

Jednak odbudowa nie wszystkich ubytków kostnych może być realizowana z zastosowaniem sztywnych, termoplastycznych implantów na bazie polilaktydu, wymagających odpowiedniej konstrukcji i zapewnienia możliwości fiksacji. W przypadku mniejszych ubytków o nieregularnym kształcie i trudnym dostępie wymagane jest opracowanie innego, nowego rozwiązania. Obecnie rekonstrukcja ubytków tego rodzaju realizowana jest poprzez wykonywanie zabiegów implantacyjnych z wykorzystaniem materiałów osteokondukcyjnych w postaci proszków i past, jednak ich stosowanie jest niepraktyczne ze względu na utrudnione utrzymanie materiału w miejscu implantacji³⁴. W przypadku past hydraulicznych ulegających sieciowaniu w kontakcie z płynami ustrojowymi pacjenta, dodatkowym utrudnieniem jest krótki czas ich utwardzania. **W związku z powyższym wraz z zespołem podjęłam prace mające na celu opracowanie technologii wytwarzania nowych termowrażliwych materiałów do nieinwazyjnej rekonstrukcji ubytków kostnych metodą iniekcji.**

3.1.2. Cel naukowy

Możliwość kształtowania cech użytkowych oraz funkcjonalnych termoplastycznych i termowrażliwych kompozytów polimerowych poprzez wprowadzanie do nich różnego typu

modyfikatorów stanowiło podstawę do podjęcia prac naukowych przedstawionych w niniejszym autoreferacie.

Celem naukowym przeprowadzonych badań było poszerzenie wiedzy dotyczącej technologii wytwarzania i właściwości nowych materiałów kompozytowych na bazie polilaktydu, polietylenu i chitozanu modyfikowanych zarówno cząstkami organicznymi jak i nieorganicznymi, a także głęboka analiza nowej wiedzy materiałowej mająca na celu wytypowanie spośród nich materiałów o najkorzystniejszych właściwościach użytkowych do zastosowań w przemyśle opakowaniowym i medycznym.

Dla realizacji założeń zdefiniowanych w celu naukowym przeprowadzono badania obejmujące ocenę właściwości kompozytów polimerowych funkcjonalizowanych różnego typu modyfikatorami w tym: kompleksem inkluzyjnym, cząstkami drewna sosnowego, dendrymerami oraz hydroksyapatytem. Analizowano możliwości wprowadzania tych napełniaczy do osnowy polimerowej oraz sposoby jej kształtowania z zastosowaniem technologii wyłaczania współbieżnego, wylewania, prasowania i mieszania fizycznego. Dla wprowadzonych do osnowy polimerowej dodatków wytypowano ich optymalną zawartość w odniesieniu do uzyskanych zmian struktury oraz właściwości fizykochemicznych, mechanicznych i termicznych, jednocześnie uwzględniając wpływ zastosowanej technologii przetwarzania. Przedstawione wyniki prac doświadczalnych podzielono na dwa poddziałania badawcze obejmujące technologie wytwarzania i ocenę właściwości kompozytów na bazie polilaktydu i polietylenu modyfikowanych kompleksem inkluzyjnym i cząstkami drewna do zastosowań w przemyśle opakowaniowym (**D1**) oraz kompozytów na bazie polilaktydu i chitozanu modyfikowanych dendrymerami i hydroksyapatytem do zastosowań w przemyśle medycznym (**D2**). W ramach **poddziałania D1** wytworzono kompozyty modyfikowane kompleksem inkluzyjnym β -cyklodekstryny i D-limonenu w celu wytworzenia antybakteryjnych folii opakowaniowych. Jako matrycę polimerową zastosowano biodegradowalny polilaktyd i powszechnie stosowany w opakowaniach polietylen. Wytworzono również kompozyty polilaktydowe modyfikowane cząstkami drewna, w tym funkcjonalizowanymi powierzchniowo, celem oceny możliwości ich stosowania do modyfikacji polimerów biodegradowalnych. Przeanalizowano to, jak zawartość poszczególnych składników wpływa na strukturę i właściwości użytkowe uzyskanych materiałów oraz wytypowano najkorzystniejsze z aplikacyjnego punktu widzenia formułacje. W ramach **poddziałania D2** wytworzono kompozyty, na bazie polilaktydu modyfikowane dendrymerami oraz cząstkami hydroksyapatytu, przeznaczone do stosowania w branży medycznej, ze szczególnym uwzględnieniem zastosowań w inżynierii tkankowej. Wytworzono

również termowrażliwe hydrożele chitozanowe napełniane cząstkami polilaktydu oraz hydroksyapatytu do rekonstrukcji ubytków kostnych o trudnodostępnej, skomplikowanej geometrii. Celem podsumowania doświadczeń związanych z wytwarzaniem i stosowaniem polimerowych materiałów bioresorbowalnych w różnych dziedzinach medycyny przygotowano artykuł przeglądowy, w którym opisano ich zastosowanie w inżynierii regeneracyjnej oraz systemach dostarczania leków.

3.1.3. Szczegółowe omówienie prowadzonych badań i osiągniętych rezultatów

Pierwsza część prac nad materiałami kompozytowymi w ramach poddziałania D1 jest rezultatem realizacji projektu naukowego Preludium (NCN) zatytułowanego „Biodegradowalne kompozyty na bazie polilaktydu o polepszonych właściwościach antybakteryjnych” wykonanym pod moim kierownictwem [A1 – A4]. Głównym celem badawczym projektu było wytworzenie nowych, antybakteryjnych i biodegradowalnych systemów polimerowych poprzez zdyspergowanie modyfikatora w postaci limonenu zamkniętego we wnętrzach cyklodekstryn w matrycy polilaktydu oraz ocena właściwości fizycznych i chemicznych uzyskanych materiałów. Szczególną uwagę poświęcono badaniom oddziaływań występujących między matrycą polimerową a dodatkami oraz ich wpływowi na właściwości strukturalne, termiczne, mechaniczne, optyczne i antybakteryjne PLA. W pracach A1 i A2 opisano sposób wytwarzania modyfikatora, tj. związku inkluzyjnego na bazie D-limonenu i β -cyklodekstryny (CD-lim), metodą strącania. D-limonen jest naturalnym olejkiem aromatycznym występującym w skórkach owoców cytrusowych, takich jak cytryny, mandarynki czy pomarańcze, wykazującym właściwości antybakteryjne przeciwko drobnoustrojom występującym w żywności. Wprowadzanie D-limonenu do osnowy polimerowej jest trudne technologicznie, dlatego że jego temperatura wrzenia jest znacznie niższa od temperatury topnienia większości tworzyw termoplastycznych. Z tego względu zaproponowano zamknięcie molekuł D-limonenu w klatkach cyklodekstryn zwiększając stabilność termiczną związku, co potwierdzono w badaniach termogravimetrycznych rejestrując początek rozkładu CD-lim w temperaturze ok. 300°C. Pozwoliło to na jego wprowadzenie do osnowy polimerowej na drodze mieszania w stanie stopionym, tj. wytlaczania współbieżnego. Wytworzono kompozyty na bazie polilaktydu o zawartości 0, 20 i 30 %wag CD-lim, a następnie kształtowano je metodą prasowania do postaci folii i płytek.

W **pracy A1** opisano wpływ zastosowanego dodatku na zmianę przepuszczalności pary wodnej, chłonności wody, połysku, zamglenia, koloru, barierowości dla światła widzialnego

oraz w zakresie UV, właściwości mechanicznych i antybakteryjnych. W toku badań wykazano, że dodatek CD-lim powoduje wzrost wartości zamglenia (z 20% dla czystego polilaktydu do 80% dla maksymalnej zawartości modyfikatora) oraz spadek wartości połysku (z 10,5 GU do 7 GU). W oparciu o badania UV-vis stwierdzono, że modyfikacja matrycy polilaktydowej dodatkiem CD-lim skutkuje wzrostem barierowości wobec światła zarówno widzialnego jak i ultrafioletowego, szczególnie w zakresie UV (250 – 350 nm). Jest to istotne w przypadku opakowań stosowanych do pakowania żywności zawierającej tłuszcze, dlatego że przenikające światło UV przyspiesza ich utlenianie, co niekorzystnie wpływa na jakość, smak, wygląd i okres przydatności do spożycia zapakowanego produktu. Analiza wskaźników całkowitej różnicy koloru (ΔE) oraz żółtości (YID) wykazała, że kompozyty PLA/CD-lim charakteryzują się odmienną, bardziej zażółconą barwą w porównaniu do próbki referencyjnej. Badania przepuszczalności pary wodnej oraz chłonności wykazały zwiększone wartości tych parametrów dla kompozytów, co jest spodziewanym efektem ze względu na hydrofilową naturę cyklodekstryny charakteryzującą się występowaniem dużej ilości grup hydroksylowych zdolnych do reakcji z cząstkami wody. Na podstawie wyników badań statycznej próby rozciągania stwierdzono brak wpływu zastosowanej modyfikacji na sztywność i wytrzymałość na rozciąganie wytworzonych kompozytów. Zaobserwowano jednak zmniejszenie wartości wydłużenia przy zerwaniu z $5 \pm 1\%$ dla czystej matrycy polimerowej do $1,3 \pm 0,1\%$ dla kompozytu PLA/30CD-lim. Do badań antybakteryjnych wytypowano 20 najczęściej występujących w żywności szczepów bakterii z grupy gram-dodatnich i gram-ujemnych oraz grzybów, tak by umożliwić ocenę przydatności wytworzonych kompozytów jako biobójcze materiały opakowaniowe. Badania wykonano metodą studzienkową rejestrując wielkość strefy zahamowania w funkcji ilości napelnacza. Formulacje zawierające 30% wag. CD-lim wykazały najintensywniejsze działanie antybakteryjne szczególnie wobec szczepów bakterii gram-dodatnich, takich jak *Listeria monocytogenes* (13 ± 2), *Staphylococcus aureus* (9 ± 1) czy *Enterococcus faecalis* (7 ± 1) oraz wybranych szczepów grzybów (*Fusarium spp.* (9 ± 1), *Aspergillus spp.* (8 ± 1), *Mucor spp.* (8 ± 1) czy *Saccharomyces cerevisiae* (8 ± 1)). Zarejestrowane wyniki są tym bardziej istotne, że *Listeria monocytogenes* jest jednym z najgroźniejszych patogenów przenoszonych przez żywność, również w warunkach chłodniczych i stanowi czynnik etiologiczny listeriozy.

W pracy A2 zawarto opis struktury, morfologii, właściwości termicznych oraz termomechanicznych wytworzonych materiałów PLA/CD-lim. Analiza krzywych kalorymetrycznych DSC zarejestrowanych podczas pierwszego grzania wykazała, że D-limonen (w ilości ok. 1,5 %wag.) wydobywa się z klatek cyklodekstryn w czasie

przetwarzania i pozostaje rozproszony w matrycy polilaktydu powodując jego plastyfikację, co potwierdzają obniżone wartości temperatury zeszklenia odnotowane dla kompozytów PLA/CD-lim. Obliczenie ilości D-limonenu rozmieszczonego w matrycy polimerowej było możliwe poprzez analizę pola powierzchni endotermii powstałej na skutek odparowywania składnika podczas ogrzewania próbek w piecu kalorymetru różnicowego. Plastyfikacja osnowy polimerowej powoduje również przesunięcie procesów zimnej krystalizacji oraz topnienia fazy krystalicznej w kierunku niższych temperatur. Ocena krzywych kalorymetrycznych zarejestrowanych podczas drugiego grzania próbek potwierdziła całkowite odparowanie rozproszonego w matrycy olejku eterycznego. Mimo to, odnotowano przesunięcie procesów zimnej krystalizacji i topnienia fazy krystalicznej potwierdzając, że cyklodekstryna również promuje krystalizację polilaktydu. Wyniki badań dynamicznej analizy mechanicznej potwierdzają opisane wyżej rezultaty. Stwierdzono plastyfikację osnowy polimerowej oraz przesunięcie procesu zimnej krystalizacji w kierunku niższych temperatur dla materiałów modyfikowanych kompleksem inkluzyjnym. Natomiast w badaniach statycznego rozciągania odnotowano brak znaczących zmian sztywności badanych materiałów. Badania skaningowej mikroskopii elektronowej SEM potwierdziły jednorodne rozprowadzenie modyfikatora w objętości matrycy polimerowej oraz nieznaczną jego aglomeryzację. W porównaniu z próbką referencyjną dodatek spowodował również przesunięcie początku degradacji badanych kompozytów w kierunku niższych temperatur.

Opisane wyżej wyniki prac dowodzą możliwości wytworzenia biodegradowalnych kompozytów PLA/CD-lim na drodze wytłaczania współbieżnego przeznaczonych do stosowania w opakownictwie jako folie antybakteryjne. Enkapsulacja D-limonenu we wnętrzach cyklodekstryn okazała się skutecznym sposobem na zwiększenie stabilności termicznej olejku eterycznego oraz zmianę jego stanu skupienia z postaci ciekłej w stałą, co pozwoliło na jednorodne zdyspergowanie wytworzonego związku inkluzyjnego w osnowie polilaktydowej. Uzyskane materiały wykazały właściwości mechaniczne i użytkowe odpowiadające zaproponowanej aplikacji. Co jednak najważniejsze, udowodniono że wytworzone kompozyty wykazują właściwości antybakteryjne wobec szczepów bakterii najczęściej występujących w żywności. **Takie kompozycje nie zostały dotąd opisane w literaturze.** Zaproponowane nowe materiały spełniły założenia podjęte w toku realizacji projektu Preludium. Celem rozszerzenia możliwości aplikacyjnych związku inkluzyjnego wytworzono kompozycje na bazie niskotopliwej matrycy, tj. liniowego polietylenu niskiej gęstości (LLDPE) i oceniono ich właściwości zgodnie z wcześniej opracowanym programem badawczym. Niska temperatura topnienia zastosowanego w pracy tworzywa Dowlex 2045G

(119°C) pozwoliła na modyfikację stosowanego wcześniej dla kompozytów PLA/CD-lim profilu temperaturowego w układzie uplastyczniającym wylączarki dwuślimakowej. Ograniczono jego temperaturę do 160°C i przeprowadzano mieszanie kompozytów PE/CD-lim w stanie stopionym. Ostateczny kształt próbek badawczych, o zawartości napełniacza równiej 0, 20 i 30 %wag. uzyskano metodą prasowania. Uzyskane folie o grubości 150 µm oraz płytki o grubości 2 mm poddano badaniom, a ich wyniki przedstawiono w **pracach A3 i A4**.

Kompozyty PE/CD-lim poddano badaniom zgodnie z planem opracowanym dla kompozytów PLA/CD-lim. Wyniki badań użytkowych, w tym chłonności, połysku, zamglenia, barierowości UV-vis, właściwości mechanicznych i antybakteryjnych, przedstawiono w **pracy A3. Artykuł został wyróżniony odznaką SPE Polymer Engineering and Science Editors Choice** (<https://bcert.me/syqiofqhx>). W wyniku wprowadzenia dodatku CD-lim odnotowano wzrost wartości chłonności i połysku, co jest często obserwowane w przypadku matryc polimerowych modyfikowanych hydrofilowymi napełniaczami. Co ciekawe, wprowadzenie związku inkluzyjnego do osnowy polimerowej spowodowało znaczne obniżenie wartości zamglenia matrycy polietylenowej z 75% do 32% dla kompozycji PE/30CD-lim. Zależność tę potwierdzono również w badaniach UV-vis, dla których zauważono wzrost transmitacji przy długości fali 600 nm z 29% do 89% dla największej zawartości napełniacza. Oba trendy wskazują na zwiększenie przezroczystości matrycy polimerowej po modyfikacji. Analiza krzywych UV-vis zarejestrowanych w trybie absorbancji potwierdziła działanie blokujące modyfikatora dla promieni światła w zakresie UV, podobnie jak w przypadku kompozytów PLA/CD-lim. W wyniku wprowadzenia CD-lim uzyskano również nieznaczne zwiększenie sztywności badanych kompozytów (z 222 MPa dla czystego polietylenu do 315 MPa dla kompozycji PE/30CD-lim) oraz zmniejszenie wartości wydłużenia przy zerwaniu (z 850% do 790% dla tych samych kompozycji). Wytrzymałość na rozciąganie pozostała niezmienną. Co najistotniejsze z aplikacyjnego punktu widzenia, badane kompozyty wykazały polepszone właściwości antybakteryjne, szczególnie przeciwko bakteriom gram-dodatnim, takim jak *Listeria monocytogenes* (9 ± 1), *Staphylococcus aureus* (9 ± 1) czy *Streptococcus thermophilus* (9 ± 1) oraz wybranym szczepom grzybów (*Fusarium spp.* (7 ± 1), *Aspergillus spp.* (7 ± 1) czy *Mucor spp.* (7 ± 1)).

Wyniki badań morfologicznych, strukturalnych i termicznych kompozytów PE/CD-lim przedstawiono w **pracy A4**. Mikrofotografie przełamów próbek zarejestrowano z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego. Wykazano jednorodne rozmieszczenie napełniacza w osnowie polietylenu, a jego wielkość oszacowano na 5-10 µm, tym samym potwierdzono jego aglomerację. W przypadku kompozycji składających się

z hydrofilowego napełniacza i hydrofobowej osnowy polimerowej spodziewanym efektem jest uzyskanie ograniczonej adhezji na granicy faz napełniacz/matryca. Jednak obserwacja przełomów uwiarydlała cząstki CD-lim ściśle związane z matrycą polimerową, co świadczy o polepszonej adhezji między nimi. Może być to skutkiem efektu plastyfikacji matrycy polietylenowej niewielką ilością D-limonenu, która przedostała się do matrycy w procesie mieszania w stanie stopionym. Analiza widm zarejestrowanych metodą FTIR potwierdziła, że D-limonen został skutecznie wprowadzony do klatek cyklodekstryny, a następnie do matrycy polietylenowej na drodze mieszania w stanie stopionym. Ocena krzywych termograwimetrycznych pozwoliła na oszacowanie ilości D-limonenu obecnego w matrycy polietylenowej (1,1% i 1,8% dla kompozytów PE/20CD-lim i PE/30CD-lim). Obliczone teoretyczne zawartości D-limonenu w badanych kompozytach wynoszą odpowiednio 1,4% i 2,1%, co oznacza że tylko nieznaczne ilości olejku eterycznego odparowały w procesie przetwarzania materiału w stanie stopionym. W badaniach DSC udowodniono, że dodatek CD-lim wykazuje właściwości nukleujące (wzrost ilości fazy krystalicznej z 54% dla polietylenu do wartości 60-64% dla kompozytów). Obserwacje te potwierdzono analizując krzywe kalorymetryczne zarejestrowane podczas chłodzenia próbek, w przypadku których krystalizacja kompozytów PE/CD-lim została przesunięta w kierunku wyższych temperatur sugerując, że obecność cyklodekstryny przyspiesza krystalizację polietylenu.

Opisane w publikacjach A3 i A4 wyniki badań wskazują, że możliwe jest wytworzenie elastycznych, antybakteryjnych folii opakowaniowych na bazie polietylenu modyfikowanego związkiem inkluzyjnym. Jak dotąd, takie formułacje nie zostały opisane w literaturze. Wytworzone folie charakteryzują się zmniejszonymi wartościami zamglenia oraz barierowością wobec światła w zakresie UV, co jest szczególnie istotne w przypadku opakowań spożywczych przeznaczonych na żywność zawierającą tłuszcze. Podobnie jak w przypadku kompozycji PLA/CD-lim, potwierdzono skuteczne wprowadzenie modyfikatora do matrycy oraz działanie biobójcze wytworzonych materiałów. **Stwierdzono zatem, że zaproponowane kompozyty spełniają kryteria stawiane materiałom na opakowania aktywne.**

Jak wykazano powyżej, funkcjonalizacja polilaktydu modyfikatorami pochodzenia naturalnego jest jednym ze skutecznych sposobów wytwarzania nowoczesnych materiałów opakowaniowych. Dlatego w ramach dalszej realizacji poddziałania badawczego D1 podjęłam się opracowania biokompozytów z napełniaczem celulozowym. Priorytetem wdrażania biokompozytów do przemysłu opakowaniowego jest redukcja jego negatywnego wpływu na środowisko poprzez zmniejszenie śladu węglowego i zwiększenie możliwości recyklingu oraz

kompostowania. Prace badawcze realizowano w ramach projektu badawczego pt. „Struktura i właściwości fizyczne biokomponentowych kompozytów polimerowych”, a wyniki badań opublikowano w **pracy A5**.

W ramach prac badawczych wytworzono biodegradowalne kompozyty na bazie polilaktydu, cząstek drewna sosnowego oraz kompatybilizatora w postaci 3-aminopropyltrioksyilanu (APE). **Kompatybilizacja materiałów PLA/drewno sosnowe związkiem APE nie została dotąd opisana w dostępnej literaturze.** W celu wytworzenia kompozytów opracowano czteroetapową procedurę składającą się z: (1) impregnacji cząstek drewna, (2) mieszania składników w stanie stałym, (3) mieszania składników w stanie stopionym oraz (4) kształtowania próbek badawczych metodą prasowania. Homogenizację składników zrealizowano na drodze dwuślimakowego wytłaczania współbieżnego stosując maksymalną temperaturę układu uplastyczniającego równą 180°C. Wytworzono kompozyty z wykorzystaniem zarówno impregnowanych jak i niemodyfikowanych cząstek drewna w ilości 0, 10, 20 i 30 %wag. i poddano je badaniom celem oceny wpływu zastosowanego napełniacza oraz jego kompatybilizacji na morfologię, strukturę, stabilność termiczną i właściwości mechaniczne wytworzonych materiałów.

Krzywe kalorymetryczne DSC zarejestrowane podczas pierwszego grzania materiałów modyfikowanych cząstkami drewna wykazały przesunięcie temperatur zimnej krystalizacji oraz topnienia faz krystalicznych α' i α do niższych wartości. Nie zaobserwowano natomiast wpływu kompatybilizacji na kinetykę krystalizacji matrycy polilaktydu. Podczas chłodzenia próbek badawczych w piecu kalorymetru potwierdzono efekt nukleujący wywołany obecnością cząstek drewna w matrycy polimerowej, przy czym najintensywniejszy wzrost nastąpił w przypadku próbek o zawartości drewna 20 %wag. Ilość fazy krystalicznej w badanych kompozytach oznaczono na podstawie badań szerokokątowej dyfrakcji rentgenowskiej WAXS. Zauważono, że dodatek drzewny powoduje wzrost ilości fazy krystalicznej z 5% dla czystej osnowy polimerowej do 14% dla kompozytu modyfikowanego 30 %wag. impregnowanego drewna. Badania termogravimetryczne TGA pozwoliły na ocenę wpływu dodatku drzewnego na stabilność termiczną badanych kompozytów. Dodatek drewna, związku o niższej stabilności termicznej w porównaniu z matrycą polimerową, powoduje przesunięcie początku degradacji kompozytów w kierunku niższych temperatur. Kompatybilizacja powoduje wzrost energii dysocjacji potrzebnej do rozerwania nowo utworzonych wiązań chemicznych, co skutkuje zwiększoną stabilnością termiczną formulacji poddanych kompatybilizacji związkiem APE. Ponadto, impregnacja sprzyja poprawie dyspersji napełniacza, co dodatkowo poprawia stabilność termiczną całego układu. Morfologię kompozytów oceniono wykorzystując

skaningową mikroskopię elektronową SEM. Przełomy kompozytów napełnianych kompatybilizowanymi i niemodyfikowanymi cząstkami drewna znacząco się różnią. W przypadku kompozytów PLA/drewno sosnowe, zarejestrowane mikrofotografie przedstawiają cząstki napełniacza odseparowane od matrycy PLA bez śladów polimeru na powierzchni drewna. Cząstki drewna charakteryzują się stosunkowo gładką powierzchnią, co utrudnia uzyskanie mechanicznego połączenia między składnikami lub wiązań chemicznych ze względu na ich różną polarność. Niedostateczna adhezja skutkuje powstawaniem pustych przestrzeni na granicy faz napełniacz – matryca, co wpływa na obniżenie właściwości mechanicznych materiału. Impregnacja cząstek drewna wpływa na poprawę ich przylegania do matrycy PLA poprzez wiązania kowalencyjne i wodorowe powstałe między związkiem APE i powierzchnią drewna, co zwiększa hydrofobowość napełniacza, a tym samym wpływa na poprawę adhezji między składnikami. Ponadto w przypadku funkcjonalizowanych kompozytów zauważono, że pękanie materiału przebiega wzdłuż cząstek drewna, podczas gdy połączenie między napełniaczem a matrycą pozostaje nienaruszone. Efektywną kompatybilizację potwierdzono również techniką NMR, na podstawie której stwierdzono ograniczenie ruchliwości łańcuchów polimerowych oraz grup bocznych CH₃. Zmiany te przekładają się na właściwości mechaniczne wytworzonych biokompozytów. Bazowy PLA wykazał wydłużenie przy zerwaniu na poziomie 5% oraz moduł Young'a wynoszący 1,7 GPa. Dodatek niemodyfikowanego drewna spowodował wzrost sztywności materiałów, co przełożyło się na wzrost modułu Young'a oraz zmniejszenie wartości wydłużenia przy zerwaniu. W przypadku próbek kompatybilizowanych odnotowano niższe wartości modułu sprężystości w porównaniu z kompozytami PLA/drewno sosnowe. Dodatek drewna spowodował również nieznaczny spadek wartości wytrzymałości na rozciąganie udarowe z 17,5 kJ/m² dla czystej matrycy polimerowej do 15 kJ/m² dla maksymalnej zawartości napełniacza. Warto zauważyć, że kompozyty PLA/drewno sosnowe/APE wykazały nieco wyższą wytrzymałość na rozciąganie udarowe w porównaniu z serią niemodyfikowaną, co sprawia, że system jest bardziej odporny na dynamiczne obciążenia zewnętrzne.

Realizacja opisanego planu badawczego pozwoliła na potwierdzenie, że możliwe jest wytworzenie biokompozytów na bazie polilaktydu modyfikowanych cząstkami drewna sosnowego. Ponadto wykazano, że możliwe jest przeprowadzenie efektywnej kompatybilizacji składników związkiem APE, co nie zostało dotąd opisane w literaturze. Poprawa adhezji między komponentami przełożyła się na polepszenie właściwości termicznych i mechanicznych wytworzonych materiałów. Z perspektywy przeprowadzonych w ramach poddziałania D1 prac badawczych warto zaznaczyć, iż istotnym osiągnięciem naukowym,

stanowiącym znaczny wkład w rozwój inżynierii materiałowej, jest kompleksowa ocena korelacji między technologią przetwarzania, strukturą a właściwościami fizyko-chemicznymi i użytkowymi opracowanych kompozytów polimerowych. Warte podkreślenia jest również to, że wszechstronna analiza właściwości wytworzonych materiałów pozwoliła na wytypowanie kompozytów o dużym potencjale aplikacyjnym.

Zebrane doświadczenia związane z możliwościami przetwórczymi polilaktydu wykorzystałam w realizacji zadań badawczych w ramach **poddziałania D2**, którego celem było wytworzenie nowych kompozycji polimerowych do zastosowań w aplikacjach medycznych, ze szczególnym uwzględnieniem inżynierii tkankowej. W **pracy A6** opisano sposób modyfikacji matrycy polilaktydowej polimerem poliamidoaminowym (PAMAM). Materiały dendrytyczne zakończone grupami aminowymi wykazują właściwości antybakteryjne, a także mogą tworzyć związki inkluzyjne typu gospodarz – gość stosowane jako np. nośniki leków, dzięki czemu są szczególnie interesujące w zastosowaniach biomedycznych^{35,36}. Modyfikację przeprowadzono zarówno w masie jak i na powierzchni, a następnie oceniono jej wpływ na strukturę oraz właściwości termiczne i mechaniczne wytworzonych materiałów. W celu wykonania funkcjonalizacji powierzchniowej wytworzono folie PLA metodą wylewania (8% PLA w CHCl_3), a następnie zanurzano je w roztworzonym PAMAM (0,5% roztwór w etanolu) na 3, 4 i 5 godzin, by umożliwić funkcjonalizację powierzchniową. Modyfikacja objętościowa polegała na wprowadzeniu roztworzonego PAMAM (0,14 g PAMAM w 15 cm^3 DMF) do roztworu PLA (8% PLA w CHCl_3), a następnym wylaniu mieszaniny do szalki Petriego, którą pozostawiano do całkowitego wysuszenia uzyskując proszek o lekko żółtawym zabarwieniu. Modyfikowany proszek polilaktydu poddano kształtowaniu metodami wylewania oraz prasowania. Uzyskane folie o średniej grubości $0,25 \pm 0,02 \text{ mm}$ poddano analizie z użyciem spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera, termograwimetrii, różnicowej kalorymetrii skaningowej oraz statycznej próbie rozciągania. **Opisane metody funkcjonalizacji są tym bardziej interesujące, ponieważ jak dotąd nie zostały opisane w literaturze naukowej.**

Analiza widm FTIR wykazała, że funkcjonalizacja objętościowa charakteryzuje się znacznie wyższą intensywnością, ze względu na wzmożony kontakt między grupami funkcyjnymi matrycy polimerowej i PAMAM w porównaniu z modyfikacją powierzchniową. Świadczy o tym zwiększona intensywność odnotowana dla wiązań N-H (zginających i rozciągających), co potwierdza łączenie cząstek PAMAM z PLA poprzez grupę NH_2 . W przypadku funkcjonalizacji powierzchniowej, optymalne warunki określono dla czasu trwania reakcji aminolizy powierzchniowej wynoszącego 3 godziny, ze względu na najwyższą

intensywność pojawiających się nowych drgań zginających i rozciągających -NH oraz najniższą intensywność wiązania karbonylowego PLA. Ponadto w badaniach DSC wykazano, że funkcjonalizacja objętościowa znacząco wpływa na zmianę kinetyki topnienia matrycy polimerowej. Dla tych kompozycji odnotowano znaczące przesunięcie temperatur zeszklenia, zimnej krystalizacji oraz topnienia w kierunku niższych wartości. PAMAM jako materiał o niskiej temperaturze zeszklenia ($\sim 10^{\circ}\text{C}$) i dużej ilości mobilnych grup aminowych przyczynia się do obniżenia temperatury zeszklenia kompozycji. Ponadto, proces aminolizy prowadzi do skrócenia długości łańcuchów polimerowych oraz wprowadzenia mobilnych grup bocznych, co dodatkowo prowadzi do obniżenia temperatury zeszklenia. Odnotowano również znaczny wzrost entalpii zimnej krystalizacji oraz topnienia dla materiałów funkcjonalizowanych objętościowo, co jest skutkiem opisanych powyżej przyczyn. Dla próbek modyfikowanych powierzchniowo nie odnotowano znaczących zmian w kinetyce topnienia i krystalizacji próbek. Analiza wyników TGA wykazała, że próbki funkcjonalizowane powierzchniowo posiadają mniejszą ilość rozpuszczalnika w objętości oraz brak wpływu modyfikacji na stabilność termiczną matrycy. Modyfikacja objętościowa prowadzi natomiast do przesunięcia temperatury rozkładu polimeru w kierunku niższych wartości temperatur, za sprawą znacznego skrócenia długości łańcuchów PLA. Zarówno funkcjonalizacja powierzchniowa jak i objętościowa znacząco wpłynęła na zmianę właściwości mechanicznych PLA, zwiększając sztywność opracowanego układu.

W niniejszej pracy udowodniono, że związek PAMAM może być stosowany do efektywnej funkcjonalizacji matrycy polilaktydowej zarówno na drodze modyfikacji powierzchniowej jak i objętościowej. Jednak, aby uniknąć niepożądanych zmian właściwości strukturalnych i mechanicznych PLA należy uważnie dokonać wyboru warunków procesu aminolizy. Biorąc pod uwagę badany zakres parametryzacji, najkorzystniejszą korelację między strukturą a właściwościami wykazały próbki poddane 3-godzinnemu procesowi funkcjonalizacji powierzchniowej. Ta ścieżka modyfikacji zapewnia skuteczną modulację zależności między strukturą a właściwościami PLA, jednocześnie pozwalając uniknąć negatywnych skutków nadmiernej ekspozycji matrycy polimerowej.

Polilaktyd jest tworzywem termoplastycznym, które charakteryzuje się bioresorbowalnością oraz łatwością przetwarzania i formowania wieloma standardowymi technikami przetwórczymi, dlatego stanowi ciekawą propozycję jako substytut służący do wypełniania ubytków kostnych. W celu polepszenia właściwości osteokondukcyjnych tego materiału proponuje się modyfikację matrycy polimerowej nieorganicznymi napełniaczami bioaktywnymi, których przykładem są związki apatytowe. W **pracy A7** omówiono metodę

modyfikacji i przetwarzania kompozytów PLA modyfikowanych syntetycznymi cząstkami nanohidroksyapatytu, zbliżonych swoją strukturą, rozmiarem i morfologią do jego naturalnej wersji występującej w kości ludzkiej. Z tego powodu jest często stosowany w inżynierii tkankowej, w szczególności w ortopedii i chirurgii stomatologicznej. W pracy wykorzystano medyczny rodzaj kopolimeru L i DL-laktydu firmy Corbion, który modyfikowano nanocząstkami hydroksyapatytu w ilości 10 i 20 %wag. W literaturze opisuje się formułacje na bazie L-laktydu modyfikowane cząstkami HAp, jednak kompozycje o opisanej wyżej architekturze chemicznej nie zostały dotąd zaprezentowane³⁷⁻³⁹. **Dlatego opracowane kompozyty polimerowe stały się przedmiotem zgłoszenia patentowego, którego jestem współtwórcą** (załącznik 4, rozdz. 3.2).

Kompozyty na bazie polilaktydu modyfikowanego 10 i 20%wag. nanohidroksyapatytu wytworzono na drodze mieszania w stanie stopionym z wykorzystaniem współbieżnej wylączarki dwuślimakowej (210°C, 60 rpm). Następnie kształtowano próbki badawcze metodą prasowania uzyskując płytki o wymiarach 120 x 120 x 1 mm, które następnie cięto, by uzyskać ostateczny wymiar niezbędny do wykonania założonego planu badawczego. Wytworzone kompozyty poddano badaniom materiałowym mającym na celu ocenę ich przydatności do zastosowań w rekonstrukcji ubytków kostnych. Badania WAXS potwierdziły obecność struktury amorficznej polilaktydu oraz skuteczne wprowadzenie cząstek HAp do matrycy polimerowej. Analiza termograwimetryczna wykazała zwiększoną stabilność termiczną kompozytów modyfikowanych nanohidroksyapatytem. Dodatkowo ilość masy resztkowej potwierdziła (wraz z analizą SEM) homogeniczną dyspersję napełniacza w matrycy polimerowej. Wpływ technologii przetwarzania na długość łańcuchów polimerowych oceniono w badaniach chromatografii żelowej. Zgodnie z oczekiwaniami, przetwarzanie matrycy polimerowej w podwyższonej temperaturze wpłynęło na zmniejszenie wartości średniej masy molowej, przy czym zmiany te były bardziej intensywne dla próbek napełnianych 20 %wag. nanohidroksyapatytu. Ocenie poddano również właściwości fizyczne kompozytów, w tym wpływ dodatku HAp na twardość oraz gęstość wytworzonych kompozycji. W pomiarach metodą Brinella odnotowano wzrost twardości (ze 100 do 135 HB) oraz gęstości oznaczonej metodą hydrostatyczną (z 1,23 do 1,38 g/cm³). Badania właściwości mechanicznych wykonanych za pomocą statycznej próby rozciągania oraz trójpunktowego zginania wykazały, że materiały napełnione cząstkami HAp charakteryzują się zmniejszoną wytrzymałością oraz zwiększonym modułem Young'a w porównaniu z materiałem niemodyfikowanym. Rezultaty te wskazują na rozszerzenie możliwości aplikacyjnych wytworzonych materiałów w kontekście substytutów kości z tego względu, że wykazują właściwości mechaniczne i fizyczne

(szczególnie wytrzymałości na zginanie oraz gęstości) zbliżone do tych rejestrowanych dla ludzkiej kości korowej. Implant wykonany z takiego materiału charakteryzowałby się niską masą, dwukrotnie niższą od masy tytanowego odpowiednika. Co szczególnie istotne z aplikacyjnego punktu widzenia, analiza wyników kąta zwilżania wykazała, że polilaktyd modyfikowany 10 %wag. zawartością napełniacza wykazuje zwiększoną skłonność do przerastania tkankami. Wykazano również, że wytworzone kompozyty (10 %wag. HAp) nie przejawiają skłonności do formowania biofilmów na ich powierzchni, za wyjątkiem szczepów bakterii *S. epidermidis* i *P. aeruginosa*, tj. drobnoustrojów naturalnie wykazujących znaczną tendencję do tworzenia dojrzałych biofilmów.

Podsumowując, w toku przeprowadzonych prac wytworzono w pełni bioresorbowalne i bioaktywne kompozyty polilaktydowe o znacznym potencjale aplikacyjnym, szczególnie w takich dziedzinach medycyny jak ortopedia, chirurgia stomatologiczna, szczękowo-twarzowa czy plastyczna, ze względu na ich właściwości mechaniczne zbliżone do naturalnej tkanki kostnej, fizykochemiczne i bakteriologiczne. Niemniej ilość napełniacza powinna być optymalizowana tak, aby uzyskać najkorzystniejszą relację między strukturą materiału a jego właściwościami użytkowymi. Biorąc pod uwagę badany zakres modyfikacji, wytypowano kompozycję o zawartości 10 %wag. napełniacza, którą przeznaczono do wytworzenia personalizowanych implantów technologią druku 3D do rekonstrukcji ubytków kostnych w obrębie czaszki. Wyroby zaimplementowano w warunkach *in vivo* w ciele ludzkim (opis trzech procedur implantacyjnych opublikowano w pracy A10 (załącznik 4)).

Opisany powyżej biomateriał termoplastyczny znalazł zastosowanie w wytwarzaniu personalizowanych implantów technologią druku 3D dopasowanych do ubytku kostnego na podstawie tomografii komputerowej pacjenta, w szczególności do rekonstrukcji ubytków w obrębie czaszki. Jednak geometria i relatywnie niewielka objętość niektórych defektów kostnych uniemożliwia zaprojektowanie implantu, dla którego można byłoby przeprowadzić skuteczną fiksację w ciele pacjenta. **Z tego względu podjęłam prace polegające na opracowaniu nowego biomateriału o właściwościach osteokondukcyjnych, który mógłby być podawany do ciała pacjenta metodą iniekcji, tj. termowrażliwego hydrożelu na bazie chitozanu, a wyniki opublikowano w pracy A8.** W przypadku materiałów termowrażliwych, reakcja żel - żel inicjowana jest w podwyższonej temperaturze, co pozwala na podanie preparatu do ciała pacjenta w formie płynnej metodą iniekcji, który następnie przechodzi w stan stały w kontakcie z temperaturą ciała ludzkiego.

Termowrażliwe hydrożele na bazie chitozanu wytworzono metodą mieszania fizycznego polegającego na rotworzeniu chitozanu i połączeniu go ze środkiem sieciującym. Bazę chitozanową o właściwościach antybakteryjnych poddano modyfikacji cząstkami polilaktydu i hydroksyapatytu (10 %wag.) celem poprawy właściwości osteokondukcyjnych. Materiały poddano kompleksowej analizie mającej na celu ocenę procesu sieciowania, określenie wpływu zastosowanych modyfikatorów i procesu sterylizacji na strukturę i właściwości kompozycji chitozanowych, w tym cytotoksyczności, czystości mikrobiologicznej oraz właściwości antybakteryjnych. Reakcję żol - żel zwizualizowano aplikując próbkę materiału metodą iniekcji do formy silikonowej, a następnie poddano procesowi sieciowania (37°C, 3h). Po tym czasie hydrożel zmienił konsystencję z płynnej (żol) w stałą (żel). W celu wykonania kompleksowej oceny procesu sieciowania hydrożele poddano badaniom reologicznym w trybie oscylacji. By zasymulować proces podawania preparatu do ciała pacjenta i następujący po nim proces sieciowania, próbki badawcze wprowadzano do układu płytka – płytka reometru i rejestrowano moduły sprężystości (G') i stratności (G'') w temperaturze 37°C w funkcji czasu. Stwierdzono, że wprowadzenie napełniaczy do osnowy polimerowej skutkuje wzrostem zarejestrowanych wartości modułów G' i G'' , tj. polepszeniem właściwości mechanicznych hydrożeli. Najistotniejsze zmiany zarejestrowano dla hydrożelu modyfikowanego 10 %wag. hydroksyapatytu. Badania reologiczne powtórzono dla próbek poddanych sterylizacji radiacyjnej (7 kGy) i stwierdzono, że materiał ulega częściowemu żelowaniu w procesie sterylizacji. W badaniach FTIR potwierdzono, że łańcuchy polimerowe chitozanu ulegają częściowej degradacji, a między matrycą polimerową a napełniaczami nie zachodzi interakcja chemiczna. Częściowa degradacja matrycy przełożyła się na nieznaczne zmniejszone wartości G' i G'' , co wykazano w powtórnym badaniu reologicznym. Niemniej analiza wyników badań reologicznych serii sterylizowanej potwierdziła postępujący proces sieciowania, przy czym pierwsze istotne zmiany lepkości zarejestrowano w 40 minucie badania, a stabilizacja wartości G' i G'' nastąpiła po 120 minutach przetrzymywania próbek w 37°C. Oznacza to, że lekarz podający hydrożel do ciała pacjenta zauważy pierwsze zmiany lepkości materiału po ~ 40 minutach od podania preparatu, a po dwóch godzinach hydrożel osiągnie maksymalną wytrzymałość mechaniczną.

Cytotoksyczność próbek oznaczono w teście XTT, którego wyniki dowiodły, że wszystkie wytworzone materiały, tj. bazowy hydrożel oraz próbki modyfikowane cząstkami HAp i PLA, są biokompatybilne i sprzyjają proliferacji komórek co oznacza, że są bezpieczne do stosowania jako materiały wszczepienne do zastosowań *in vivo*. Badania mikrobiologiczne potwierdziły, że zastosowana metoda sterylizacji oraz dobrana dawka 7 kGy jest skuteczna

i zapewnia stabilność mikrobiologiczną próbek w badanym czasookresie (do 8 tygodni) zarówno w temperaturze przechowywania (4°C) jak i podwyższonej (40°C). Potwierdzono również aktywność antybakteryjną wszystkich wytworzonych materiałów, zarówno wobec szczepów referencyjnych jak i klinicznych, co zapewnia ochronę mikrobiologiczną w polu chirurgicznym. Skuteczność aplikacyjną kompozytu potwierdzono podczas jego aplikacji *in vivo* w ciele pacjenta w leczeniu przewlekłego zapalenia tkanek okołowierchołkowych zęba (*periodontitis periapicalis chronica*). Badania tomografii komputerowej pacjenta wykonane 6, 8 i 11 miesięcy po implantacji hydrożelu potwierdziły pełną odbudowę ubytku kostnego, co pozwoliło na przystąpienie do drugiego etapu leczenia polegającego na wszczepieniu implantów tytanowych, które następnie pełniły rolę podłoża do odbudowy utraconych zębów. Zabieg wszczepiania tytanowych implantów dentystycznych pozwolił na pobranie wycinków nowej kości do badań histopatologicznych, które potwierdziły odbudowę zdrowej, poprawnej anatomicznie tkanki kostnej.

Przeprowadzony eksperyment medyczny *in vivo* potwierdził prawidłowy proces gojenia ubytku kostnego powstałego w toku leczenia przewlekłego zapalenia tkanek okołowierchołkowych. Nie zaobserwowano reakcji zapalnych, skutków ubocznych ani reakcji alergicznych. Modele trójwymiarowe tkanek kostnych opracowane na bazie tomografii komputerowej pacjenta wykonanych zaraz po zabiegu, a także 6, 8 i 11 miesięcy po, wykazały postępujący i dynamiczny wzrost tkanki kostnej stymulowany przez zastosowany hydrożel. **Dzięki temu innowacyjnemu, bioresorbowalnemu hydrożelowi na bazie chitozanu wspomagającemu regenerację kości, możliwa była odbudowa prawidłowo ukształtowanej i zdrowej tkanki kostnej, a także zaopatrzenie pacjenta w tytanowe implanty dentystyczne, co umożliwiło przywrócenie pełnego uzębienia.**

Doświadczenia związane ze stosowaniem bioresorbowalnych materiałów polimerowych pozwoliły na przygotowanie artykułu przeglądowego omawiającego ich zastosowania w inżynierii tkankowej oraz systemach dostarczania leków (**praca A9**). W publikacji dokonano krytycznej analizy polimerów biowchłaniających stosowanych w aplikacjach medycznych, mechanizmów resorpcji oraz możliwości aplikacyjnych w różnych dziedzinach medycyny. **Zaproponowano autorski podział bioresorbowalnych implantów polimerowych ze względu na ich postać geometryczną.** Wyróżniono implanty standaryzowane produkowane w ściśle określonym zakresie geometrii zależnym od producenta (śruby, nici, płytki, siatki, itp.), o nieokreślonej geometrii w postaci proszków i past oraz personalizowane, których kształt i skład chemiczny dopasowywane są do potrzeb pacjenta. Przedstawiono również kompleksową dyskusję na temat metod wytwarzania resorbowalnych rusztowań

polimerowych do zastosowań w inżynierii tkankowej, systemach dostarczania leków, chirurgii, stomatologii oraz kardiologii. Ponadto, omówiono techniki obrazowania medycznego pozwalające na badania implantów polimerowych zaimplantowanych w ciele człowieka. Na zakończenie przedstawiono aspekty regulacyjne i prawne oraz związane z nimi wyzwania w zakresie transferu badań laboratoryjnych do zastosowań klinicznych, które pomogą w weryfikacji bezpieczeństwa i skuteczności innowacyjnych biomateriałów i wyrobów medycznych.

3.1.4. Podsumowanie

W odniesieniu do aktualnego stanu wiedzy i techniki przedstawione przeze mnie oryginalne wyniki prac naukowo – badawczych w zakresie oceny *struktury i właściwości termoplastycznych i termowrażliwych kompozytów polimerowych do zastosowań w przemyśle opakowaniowym i medycznym* są rezultatem nowatorskiego podejścia do projektowania i wytwarzania materiałów funkcjonalnych o określonych cechach użytkowych. W toku przeprowadzonych badań wykazałam, że możliwe jest kształtowanie tych cech poprzez wprowadzanie do osnowy polimerowej różnego typu modyfikatorów dopasowanych do stosowania w branży opakowaniowej i medycznej. Do najważniejszych osiągnięć zaliczam:

- opracowanie nowych, antybakteryjnych i biodegradowalnych kompozytów PLA/CD-lim o polepszonych właściwościach użytkowych do stosowania w przemyśle opakowaniowym;
- wytworzenie innowacyjnych, biobójczych kompozytów LLDPE/CD-lim o polepszonych właściwościach mechanicznych i optycznych odpowiednich do stosowania jako opakowania spożywcze;
- opracowanie nowej metody funkcjonalizacji powierzchniowej cząstek drewna sosnowego związkiem APE przeznaczonych do modyfikacji osnowy polilaktydowej;
- udowodnienie, że możliwe jest efektywne przeprowadzenie aminolizy matrycy polimerowej, zarówno w masie jak i na powierzchni związkiem PAMAM wykazującym potencjał aplikacyjny jako środek antybakteryjny czy nośnik leków;
- opracowanie technologii wytwarzania w pełni biowchłanialnych i bioaktywnych kompozytów polilaktydowych przeznaczonych do zastosowań w produkcji personalizowanych implantów kostnych metodą druku 3D; opracowany biomateriał opatentowano i zastosowano *in vivo* w leczeniu ubytków kostnych;
- przygotowanie innowacyjnych, termowrażliwych hydrożeli o właściwościach biobójczych i osteokondukcyjnych przeznaczonych do odbudowy trudnodostępnych

ubytków kostnych o niewielkiej geometrii metodą iniekcji; skuteczność opracowanych formułacji udowodniono *in vivo* w leczeniu pacjenta z przewlekłym zapaleniem tkanek okołowierzchołkowych zęba;

- doświadczenia związane z wytwarzaniem, modyfikowaniem i stosowaniem polimerowych materiałów biowchłaniających zebrano w artykule przeglądowym opublikowanym w czasopiśmie *Advanced Healthcare Materials*.

3.1.5. Omówienie dalszych perspektyw i pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Poruszone wątki badawcze, które znalazły odzwierciedlenie w opublikowanych pracach i aktywnościach wymienionych w załączniku 4 stanowią podstawę do prowadzenia dalszych prac naukowych. W najbliższej przyszłości chciałabym się skupić się na poniższych aspektach:

- opracowywaniu metod modyfikacji powierzchni materiałów polilaktydowych oraz ocenie ich właściwości fizyko-chemicznych i użytkowych w kontekście zastosowań w inżynierii tkankowej;
- opracowywaniu i wytwarzaniu nukleantów struktury polilaktydu celem uzyskania materiałów o zwiększonej krystaliczności, a tym samym podwyższonej stabilności termicznej do zastosowań jako wielorazowe opakowania spożywcze.

W zakresie pierwszej tematyki przeprowadziłam szeroko zakrojone prace badawcze w ramach realizacji projektu naukowego zatytułowanego „Funkcjonalizowane materiały polimerowe do zastosowań w inżynierii biomedycznej – wytwarzanie i charakterystyka”, Interdyscyplinarny Grant Rektorski (rozdz. 2.5 załącznika 4). Wyniki dotyczące sposobu nakładania warstwy hydroksyapatytu metodą Lagmuir – Blodgett’a i Langmuir – Schaefer’a na powierzchnię polilaktydu przedstawiono w pracy A11 (załącznik 4). W ramach prac dyplomowych (zrealizowanych przez panie Justynę Mikołajczak, Martynę Rychlik oraz Zofię Kostrzewską, tabela 2 załącznika 3) zaproponowałam innowacyjną technologię nakładania cząstek hydroksyapatytu na PLA metodą spiekania niskotemperaturowego. Obecnie wyniki tych badań stanowią tematykę przygotowywanej publikacji naukowej.

W zakresie drugiej tematyki badawczej podwaliny stanowią prace naukowe szeroko opisujące proces nukleacji tworzyw polimerowych oraz wpływ tego zjawiska na strukturę, właściwości przetwórcze, mechaniczne, fizyko-chemiczne i użytkowe wytworzonych kompozytów (poz. A13, A14, A18, A19, A20, A22, A24, A25, A26, A27, B30). Zdobyta w opisanym zakresie wiedza i doświadczenie naukowe pozwoliły na złożenie wniosku o przyznanie finansowania w ramach konkursu HORIZON – PATHFINDER zatytułowanego

“Biobased thermal-resistant food packaging (BORN)”, w roli kierownika po stronie Politechniki Poznańskiej (partnera). Ogłoszenie wyników konkursu nastąpi na przełomie lutego i marca 2025 r.

3.1.6. Literatura

- [1] A. M. Peres, R. R. Pires, R. L. Oréfice, *Carbohydr Polym* 2016, 136, 210.
- [2] A. M. LaChance, Z. Hou, M. M. Farooqui, S. A. Carr, J. M. Serrano, C. E. Odendahl, M. E. Hurley, T. E. Morrison, J. L. Kubachka, N. T. Samuels, A. T. Barrett, Y. Zhao, A. M. DeGennaro, M. H. Camara, L. Sun, *Adv Compos Hybrid Mater* 2022, 5, 1067.
- [3] Y. Zhong, P. Godwin, Y. Jin, H. Xiao, *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research* 2020, 3, 27.
- [4] C. A. Sperati, W. A. Franta, H. W. Starkweather, *J Am Chem Soc* 1953, 75, 6127.
- [5] D. Garcia-Garcia, L. Quiles-Carrillo, R. Balart, S. Torres-Giner, M. P. Arrieta, *Eur Polym J* 2022, 178, 111505.
- [6] A. E.-A. A. El-Wakil, H. Moustafa, A. M. Youssef, *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 2022, 35, 938.
- [7] Y. Masayuki, *Journal of Polymer Science* 1998, 70, 457.
- [8] European Food Safety Authority (EFSA), *EFSA* 2009, 7.
- [9] A. Moeini, A. van Reenen, W. Van Otterlo, A. Cimmino, M. Masi, P. Lavermicocca, F. Valerio, B. Immirzi, G. Santagata, M. Malinconico, A. Evidente, *Ind Crops Prod* 2020, 146, 112134.
- [10] H. Falleh, M. Ben Jemaa, M. Saada, R. Ksouri, *Food Chem* 2020, 330, 127268.
- [11] J. Ju, X. Chen, Y. Xie, H. Yu, Y. Guo, Y. Cheng, H. Qian, W. Yao, *Trends Food Sci Technol* 2019, 92, 22.
- [12] S.-P. Ju, H.-Y. Chen, C.-W. Shih, *Journal of Nanoparticle Research* 2018, 20, 1.
- [13] B. Salehi, T. B. Tumer, A. Ozleyen, G. Peron, S. Dall'Acqua, J. Rajkovic, R. Naz, A. Nosheen, F. N. Mudau, F. Labanca, L. Milella, N. de Tommasi, H. D. Coutinho, J. Sharifi-Rad, D. R. Verma, M. Martorell, N. Martins, *Trends Food Sci Technol* 2019, 88, 260.
- [14] M. L. Di Lorenzo, R. Androsch, *Synthesis, Structure and Properties of Poly(lactic acid)*, Eds.: M. L. Di Lorenzo, R. Androsch, Springer International Publishing: Cham, 2018, Vol. 279.
- [15] M. L. Di Lorenzo, R. Androsch, *Industrial Applications of Poly(lactic acid)*, Eds.: M. L. Di Lorenzo, R. Androsch, Springer International Publishing: Cham, 2018, Vol. 282.
- [16] G. Faludi, G. Dora, K. Renner, J. Móczó, B. Pukánszky, *Compos Sci Technol* 2013, 89, 77.
- [17] M. L. Di Lorenzo, R. Androsch, *Polym Int* 2019, 68, 320.
- [18] M. Maiza, M. T. Benaniba, G. Quintard, V. Massardier-Nageotte, *Polímeros* 2015, 25, 581.
- [19] C. Sun, C. Li, H. Tan, Y. Zhang, *Polym Int* 2019, 68, 1450.
- [20] M. Xanthos, *Functional Fillers for Plastics*, 2016.

- [21] M. Barczewski, D. Matykiewicz, A. Krygier, J. Andrzejewski, K. Skórczewska, *J Mater Cycles Waste Manag* 2018, 20, 914.
- [22] M. Barczewski, O. Mysiekiewicz, J. Szulc, A. Kłodziński, *J Appl Polym Sci* 2019, 136.
- [23] T. Kanno, S. Sukegawa, Y. Furuki, Y. Nariai, J. Sekine, *Japanese Dental Science Review* 2018, 54, 127.
- [24] P. Schumann, D. Lindhorst, M. E. H. Wagner, A. Schramm, N.-C. Gellrich, M. Rücker, *Pathobiology* 2013, 80, 211.
- [25] S. Sukegawa, T. Kanno, D. Nagano, A. Shibata, Y. Sukegawa-Takahashi, Y. Furuki, *Journal of Craniofacial Surgery* 2016, 27, 2124.
- [26] K. R. Mohamed, H. H. Beherei, Z. M. El-Rashidy, *J Adv Res* 2014, 5, 201.
- [27] X. Niu, Q. Feng, M. Wang, X. Guo, Q. Zheng, *Journal of Controlled Release* 2009, 134, 111.
- [28] X. Peng, Y. Zhang, Y. Chen, S. Li, B. He, *Mater Lett* 2016, 171, 83.
- [29] D. J. Hickey, B. Ercan, L. Sun, T. J. Webster, *Acta Biomater* 2015, 14, 175.
- [30] M. M. Rosenberg, *J Periodontol* 1971, 42, 195.
- [31] P. S. ROSEN, M. A. REYNOLDS, G. M. BOWERS, *Periodontol 2000* 2000, 22, 88.
- [32] M. Taheri, R. Molla, M. Radvar, K. Sohrabi, M. Najafi, *Aust Dent J* 2009, 54, 220.
- [33] T. Gao, *Biomaterials* 1997, 18, 219.
- [34] M. Bohner, *Materials Today* 2010, 13, 24.
- [35] P. Razmshoar, S. Shakooryavan, S. Akbari, in *Dendrimer-Based Nanotherapeutics*, Elsevier, 2021, pp 203.
- [36] S. A. Kumbhar, B. Gorain, H. Choudhury, P. Kesharwani, in *Dendrimer-Based Nanotherapeutics*, Elsevier, 2021, pp 143.
- [37] M. Persson, G. S. Lorite, H. E. Kokkonen, S.-W. Cho, P. P. Lehenkari, M. Skrifvars, J. Tuukkanen, *Colloids Surf B Biointerfaces* 2014, 121, 409.
- [38] A. Zimina, F. Senatov, R. Choudhary, E. Kolesnikov, N. Anisimova, M. Kiselevskiy, P. Orlova, N. Strukova, M. Generalova, V. Manskikh, A. Gromov, A. Karyagina, *Polymers (Basel)* 2020, 12, 2938.
- [39] I. Armentano, M. Dottori, E. Fortunati, S. Mattioli, J. M. Kenny, *Polym Degrad Stab* 2010, 95, 2126.

4. Informacje potwierdzające wykazywanie się istotną aktywnością naukową w więcej niż jednej instytucji naukowej, w szczególności zagranicznej

W czasie trwania pracy naukowej nawiązałam współpracę z sześcioma krajowymi i zagranicznymi jednostkami naukowymi, co potwierdzają odbyte staże oraz wspólny dorobek naukowy.

Współpraca z p. dr Marią Laurą Di Lorenzo z Istituto per i Polimeri, Compositi e Biomateriali, Consiglio Nazionale Delle Ricerche (IPCB-CNR) w Pozzuoli we Włoszech rozpoczęła się w 2015 roku i dotychczas przyniosła obopólne korzyści umożliwiając wymianę wiedzy i umiejętności w celu realizacji wspólnych projektów i planów badawczych. Współpraca ta doprowadziła do **publikacji 9 artykułów naukowych** w czasopismach z listy JCR (poz. A1, A2, A3, A4, A5, A8, A10, A18, A19 załącznika 4), **10 wystąpień konferencyjnych** (poz. 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 16, 17, 18 w rozdz. 2.3 załącznika 4) oraz **uzyskania patentu** (poz. 3 w rozdz. 3.2 załącznika 4). Ponadto, w roku 2017 **wspólnie pozyskałyśmy i zrealizowałyśmy projekt NCN Preludium** zatytułowany „Biodegradowalne kompozyty na bazie polilaktydu o wzmocnionych właściwościach antybakteryjnych”. W projekcie pełniłam rolę kierownika, a p. dr Maria Laura Di Lorenzo pełniła funkcję opiekuna naukowego. W październiku 2024 roku złożyłyśmy wniosek o przyznanie finansowania w ramach konkursu HORIZON – PATHFINDER zatytułowany “Biobased thermal-resistant food packaging (BORN)”, gdzie p. dr Di Lorenzo pełniła funkcję koordynatora projektu, natomiast ja pełniłam funkcję kierownika grupy badawczej po stronie Politechniki Poznańskiej (partnera). W projekt zaangażowanych zostało łącznie 8 jednostek naukowych z 6 europejskich krajów. Ogłoszenie wyników konkursu nastąpi na przełomie lutego i marca 2025 r. W grudniu 2024 roku złożyłam wniosek w konkursie Sonata (NCN) o przyznanie środków na wykonanie badań podstawowych “Badania kinetyki bioresorpcji kompozytu polimerowego w kontekście projektowania implantów do rekonstrukcji kości”, w którym pełniłam funkcję kierownika projektu, natomiast p. dr Di Lorenzo reprezentanta partnera zagranicznego. Ogłoszenie wyników konkursu nastąpi w czerwcu 2025 r.

Dotychczas odbyłam łącznie 10 staży naukowych w IPCB-CNR pod opieką p. dr Marii Laury Di Lorenzo (h-index 44, 7016 cytowań według bazy Scopus na dzień 09.10.2024 r.), w tym **dwa długookresowe. Trzymiesięczny staż naukowy w IPCB-CNR** został zrealizowany w terminie od 3 marca do 3 czerwca 2015 roku w ramach szkolenia studentów Interdyscyplinarnych Studiów Doktoranckich „Nauka o Materiałach” na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej. Natomiast, **dwumiesięczny staż naukowy**, finansowany w ramach programu Erasmus, odbył się między 1 września a 27 października 2016 roku. Poza wymienionymi wyżej stażami długookresowymi, dodatkowo odbyłam **osiem krótszych wizyt naukowych** w IPCB-CNR, których wykaz przedstawiono poniżej:

- 23.09.2024 r. – 27.09.2024 r. wizyta finansowana z projektu Erasmus+ – Staff Mobility for Training;

- 05.06.2023 r. – 06.06.2023 r. wizyta finansowana z subwencji wydziałowej Politechniki Poznańskiej;
- 06.06.2022 r. – 17.06.2022 r. wizyta finansowana przez Consiglio Nazionale Delle Ricerche w ramach programu Short Term Mobility;
- 17.02.2020 r. – 21.02.2020 r., wizyta finansowana z projektu Preludium Narodowego Centrum Nauki;
- 18.02.2019 r. – 22.02.2019 r., wizyta finansowana z projektu Preludium Narodowego Centrum Nauki;
- 20.02.2017 r. – 24.02.2017 r. wizyta finansowana z projektu Erasmus+ – Staff Mobility for Training;
- 04.04.2016 r. – 15.04.2016 r. wizyta finansowana przez Consiglio Nazionale Delle Ricerche w ramach programu Short Term Mobility;
- 19.10.2015 r. – 21.10.2015 r. wizyta finansowana z subwencji wydziałowej Politechniki Poznańskiej.

Współpraca naukowa między ośrodkami jest kontynuowana, co potwierdza **zaplanowana na lipiec 2025 roku** kolejna, tym razem **miesięczna wizyta naukowa** finansowana ze środków Politechniki Poznańskiej w ramach programu „Inicjatywa Doskonała Współpraca Międzynarodowa – Programy Stażowe”.

Pozyskanie finansowania z Narodowego Centrum Nauki na realizację projektu badawczego *Etiuda* zatytułowanego “Analiza oddziaływań pochodnych sorbitoli z żywicą silanowo-silseskwioksanową na strukturę i właściwości izotaktycznego polipropylenu” pozwoliło mi na nawiązanie współpracy z grupą naukowców z Laboratorium Technologii Przetwarzania Tworzyw Sztucznych i Gumy (Laboratory of Plastics and Rubber Technology, LPRT) Uniwersytetu Technologii i Ekonomii w Budapeszcie na Węgrzech. W celu realizacji założeń projektowych, **odbyłam trzymiesięczny staż pod opieką dr. Alfreda Kallay-Menyharda** (h-index 22, 1769 cytowań według bazy Scopus na dzień 09.10.2024 r.) **w okresie 20.06.2017 r. – 20.09.2017 r.** Wyniki wspólnych prac przedstawiono w artykule naukowym autorstwa J. Molnár, Ö. Sepsi, B. Gaál, Z. Zuba, M. Dobrzyńska-Mizera, A. Menyárd, *Probabilistic numerical simulation for predicting spherulitic morphology from calorimetric crystallization conversion curves: An isothermal case*, Materials & Design 2021, 212, 110245 (poz. A14 – załącznik 4).

Przyznanie wsparcia stypendialnego przez uniwersytet Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, jeden z wiodących uniwersytetów w Niemczech, pozwolił mi na **nawiązanie**

współpracy z p. prof. René Androsch (h-index 52, 8794 cytowań według bazy Scopus na dzień 09.10.2024 r.). W ramach prac badawczych **przeprowadzonych w okresie od 29.05.2017 r. do 02.06.2017 r. w Merseburgu** wykonano analizę strukturalną kompozytów na bazie polipropylenu zawierających pochodne sorbitolu oraz poli(kwas maleinowy) szczepiony na polipropylenie (MAPP) metodą szybkiej kalorymetrii skaningowej (FSC) oraz mikroskopii optycznej.

Nawiązałam również ścisłą współpracę z trzema polskimi jednostkami naukowymi poprzez realizację wspólnych zadań badawczych w projektach naukowych finansowanych z funduszy Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Narodowego Centrum Nauki. Wyniki prac opublikowano w artykułach naukowych o zasięgu międzynarodowym. Do najbliższych współpracowników należą:

- **p. prof. dr hab. Daria Szymanowska** z Katedry Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności **Uniwersytetu Przyrodniczego** w Poznaniu [3 publikacje (poz. A1, A3, A8 – załącznik 4), współpraca przy realizacji 3 projektów (poz. 2, 3, 5 w rozdz. 2.5 załącznika 4)];
- **p. dr hab. inż. Marek Wyleżół, prof. PŚ** oraz **p. dr inż. Małgorzata Muzalewska** z Katedry Podstaw Konstrukcji Maszyn **Politechniki Śląskiej** [2 publikacje (poz. A8, A10 – załącznik 4), współpraca przy realizacji 2 projektów (poz. 2, 3 w rozdz. 2.5 załącznika 4), wizyta naukowa zrealizowana w okresie 21 – 22.11.2024 r.];
- **p. dr hab. Zofia Modrzejewska** z Instytutu Technologii Polimerów i Barwników [(1 publikacja (poz. A8 – załącznik 4), współpraca przy realizacji 1 projektu (poz. 3 w rozdz. 2.5 załącznika 4)] oraz **p. dr inż. Marta Kamińska** z Instytutu Inżynierii Materiałowej **Politechniki Łódzkiej** [(1 publikacja (poz. A8 – załącznik 4), współpraca przy realizacji 3 projektów (poz. 1, 2, 3 w rozdz. 2.5 załącznika 4)].

5. Osiągnięcia dydaktyczne, organizacyjne oraz popularyzujące naukę

5.1. Działalność dydaktyczna

Jestem zatrudniona w Politechnice Poznańskiej na stanowisku adiunkta badawczo-dydaktycznego, zatem oprócz wykonywania pracy naukowej angażuję się w działalność dydaktyczną. Powadzę zajęcia na Wydziałach Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej, Inżynierii Zarządzania oraz Inżynierii Mechanicznej, głównie z zakresu przetwórstwa tworzyw sztucznych. W tabeli 1 przedstawiono wykaz prowadzonych zajęć dydaktycznych

przygotowany na podstawie *kart przydziału zajęć dydaktycznych* obowiązujących w latach 2015-2025, tj. od chwili zatrudnienia. W zestawieniu nie uwzględniono zajęć dydaktycznych prowadzonych podczas studiów doktoranckich. Zajęcia podzielono na prowadzone przed i po uzyskaniu stopnia doktora.

Tabela 1. Zestawienie prowadzonych zajęć dydaktycznych

Nazwa przedmiotu	Forma zajęć	Kierunek studiów	Stopień studiów	Rodzaj studiów
Zajęcia dydaktyczne prowadzone po uzyskaniu stopnia doktora				
Sumaryczna liczba godzin dydaktycznych: 1655				
Fizykochemia polimerów	W	IM	II	S
Przetwórstwo tworzyw sztucznych	W, L	IM, ZiIP, MCH, ETL, MiBM	I	S, N
Przetwórstwo tworzyw sztucznych (ENG)	W, L	IBM	I	S
Technologia maszyn i projektowanie procesów technologicznych (ENG)	L	EM	I	S
Projekt przejściowy	P	MiBM	I	S
Zarządzanie środowiskiem i ekologia	C	MiBM	I	N
Kompozyty	L	MiBM	II	S
Zastosowanie materiałów konstrukcyjnych	L	ZiIP	I	S
Dobór materiałów do wytwarzania wyrobów	L	MiBM	I	S, N
Zaawansowane procesy wytwarzania	L	ZiIP	I	S
Plastic processing (ENG)	SS	EUNICE	I, II	S
Metody badań materiałów polimerowych	L	IM	II	S
Polimery	L	IM	I	S
Przedmiot obieralny: Kompozyty polimerowe	L	IM	II	S
Zajęcia dydaktyczne prowadzone przed uzyskaniem stopnia doktora				
Sumaryczna liczba godzin dydaktycznych: 653				
Procesy i techniki produkcyjne: Przetwórstwo tworzyw sztucznych	L	ZiIP	I	S
Inżynieria wytwarzania I: Przetwórstwo tworzyw sztucznych	L	MiBM, MCH	I	S
Przetwórstwo tworzyw sztucznych	L	IM, IBM	I	S
Dobór materiałów do wytwarzania wyrobów	L	MiBM	I	S
Technologia wytwarzania	L	LOG	I	S

Właściwości technologiczne tworzyw sztucznych	L	IM	I	S
--	----------	-----------	----------	----------

Legenda:

L – laboratorium, **W** – wykład, **P** – projekt, **C** – ćwiczenia, **SS** – materiały udostępniane w formie *on-line* do samodzielnej nauki, **N** – studia niestacjonarne, **S** – studia stacjonarne, (ENG) – przedmiot prowadzony w języku angielskim, **ZiIP** – Zarządzanie i Inżynieria Produkcji, **IM** – Inżynieria Materiałowa, **IBM** – Inżynieria Biomedyczna, **MiBM** – Mechanika i Budowa Maszyn, **MCH** – Mechatronika, **ETI** – Edukacja Techniczno-Informatyczna, **EM** - Engineering Management, **EUNICE** – European University for Customized Education, **LOG** – Logistyka

Po uzyskaniu stopnia doktora objęłam opiekę nad studentami studiów inżynierskich i magisterskich, pełniąc rolę **promotora ich prac dyplomowych**. Do tej pory byłam promotorem 9 prac dyplomowych magisterskich i 8 prac dyplomowych inżynierskich. W tabeli 2 zestawiono wykaz promowanych prac dyplomowych z podziałem na prace inżynierskie i magisterskie.

Tabela 2. Wykaz prowadzonych prac dyplomowych

Lp.	Dyplomant	Temat pracy dyplomowej	Rok
<i>Prace dyplomowe magisterskie</i>			
1	Weronika Darul	Opracowanie technologii wytwarzania oraz ocena właściwości kompozytów na bazie poliaktydu	2024
2	Paulina Olszewska	Wytwarzanie i właściwości funkcjonalizowanego poli(tetrafluoroetyleny) do zastosowań medycznych	2023
3	Natalia Gramała	Zastosowanie technologii cięcia i spawania tworzyw sztucznych za pomocą lasera na przykładzie procesu produkcyjnego w wybranym przedsiębiorstwie	2023
4	Justyna Mikołajczyk	Wytwarzanie i właściwości funkcjonalizowanego poli(kwasu mlekowego) do zastosowań medycznych	2023
5	Maciej Włodarczak	Wytwarzanie oraz ocena właściwości powłok antykorozyjnych modyfikowanych proszkiem aluminium	2023
6	Bartosz Żyliński Bartosz Izak	Analiza procesu wytwarzania oraz ocena właściwości mechanicznych fantomów stomatologicznych	2022

7	Karolina Polus	Wytwarzanie i ocena właściwości reologicznych antybakteryjnych folii polimerowych modyfikowanych związkiem inkluzyjnym	2021
8	Honorata Pankiewicz	Wytwarzanie kompozytów na bazie polimerów fluoropochodnych do zastosowań medycznych	2021
9	Paweł Skowera	Metoda klejenia jako alternatywa dla zgrzewania punktowego w konstrukcjach stalowych	2020
Prace dyplomowe inżynierskie			
1	Martyna Rychlik Zofia Kostrzewska	Wytwarzanie i ocena właściwości poli(kwasu mlekowego) modyfikowanego powierzchniowo do zastosowań w inżynierii biomedycznej	2025
2	Radosław Kosiedowski	Ocena właściwości mechanicznych ochroniaczy motocyklowych	2024
3	Aleksandra Zegarek	Analiza materiałów stosowanych do wytwarzania protez zębowych oraz technologii ich wytwarzania	2024
4	Michał Olszewski	Opracowanie technologii wytwarzania oraz ocena właściwości kompozytów na bazie PLA/PBS do zastosowań biomedycznych	2022
5	Kacper Zarzecki	Wytwarzanie i właściwości biodegradowalnych kompozytów polimerowych	2022
6	Mateusz Adamski	Struktura i właściwości izotaktycznego polipropylenu o kontrolowanej szybkości krystalizacji	2021
7	Marlena Piss	Właściwości antybakteryjnych folii polimerowych	2021
8	Aleksandra Kobiela Barbara Paluszkiewicz	Właściwości antybakteryjnych folii polimerowych modyfikowanych związkiem inkluzyjnym	2021

Pełnię również rolę recenzenta prac dyplomowych. Dotychczas wykonałam recenzję 3 prac magisterskich oraz 15 prac inżynierskich, których zestawienie przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wykaz recenzowanych prac dyplomowych

Lp.	Promotor	Temat pracy dyplomowej	Rok
Prace dyplomowe magisterskie			
1	dr hab inż. Karol Bula, prof. PP	Analiza wpływu chropowatości powierzchni płyt ze stopów metali na właściwości złączy polimer-metal	2023
2	dr hab inż. Dorota Czarnecka-Komorowska, prof. PP	Recykling maseczek jednorazowych w obliczu pandemii COVID - 19	2022
3	dr hab inż. Dorota Czarnecka-Komorowska, prof. PP	Analiza procesu wytwarzania folii wytłaczanej metodą wylewania (cast) z odpadów w aspekcie gospodarki o obiegu zamkniętym	2021

<i>Prace dyplomowe inżynierskie</i>			
1	dr inż. Kinga Mencil	Wpływ parametrów wytłaczania na wymiary gotowego bieżnika opony	2024
2	dr inż. Monika Knitter	Ocena wpływu środowiska degradacji na właściwości biopolimeru	2024
3	dr inż. Monika Knitter	Opracowanie technologii wytwarzania fantomów stomatologicznych	2023
4	dr inż. Monika Knitter	Właściwości mechaniczne kompozytów warstwowych stosowanych w protetyce	2023
5	dr inż. Monika Knitter	Technologia wytwarzania komórkowych biomateriałów do zastosowań medycznych	2023
6	dr hab inż. Karol Bula, prof. PP	Analiza porównawcza procesu wytwarzania wypraski wtryskowej bez i z wykorzystaniem manipulatora 4 osiowego	2023
7	dr hab inż. Karol Bula, prof. PP	Analiza procesu produkcji listwy cenowej oraz przezbroyenia w linii wytłaczarskiej	2023
8	dr hab inż. Karol Bula, prof. PP	Ocena wpływu procesu nagrzewania gniazda formy wtryskowej zewnętrznym elementem grzewczym przenoszonym manipulatorem na wybrane właściwości wyprasek wtryskowych	2023
9	dr inż. Monika Knitter	Technologia wytwarzania mieszanin PLA/PBS metodą przyrostową	2022
10	dr inż. Kinga Mencil	Analiza systemu produkcyjnego wyrobów z PVC	2022
11	dr inż. Monika Knitter	Ocena jakości biopolimerowego fantomu wątroby stosowanego w symulacjach medycznych	2021
12	dr inż. Monika Knitter	Właściwości antybakteryjnych folii polimerowych	2020
13	dr hab inż. Dorota Czarnecka-Komorowska, prof. PP	Analiza systemu wytwarzania mieszanin na bazie odpadów poliamidu/poliolefin	2019
14	prof. dr hab. inż. Tomasz Sterzyński	Właściwości sprężyste oraz relaksacja naprężeń w modyfikowanym strukturalnie polipropylenie	2019
15	prof. dr hab. inż. Tomasz Sterzyński	Wytwarzanie polipropylenowych kompozytów jednopolimerowych i ocena ich właściwości w zmiennych warunkach otoczenia	2019

Pełniłam również nadzór nad realizacją **praktyk studenckich w Zakładzie Tworzyw Sztucznych Politechniki Poznańskiej**. Student Kacper Zarzecki (Mechanika i Budowa Maszyn) zrealizował praktyki studenckie pod moją opieką w okresie od 01.09.2021 r. do 30.09.2021 r. w wymiarze 40 godziny tygodniowo. Realizacja praktyk odbywała się zgodnie z wcześniej ustalonym planem, opracowanym przez opiekuna i zaakceptowanym przez uczelnię. Do dodatkowych obowiązków opiekuna należało zapoznanie studenta z regulaminem pracy oraz przepisami bezpieczeństwa i higieny pracy.

5.2. Działalność organizacyjna

Brałam czynny udział w organizacji ośmiu konferencji naukowych, zarówno krajowych jak i zagranicznych, organizowanych w latach 2013 – 2020 w Zakładzie Tworzyw Sztucznych Politechniki Poznańskiej pod przewodnictwem p. prof. dr hab. inż. Tomasza Sterzyńskiego. Do moich obowiązków należały m.in. kompleksowa obsługa biura organizacyjnego, w tym przyjmowanie zgłoszeń konferencyjnych, przygotowywanie dokumentacji czy piecza nad miejscem konferencji. **Publikowałam raporty konferencyjne** zarówno w języku polskim jak i angielskim (*Polimery* 2014, 59, 4; *Analityka* 2014, 15, 1; *Applied Rheology* 2014, 24, 48). Moje zaangażowanie w działalność organizacyjną zostało **dwukrotnie uhonorowane przez J.M. Rektora Politechniki Poznańskiej nagrodami** “za osiągnięcia organizacyjne w roku akademickim 2016/2017” oraz “za osiągnięcia organizacyjne w roku akademickim 2020/2021” (decyzjami z dnia 04.10.2017 r., nr. RO-1170/3/17/882 oraz z dnia 06.10.2021 r., nr. RO-11/70/6/21/733). Wykaz organizowanych konferencji zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Chronologiczny wykaz organizowanych konferencji

Termin	Miejsce	Nazwa	Rola	Ranga
19.10.2020 20.10.2020	konferencja on-line	XIV Konferencja Naukowo-Techniczna - Kierunki Modyfikacji i Zastosowań Tworzyw Polimerowych	KO	K
30.06.2019 02.07.2019	Nowy Adamów	XXII Profesorskie Warsztaty Naukowe	KO	K
19.05.2019 22.05.2019	Poznań	International Scientific-Technical Conference Manufacturing 2019	PO	I
09.05.2016 13.05.2016	Poznań	24th Annual Forum on Advanced Materials POLYCHAR	KO	I
02.07.2015 04.07.2015	Brodowo k/Środy Wlkp.	XVIII Profesorskie Warsztaty Naukowe Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych	KO	K

13.10.2013	Poznań	Polski Kongres Reologii	KO	K
15.10.2013				
04.07.2013	Poznań	9. Międzynarodowy Kongres Naukowy Bezpieczny Świat	PO	I
07.07.2013				
13.05.2013	Poznań	XII Konferencja Naukowo- Techniczna pt. Kierunki Modyfikacji i Zastosowań Tworzyw Polimerowych	KO	K
15.05.2013				

Legenda:

KO – członek komitetu organizacyjnego, **PO** – prace organizacyjne, **K** – konferencja krajowa, **I** – konferencja międzynarodowa

Brałam również udział w **pracach komisji kwalifikacyjnej** na potrzeby rekrutacji studentów na stacjonarne studia II stopnia na kierunku Inżynieria biomedyczna na Wydziale Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej w roku akademickim 2021/2022 oraz 2024/2025.

5.3. Działalność związana z popularyzacją nauki

Jednym ze sposobów popularyzacji nauki jest prowadzenie badań i przygotowywanie publikacji naukowych z udziałem studentów Politechniki Poznańskiej. Do realizacji części celów badawczych założonych w kierowanym przeze mnie projekcie *Preludium* zatytułowanym "Biodegradowalne kompozyty na bazie polilaktydu o polepszonych właściwościach antybakteryjnych", finansowanego z dotacji Narodowego Centrum Nauki, zaangażowałam studentkę Wydziału Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej p. Marlenę Piss, która na podstawie uzyskanych wyników przygotowała i obroniła pracę dyplomową inżynierską zatytułowaną "Właściwości antybakteryjnych folii polimerowych". Dodatkowo, uzyskane wyniki badań opublikowano w formie dwóch artykułów naukowych w czasopismach o zasięgu międzynarodowym.

W realizacji planu badawczego założonego w ramach Interdyscyplinarnego Grantu Rektorskiego zatytułowanego "Funkcjonalizowane materiały polimerowe do zastosowań w inżynierii biomedycznej – wytwarzanie i charakterystyka" udział wzięły Panie Paulina Olszewska oraz Justyna Mikołajczyk, studentki kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji Wydziału Inżynierii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej. Przeprowadzone prace pozwoliły

na przygotowanie prac dyplomowych magisterskich, pod moim przewodnictwem, zatytułowanych odpowiednio “Wytwarzanie i właściwości funkcjonalizowanego poli(tetrafluoroetyleny) do zastosowań medycznych” oraz “Wytwarzanie i właściwości funkcjonalizowanego poli(kwasu mlekowego) do zastosowań medycznych” (poz. 2, 4 w tabeli 2).

Dnia 26.04.2022 r. przygotowałam pokaz dla dzieci z przedszkola „Calineczka” mieszczącego się przy ul. Św. Antoniego w Poznaniu. Przedszkolaki miały okazję zwiedzić laboratorium Zakładu Tworzyw Sztucznych Politechniki Poznańskiej oraz poznać w praktyce podstawowe zagadnienia związane z przetwarzaniem tworzyw sztucznych, w tym sposoby ich rozdrabniania, wytwarzania pian poliuretanowych oraz wyrobów z tworzyw termoplastycznych technologiami wtryskiwania i formowania próżniowego. Do obsługi stanowisk laboratoryjnych, poza mną, zaangażowałam p. dr inż. Monikę Knitter oraz p. dr inż. Kingę Mencil.

Ponadto, zostałam **zaproszona przez firmę McKinsey & Company** jako gość specjalny w ramach inicjatywy *MGS Talks: ThriveSphere*. W ramach spotkania zatytułowanego „Osobiste przywództwo: pomost między nauką a biznesem”, które odbyło się dnia 28.08.2024 roku w poznańskiej siedzibie firmy, przybliżyłam przebieg swojej kariery naukowej, wyzwania stojące przed kobietami w świecie nauki, motywację do dalszej pracy naukowej oraz doświadczenia związane z tworzeniem zespołów, np. na potrzeby realizacji projektów naukowych. Spotkanie odbyło się w języku angielskim.

Wyniki projektu pt. “Opracowanie zindywidualizowanych implantów biodegradowalnych do zabiegów rekonstrukcji kości” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju popularyzowałam za pośrednictwem materiałów prasowych oraz występów telewizyjnych. Wzięłam udział w kilku produkcjach, w tym:

- w reportażu przygotowanym przez p. red. Joannę Stempień dla programu „Fakty o świecie” wyemitowanym w TVN24 BIS i TVN24 w dniach 08 – 09.01.2024 r.;
- w roli gościa programu „Dzień dobry TVN” w wywiadzie prowadzonym przez p. red. Dorotę Wellman oraz Ewę Drzyzgę wyemitowanym w TVN w dniu 24.01.2024 r.;
- w reportażu przygotowanym przez p. red. Agatę Odrobińską dla serwisu informacyjnego „Panorama” wyemitowanym w programie TVP2 w dniu 24.01.2024 r.;
- w wywiadach stanowiących podstawę do stworzenia notatek prasowych, które ukazały się na portalach: www.fakty.tvn24.pl, rynekzdrowia.pl, naukawpolsce.pl oraz www.wroclaw.tvp.pl.

6. Inne istotne informacje dotyczące kariery zawodowej

6.1. Uzyskane nagrody i stypendia

- **Stypendystka** programu *Inicjatywa Doskonała Współpraca Międzynarodowa – Programy Stażowe* finansowanego ze środków Politechniki Poznańskiej zgodnie z decyzją z dnia 13.09.2024 roku nr. R4E-076-50/2024 w ramach którego zaplanowałam miesięczny staż naukowy w Istituto per i Polimeri, Compositi e Biomateriali, Consiglio Nazionale Delle Ricerche w Pozzuoli (Włochy) w lipcu 2025 roku;
- **Wyróżnienie** odznaką *SPE Polymer Engineering and Science Editors Choice* artykułu zatytułowanego *Linear low-density polyethylene modified with D-limonene/ β -cyclodextrin inclusion complex: Antimicrobial composite for active food packaging* autorstwa M. Dobrzyńska-Mizera, M. Knitter, M. Piss, D. Szymanowska, S. Mallardo, G. Santagata, M.L. Di Lorenzo (<https://bcert.me/syqiofqhx>);
- **Stypendystka** programu *Short Term Mobility* finansowanego przez Consiglio Nazionale Delle Ricerche we Włoszech w ramach którego odbyłam dwutygodniowy staż naukowy w Istituto per i Polimeri, Compositi e Biomateriali, Pozzuoli w dniach 06.06.2022 – 17.06.2022 r.;
- **Nagroda zespołowa** *Innowatory Wprost 2021* za opracowanie technologii wytwarzania innowacyjnych implantów bioresorbowalnych w ramach projektu “Opracowanie zindywidualizowanych implantów biodegradowalnych do zabiegów rekonstrukcji kości” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju;
- **Nagroda zespołowa** *Rektora Politechniki Poznańskiej* za osiągnięcia organizacyjne w roku akademickim 2020/2021 decyzją z dnia 06.10.2021 r. nr. RO-11/70/6/21/733;
- **Stypendystka** 12. edycji programu *Stypendium dla wybitnego młodego naukowca* finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki w latach 2018 – 2020;
- **Nagroda zespołowa** *Rektora Politechniki Poznańskiej* za osiągnięcia organizacyjne w roku akademickim 2016/2017 decyzją z dnia 04.10.2017 r. nr. RO-1170/3/17/882;

- **Stypendystka** programu *Short Term Mobility* finansowanego przez Consiglio Nazionale Delle Ricerche we Włoszech w ramach którego odbyłam dwutygodniowy staż naukowy w Istituto per i Polimeri, Compositi e Biomateriali, Pozzuoli w dniach 04.04.2016 r. – 15.04.2016 r.;
- **Stypendystka** programu *Transformation.doc* organizowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, finansowanego z funduszy Unii Europejskiej w ramach którego odbyłam dwutygodniowy staż na University of Alberta w Edmonton w Kanadzie (15.11.2015 r. – 29.11.2015 r.). Cele szkolenia obejmowały następujące zagadnienia: zdobywanie umiejętności analizy użyteczności, promowania oraz prezentacji wyników prac naukowych w kontekście innowacji dla przemysłu, rozwijanie umiejętności interpersonalnych niezbędnych w realizacji pracy naukowej, projektów badawczych oraz współpracy z innymi ośrodkami naukowymi zarówno w kraju jak i za granicą, zdobywanie umiejętności dotyczących tworzenia własnego zespołu badawczego i technik wspomagających zarządzanie zespołem oraz rozszerzanie wiedzy z zakresu nowych metod rozwiązywania problemów naukowych i praktycznych umiejętności poszukiwania najbardziej optymalnych rozwiązań;
- **Stypendystka** programu *Wsparcie stypendialne dla doktorantów na kierunkach uznanych za strategiczne z punktu widzenia rozwoju Wielkopolski, Poddziałanie 8.2.2 Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki* w latach 2013-2014 przyznawanego przez Wojewódzki Urząd Pracy w Poznaniu;
- **Nagroda** zespołowa za najlepszy plakat uzyskana podczas konferencji *Polski Kongres Reologii*, który odbył się w Poznaniu w dniach 13.10.2013 – 15.10.2013 roku przyznany za pracę zatytułowaną “Właściwości reologiczne izotaktycznego polipropylenu modyfikowanego sorbitolami i silseskwioksanami”;
- **Nagroda** *Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej* na najlepszą pracę dyplomową w roku 2013;
- **Nagroda** za wyróżniającą się pracę dyplomową w obszarze techniki oraz organizacji produkcji i usług w 2013 roku organizowanym przez Naczelną Organizację Techniczną (NOT) Rada w Poznaniu;

- **Wyróżnienie** w XIII edycji *Ogólnopolskiego Konkursu o dyplom i nagrodę Prezesa SIMP* na najlepszą pracę dyplomową o profilu mechanicznym wykonaną i obronioną w krajowej wyższej szkole technicznej w roku akademickim 2011/2012.

6.2. Udział w szkoleniach i warsztatach

- Szkolenia „Kim jest ekspert NCBiR”, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, 22.08.2024 r., on-line;
- Szkolenie e-learningowe „Przeciwdziałanie korupcji”, Centralne Biuro Antykorupcyjne, 16.07.2024 r., on-line;
- Szkolenie e-learningowe „Korupcja w biznesie”, Centralne Biuro Antykorupcyjne, 16.07.2024 r., on-line;
- Szkolenie e-learningowe „Korupcja w administracji publicznej”, Centralne Biuro Antykorupcyjne, 16.07.2024 r., on-line;
- Szkolenie „Jak mądrze wybrać czasopismo”, Elsevier, 23.02.2023 r., on-line;
- Warsztaty „Niewidzialna ulica” w ramach projektu „Politechnika Poznańska uczelnią otwartą dla wszystkich” współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Unii Europejskiej, 07.09.2022 r., Poznań;
- Szkolenie „Forum wiedzy o przetwórstwie tworzyw sztucznych”, Lenso Sp. z o.o., 10.04.2019 r., Poznań;
- Warsztaty naukowo-techniczne „Najnowsze rozwiązania w dziedzinie badań topografii powierzchni metodami optycznymi - analiza termiczna z rejestracją obrazu”, HAAS, 06.12.2019 r., Poznań;
- Szkolenie „Obsługa kamery termowizyjnej FLIR T540 oraz oprogramowania FLIR Tools+”, EC Test Systems, 19.12.2019 r., Poznań;
- Szkolenie „Pisanie publikacji naukowych”, ProRegio, 25.07.2014 r., Poznań;
- Seminarium „GTAPTM – dobra praktyka analizy termicznej”, Mettler-Toledo Sp. z o.o., 20.11.2014 r., Poznań.

6.3. Dane naukometryczne

W tabeli 5 zestawiono liczbę publikacji i cytowań oraz wartości indeksu Hirscha z uwzględnieniem źródła (dane z dnia 04.02.2025 roku).

Tabela 5. Zestawienie liczby publikacji i cytowań oraz wartości indeksu Hirscha (H-index) z uwzględnieniem źródła

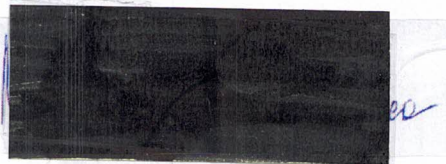
Źródło	Liczba publikacji	Liczba cytowań (bez autocytowań)	H-index
Web of Science	27	262 (181)	12
Scopus	27	278 (230)	12
Google Scholar	32	302	11

W tabeli 6 zestawiono analizę liczbową osiągnięć naukowych, zgodnie z kryteriami przyjętymi w załącznikach 3 i 4.

Tabela 6. Zestawienie liczbowe osiągnięć naukowych

Lp.	Wykaz osiągnięć naukowych	Przed doktoratem	Po doktoracie	Łącznie
1	Publikacje w czasopismach z listy JCR	9	17	26
2	Publikacje w czasopismach spoza listy JCR	5	0	5
3	Rozdziały w monografiach	3	0	3
4	Udział w konferencjach naukowych	13	10	23
5	Udzielone patenty	0	2	2
6	Zgłoszenia patentowe	0	1	1
7	Kierownik w projektach badawczych	3	0	3
8	Wykonawca w projektach badawczych	2	4	6
9	Współpraca z jednostkami naukowymi	2	4	6
10	Stáže naukowe	7	6	13
11	Stypendia naukowe	2	3	5
12	Nagrody i wyróżnienia	6	3	9
13	Członkostwo w komitetach naukowych	0	2	2
14	Członkostwo w komitetach organizacyjnych	5	3	8
15	Szkolenia	2	9	11
16	Zlecenia dla przemysłu	3	8	11
17	Opieka naukowa nad studentami (promotorstwo)	0	16	16

18	Sumaryczna liczba godzin dydaktycznych	653	1655	2308
----	---	-----	------	------



.....
(podpis wnioskodawcy)