



Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie

AUTOREFERAT

Dr inż. Łukasz Łopusiewicz

*Ocena potencjału makuchu lnianego jako surowca do opracowania
grupy roślinnych alternatyw dla produktów nabiałowych*



Wydział
Nauk o Żywności
i Rybactwa

Szczecin 06.09.2022 r.

SPIS TREŚCI

1. INFORMACJE OGÓLNE	4
1.1. IMIĘ I NAZWISKO	4
1.2. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE.....	4
1.3. INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH	4
1.4. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA WYNIKAJĄCEGO 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 PÓŻN. ZM.):	5
2. WSTĘP	7
3. CEL NAUKOWY OSIĄGNIĘCIA.....	13
4. OMÓWIENIE WYNIKÓW BADAŃ W RAMACH ZAŁOŻONYCH CELÓW	15
4.1. WYKORZYSTANIE MAKUCHU LNIANEGO DO OPRACOWANIA ROŚLINNEJ PRZEKĄSKI PÓLSTAŁEJ FERMENTOWANEJ JAKO ALTERNATYWY DLA KEFIRU	15
4.2. ZASTOSOWANIE MAKUCHU LNIANEGO DO OPRACOWANIA NAPOJU ROŚLINNEGO FERMENTOWANEGO Z UDZIAŁEM KULTURY JOGURTOWEJ.....	18
4.3. ZASTOSOWANIE MAKUCHU LNIANEGO DO OPRACOWANIA ROŚLINNEJ ALTERNATYWY NAPOJU ROŚLINNEGO FERMENTOWANEGO Z UDZIAŁEM SZCZEPU PROBIOTYCZNEGO	20
4.4. ZASTOSOWANIE MAKUCHU LNIANEGO DO OPRACOWANIA ROŚLINNEJ ALTERNATYWY MLEKA W PROSZKU SUSZONEGO ROZPYŁOWO	22
4.5. ZASTOSOWANIE MAKUCHU LNIANEGO DO OPRACOWANIA ROŚLINNEJ ALTERNATYWY SERA PLEŚNIOWEGO CAMEMBERT	26
4.6. PODSUMOWANIE	29
4.7. LITERATURA	30
5. INFORMACJA O WYKAZYWANIU SIĘ ISTOTNĄ AKTYWNOŚCIĄ NAUKOWĄ ALBO ARTYSTYCZNĄ REALIZOWANĄ W WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI, INSTYTUCJI NAUKOWEJ LUB INSTYTUCJI KULTURY, W SZCZEGÓLNOŚCI ZAGRANICZNEJ.....	34
5.1. PRACA NAUKOWA PRZED UZYSKANIEM STOPNIA DOKTORA	34
5.2. PRACA NAUKOWA PO UZYSKANIU STOPNIA DOKTORA	35
5.3. PODSUMOWANIE	45
6. INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ LUB SZTUKĘ	47
7. DODATKOWE INFORMACJE DOTYCZĄCE KARIERY ZAWODOWEJ.....	51
7.1. UDZIAŁ W PROJEKTACH BADAWCZYCH I WSPÓŁPRACA Z OTOCZENIEM GOSPODARCZYM	51
7.2. UDZIAŁ W KONFERENCJACH NAUKOWYCH.....	54
7.3. UDZIAŁ W SZKOLENIACH I KURSACH.....	54
7.4. CZŁONKOSTWO W TOWARZYSTWACH NAUKOWYCH, ZESPOŁACH REDAKCYJNYCH CZASOPISM, KOMITETACH NAUKOWYCH KONFERENCJI ORAZ RECENZJE PUBLIKACJI	56
7.5. OTRZYMANE STYPENDIA, NAGRODY I WYRÓŻNIENIA.....	58

1. Informacje ogólne

1.1. Imię i nazwisko

Łukasz Łopusiewicz

1.2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

Stopień doktora nauk rolniczych w dyscyplinie Technologia żywności i żywienia, 19.12.2018 r., Wydział Nauk o Żywności i Rybactwa, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie. Rozprawa doktorska „Charakterystyka wybranych melanin pochodzących z biomasy grzybowej i ich zastosowanie do poprawy właściwości użytkowych materiałów opakowaniowych”. Promotor: prof. dr hab. inż. Artur Bartkowiak. Recenzenci: prof. dr hab. Tomasz Jankowski (Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu), prof. dr hab. inż. Andrzej Jarmoluk (Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu). Obrona rozprawy doktorskiej z wyróżnieniem.

Tytuł magistra biotechnologii, 07.07.2014 r., Wydział Biotechnologii i Hodowli Zwierząt, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie. Praca magisterska „Analiza właściwości antymikrobiologicznych i fitotoksycznych *Macrolepiota konradii* oraz próba ich wykorzystania do modyfikacji folii PLA”. Promotor: dr inż. Małgorzata Mizielińska

Tytuł inżyniera biotechnologii, 14.02.2013 r., Wydział Biotechnologii i Hodowli Zwierząt, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie. Praca inżynierska „Analiza determinantów kształtujących katalityczne optimum pH wybranych alfa-amylaz pochodzących z bakterii z rodzaju *Bacillus*”. Promotor: dr inż. Radosław Drozd

1.3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

01.05.2021 r. – do chwili obecnej

stanowisko: adiunkt badawczy, Centrum Bioimmobilizacji i Innowacyjnych Materiałów Opakowaniowych, Wydział Nauk o Żywności i Rybactwa, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

07.01.2019 r. – 30.04.2021 r.

stanowisko: samodzielny referent, Centrum Bioimmobilizacji i Innowacyjnych Materiałów Opakowaniowych, Wydział Nauk o Żywności i Rybactwa, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

1.4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego 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.):

a) Tytuł osiągnięcia naukowego:

Przedstawione do oceny osiągnięcie naukowe stanowi cykl pięciu powiązanych tematycznie, oryginalnych artykułów ujętych pod wspólnym tytułem „**Ocena potencjału makuchu lnianego jako surowca do opracowania grupy roślinnych alternatyw dla produktów nabiałowych**” opublikowanych w latach 2019-2021, których sumaryczna wartość wskaźnika IF (zgodnie z rokiem opublikowania) jest równa **12,548** ($IF_{5-letni} = 15,273$), natomiast suma punktów (zgodnie z obowiązującym wykazem punktacji czasopism w dniu publikacji artykułu) wynosi **310**.

b) Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

H1. Łopusiewicz Ł., Drożłowska E., Siedlecka P., Mężyńska M., Bartkowiak A., Sienkiewicz M., Zielińska-Bliźniewska H., Kwiatkowski P. Development, characterization and bioactivity of non-dairy kefir-like fermented beverage based on flaxseed oil cake. *Foods* 2019, 8(11):544.

[$IF_{2019} = 3,011$; $IF_{5-letni} = 4,957$; Punkty = 70]

Mój wkład w powstanie tej pracy, jako autora wiodącego i korespondencyjnego, obejmował: sformułowanie problemu badawczego, stworzenie koncepcji badań, zaplanowanie eksperymentu, przeprowadzenie badań pilotażowych, stworzenie interdyscyplinarnego zespołu prowadzącego badania i zarządzanie nim, opracowanie metodyki badań, przeprowadzenie analiz statystycznych danych, opracowanie i interpretację wyników, opracowanie graficzne, napisanie pierwszej wersji manuskryptu oraz prac nad jego kolejnymi wersjami, ustosunkowanie się do recenzji, korektę drukarską. Mój udział procentowy szacuję na 65%.

H2. Łopusiewicz Ł., Drozłowska E., Siedlecka P., Mężyńska M., Bartkowiak A. Preparation and characterization of novel flaxseed oil cake yogurt-like plant milk fortified with inulin. *Journal of Food and Nutrition Research* 2020, 59, 61–70.

[IF₂₀₂₀ = 0,756; IF_{5-letni} = 1,189; Punkty = 40]

Mój wkład w powstanie tej pracy, jako autora wiodącego i korespondencyjnego, obejmował: sformułowanie problemu badawczego, stworzenie koncepcji badań, zdobycie funduszy na badania, zaplanowanie eksperymentu, przeprowadzenie badań pilotażowych, opracowanie metodyki badań, przeprowadzenie analiz statystycznych danych, opracowanie i interpretację wyników, opracowanie graficzne, napisanie pierwszej wersji manuskryptu oraz prac nad jego kolejnymi wersjami, ustosunkowanie się do recenzji, korektę drukarską. Mój udział procentowy szacuję na 80%.

H3. Łopusiewicz Ł., Drozłowska E., Trocer P., Kostek M., Bartkowiak A., Kwiatkowski P. The development of novel probiotic fermented plant milk alternative from flaxseed oil cake using *Lactobacillus rhamnosus* GG acting as a preservative agent against pathogenic bacteria during short-term refrigerated storage. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 2021, 33, 266–276.

[IF₂₀₂₁ = 1,006; IF_{5-letni} = 1,055; Punkty = 40]

Mój wkład w powstanie tej pracy, jako autora wiodącego i korespondencyjnego, obejmował: sformułowanie problemu badawczego, stworzenie koncepcji badań, zdobycie funduszy na badania, zaplanowanie eksperymentu, przeprowadzenie badań pilotażowych, stworzenie interdyscyplinarnego zespołu prowadzącego badania i zarządzanie nim, opracowanie metodyki badań, przeprowadzenie analiz statystycznych danych, opracowanie i interpretację wyników, opracowanie graficzne, napisanie pierwszej wersji manuskryptu oraz prac nad jego kolejnymi wersjami, ustosunkowanie się do recenzji, korektę drukarską. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

H4. Łopusiewicz Ł., Bogusławska-Wąs E., Drozłowska E., Trocer P., Dłubała A., Mazurkiewicz-Zapałowicz K., Bartkowiak A. The Application of Spray-Dried and Reconstituted Flaxseed Oil Cake Extract as Encapsulating Material and Carrier for Probiotic *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG. *Materials* 2021, 14(18):5324.

[IF₂₀₂₁ = 3,623; IF_{5-letni} = 3,920; Punkty = 140]

Mój wkład w powstanie tej pracy, jako autora wiodącego i korespondencyjnego, obejmował: sformułowanie problemu badawczego, stworzenie koncepcji badań, zdobycie funduszy na badania, zaplanowanie eksperymentu, przeprowadzenie badań pilotażowych, stworzenie interdyscyplinarnego zespołu prowadzącego badania i zarządzanie nim, opracowanie metodyki badań, przeprowadzenie analiz statystycznych danych, opracowanie i interpretację wyników, opracowanie graficzne, napisanie pierwszej wersji manuskryptu oraz prac nad jego kolejnymi wersjami, ustosunkowanie się do recenzji, korektę drukarską. Mój udział procentowy szacuję na 65%.

H5. Łopusiewicz Ł., Drozłowska E., Tarnowiecka-Kuca A., Bartkowiak A., Mazurkiewicz-Zapałowicz K., Salachna P. Biotransformation of Flaxseed Oil Cake into Bioactive Camembert-Analogue Using Lactic Acid Bacteria, *Penicillium camemberti* and *Geotrichum candidum*. Microorganisms 2020, 8(9):1266.

[IF₂₀₂₀ = 4,152; IF_{5-letni} = brak; Punkty = 20]

Mój wkład w powstanie tej pracy, jako autora wiodącego i korespondencyjnego, obejmował: sformułowanie problemu badawczego, stworzenie koncepcji badań, zdobycie funduszy na badania, zaplanowanie eksperymentu, przeprowadzenie badań pilotażowych, stworzenie interdyscyplinarnego zespołu prowadzącego badania i zarządzanie nim, opracowanie metodyki badań, przeprowadzenie analiz statystycznych danych, opracowanie i interpretację wyników, opracowanie graficzne, napisanie pierwszej wersji manuskryptu oraz prac nad jego kolejnymi wersjami, ustosunkowanie się do recenzji, korektę drukarską. Mój udział procentowy szacuję na 65%.

Oświadczenia wszystkich współautorów określające indywidualny wkład każdego z nich w powstanie publikacji stanowią załącznik 5 wniosku.

c) Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

2. Wstęp

Jednym z najbardziej obiecujących obszarów rozwoju w dziedzinie technologii żywności i żywienia człowieka jest wykorzystywanie mikroorganizmów fermentacji mlekowej, w tym probiotyków, do rozwoju innowacyjnej żywności [1–4]. Skład jakościowy i ilościowy mikrobioty jelitowej zdrowego człowieka zawiera dominującą przewagę

mikroorganizmów korzystnych dla jego zdrowia, jednakże jest również determinowany warunkami środowiskowymi oraz cechami osobniczymi człowieka i może podlegać istotnym zmianom w zależności od sposobu odżywiania i stanu zdrowia. Zmniejszony udział bakterii fermentacji mlekowej (lactic acid bacteria - LAB) w przewodzie pokarmowym człowieka powoduje różne objawy, począwszy od uczucia wzdęcia do poważnych kłopotów trawiennych, stanów chorobowych przewodu pokarmowego i wreszcie do pogorszenia ogólnego stanu zdrowia [5–7]. Jednym ze skutecznych sposobów zapobiegania zatruciom pokarmowym i wspomagania leczenia tych stanów jest dostarczanie w diecie mikroorganizmów fermentacji mlekowej i/lub probiotycznych, które wykazują również istotną rolę w stabilizacji (konserwacji) biologicznej produktów spożywczych [8].

Modyfikacja (wzbogacenie) mikrobioty jelitowej w kierunku zwiększenia populacji bakterii korzystnie oddziałujących na organizm człowieka powinna być prowadzona przez stosowanie odpowiednich preparatów lub produktów żywnościowych zawierających żywe LAB (w tym szczepy probiotyczne), szczególnie należące do rodzajów *Lactobacillus* i *Bifidobacterium* [7,9]. Należy podkreślić, że mikroorganizmy te można bezpiecznie stosować w żywności z uwagi na status GRAS (Generally Recognized as Safe). LAB odgrywają kluczową rolę w wielu procesach fermentacyjnych w przemyśle spożywczym. Stosowane są one również do przemysłowej produkcji kwasu mlekowego, a obecnie obserwuje się coraz szersze ich zastosowanie w przemyśle farmaceutycznym do produkcji preparatów probiotycznych.

W przemyśle spożywczym LAB wykorzystywane są głównie w procesach fermentacji przetworów mleczarskich i surowców roślinnych [10,11]. W mleczarstwie LAB w postaci odpowiednio zestawionych szczepów, tzw. zakwasów (starterów) mleczarskich, są wykorzystywane do produkcji serów podpuszczkowych, serów twarogowych, serów pleśniowych (wraz ze szlachetnymi pleśniami, głównie z rodzaju *Penicillium*), masła, śmietany i wielu rodzajów mleka fermentowanego (również z udziałem drożdży, np. w kefirze). W produktach fermentowanych rola LAB polega na nadaniu im specyficznych cech organoleptycznych, głównie smaku, aromatu i konsystencji, zwiększeniu wartości odżywczej oraz przyswajalności składników mineralnych. Szczególnie popularne są mleka fermentowane (np. jogurt, kefir), co wynika nie tylko z ich walorów smakowych, lecz również wartości odżywczych i zdrowotnych [2,9,12]. Probiotyki są specyficznymi szczepami mikroorganizmów, które spożywane przez człowieka wywierają na jego organizm korzystny wpływ, wynikający z zapewnienia właściwej równowagi mikrobioty jelitowej zasiedlającej dany organizm [3,4,7]. Podawanie preparatów probiotycznych lub

spożywanie produktów fermentowanych z udziałem bakterii probiotycznych może być korzystne dla przywrócenia naturalnego zespołu mikroorganizmów (np. po leczeniu antybiotykami) oraz wspomagające podczas leczenia wielu schorzeń jelitowych [5,13]. Szczepy probiotyczne przywracają naturalny, właściwie funkcjonujący zespół mikroorganizmów jelitowych, hamują rozwój wielu gatunków i szczepów mikroorganizmów chorobotwórczych, mogą zmniejszać częstotliwość występowania biegunek podróźnych, łagodzić przebieg i skracać czas trwania niektórych biegunek bakteryjnych i wirusowych, biegunek poantybiotykowych i popromiennych, likwidują lub zmniejszają objawy nietolerancji laktozy, a także normalizują zaburzenia motoryki jelit. Warunkiem niezbędnym do uznania produktów fermentowanych za żywność o działaniu funkcjonalnym jest obecność żywych komórek mikroorganizmów (w tym szczepów probiotycznych) na poziomie nie niższym niż 1.0×10^6 jtk/ml lub jtk/g w ostatnim dniu przydatności do spożycia [14].

Nabiał należy do najczęściej spożywanych przez człowieka grup produktów, ponadto ze względu na rosnącą świadomość roli zespołu mikroorganizmów jelitowych i jego znaczenia dla zdrowia człowieka, obserwuje się w ostatnich latach intensywny rozwój fermentowanych przetworów mleczarskich [10]. Osobom, które ze względów zdrowotnych lub światopoglądowych wybierają diety wegańskie/wegetariańskie/fleksytariańskie oferowane są nowe produkty roślinne, stanowiące zamienniki produktów nabiałowych, np. napoje roślinne, lub inne produkty przypominające jogurt, kefir lub ser [15–18]. Żywność stanowiąca alternatywę dla nabiału jest jednym z najszybciej rozwijających się na świecie segmentów produktów spożywczych. Aktualnie na rynku dominującym i najbardziej powszechnym rozwiązaniem są produkty z roślin strączkowych (z soi), ze zbóż (z ryżu, owsa, orkisz), z konopi, z pestek lub orzechów (koskowych, migdałowych, z orzechów laskowych, z nerkowców) [15,19]. Trend na spożywanie produktów roślinnych stanowiących alternatywę dla produktów nabiałowych ma swoje korzenie w Azji. Obecnie także w innych częściach świata (Europa, Ameryka Północna, Ameryka Południowa) można zauważyć gwałtowny wzrost zapotrzebowania na roślinne alternatywy nabiału [8].

Dostępna oferta roślinnych produktów fermentowanych lub wzbogacanych w mikroorganizmy fermentacji mlekowej i/lub probiotyczne nie jest jednak szeroka i ogranicza się głównie do produktów imitujących jogurt lub kefir (bazujących głównie na soi lub kokosie) lub sery pleśniowe (np. z nerkowców), choć w literaturze przedmiotu odnotowane są inne rozwiązania wskazujące na możliwość otrzymywania innowacyjnych produktów m.in. z melasy, orzeszków ziemnych, pulpy kakaowej, owoców i warzyw, orzechów laskowych, orzechów włoskich, nerkowców, łubinu czy komosy ryżowej

[15,18,20]. W diecie wegetariańskiej z zasady spożywa się tylko żywność roślinną i tylko ją traktuje się jako potencjalny nośnik korzystnej mikroflory. Stosowanie LAB w produktach roślinnych jest uzasadnione względami ekonomicznymi i kulturowymi oraz warunkami klimatycznymi, szczególnie w krajach azjatyckich, w których nie ma tradycji spożywania przetworów mleczarskich, natomiast często spożywa się tam fermentowane warzywa, owoce i produkty zbożowe. Funkcja mikroorganizmów podczas fermentacji surowców roślinnych polega na biokonserwacji, czyli ochronie przed rozwojem niepożądanego mikroflory a także na nadawaniu produktom specyficznego, kwaśnego smaku, tworzeniu związków aromatycznych, zmianie struktury, zwiększeniu strawności masy roślinnej, zwiększeniu zawartości witamin, eliminacji niepożądanych substancji znajdujących się w surowcach roślinnych [2–4]. Podczas fermentacji mikroorganizmy wytwarzają wiele związków o korzystnym działaniu, takich jak witaminy, przeciwutleniacze, kwasy organiczne, bakteriocyny ale mają także aktywność metaboliczną, która przekształca wysokokaloryczne cukry złożone w niskokaloryczne pochodne i może degradować lipidy i cholesterol, co ma istotny wpływ na bioaktywność produktów fermentowanych. Wynika to z aktywności metabolicznej mikroorganizmów, m. in. wydzielania enzymów zdolnych do hydrolizy, związanych z polisacharydami ściany komórkowej biomasy roślinnej związków o działaniu przeciwutleniającym np. polifenoli i flawonoidów, co zwiększa ich biodostępność [4,21]. Przeciwutleniacze mają szczególne znaczenie w zapobieganiu i łagodzeniu skutków stresu oksydacyjnego, który ma istotny wpływ na rozwój wielu chorób, w tym chorób cywilizacyjnych takich jak cukrzyca, nadciśnienie tętnicze oraz otyłość [8,21–23].

Po analizie rynku i doniesień o najnowszych trendach żywieniowych stwierdziłem sporą lukę w obszarze roślinnych fermentowanych produktów mogących stanowić alternatywę dla tradycyjnego nabiału. Konsumentom mają bardzo ograniczony wybór w zakresie takich produktów, przy czym ich cena jest dość wysoka. Wraz ze wzrostem świadomości konsumentów zaobserwowano także w ostatnich latach wzrost zainteresowania opracowywaniem nowych produktów spożywczych o cechach żywności funkcjonalnej, zawierającej żywe komórki mikroorganizmów fermentacji mlekowej, w tym szczepy probiotyczne, jako aktywne składniki poprawiające zdrowie i dobre samopoczucie [24]. Stanowi to szczególne wyzwanie, mając na uwadze, że w trakcie rozwoju żywności zawierającej mikroorganizmy koncepcja produktu musi uwzględniać wymagania konsumentów dotyczące żywności poprawiającej zdrowie, ale nie kosztem smaku, wygody i atrakcyjnej formy produktu [25]. Zmiany trendów na rynku produktów spożywczych są obecnie bardzo dynamiczne. Można zaobserwować obraz całkiem nowego konsumenta,

który jest nie tylko świadomy, ale także zorientowany na produkty nie tylko atrakcyjne wizualnie i sensorycznie, ale także będące odpowiedzią na obecne problemy środowiska [8,24,26,27]. W przypadku roślinnych alternatyw przyjmuje się, że mogą one w wielu aspektach nie być identyczne z produktami tradycyjnymi, jednak możliwie daleko oddawać ich funkcjonalność, co więcej mogą one cechować się wartością dodaną, której nie posiadają produkty tradycyjne, np. zawierać bioaktywne składniki pochodzenia roślinnego [18,25]. Pozyskiwanie roślinnych alternatyw nabiału pozwala na dostarczenie produktów pozbawionych laktozy oraz białek mleka, które mogą wywołać reakcję alergiczną oraz mniej przetworzonych, przez co bogatszych w mikro- i makroelementy. Z uwagi na zastępowanie przetworów mleczarskich produktami roślinnymi, wśród ich konsumentów można zaobserwować szczególny brak dostarczanej w pożywieniu korzystnej mikroflory, która jest jednym z kluczowych elementów niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmu, w tym dobrego samopoczucia. Rynek polski jest ubogi w roślinne alternatywy fermentowanych przetworów mleczarskich, a przedstawione rośliny, z których m.in. pozyskuje się napoje roślinne, posiadają swoje wady oraz pewne ograniczenia w stosowaniu. Surowce do produkcji roślinnych alternatyw nabiału są dość dyskusyjne, np. soja od lat jest rośliną GMO i aktualnie nie można ustalić dokładnego pochodzenia nasion; podobny problem dotyczy ryżu. Wysoka cena produktów roślinnych wynika również z tego, że do ich produkcji używane są całe nasiona lub ziarna - rozwiązaniem może być stosowanie produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego [28,29]. Wzrost świadomości ekologicznej konsumentów wyznacza nowe trendy na rynku, zgodnie z zasadami gospodarki w obiegu zamkniętym (GOZ), biogospodarki i Zielonego Ładu. Przemysł spożywczy generuje powstawanie wielu pozostałości poprodukcyjnych, szczególnie w procesach przetwarzania roślin uprawnych. Produkty takie jak otręby, łuski, wytloki i nasiona mogą być wykorzystywane jako potencjalny surowiec w wielu bioprocessach oraz w przemyśle spożywczym [28]. Zmiana modelu wykorzystania surowców z gospodarki liniowej na model gospodarki o obiegu zamkniętym jest konieczna ze względu na takie zjawiska jak: nadmierna eksploatacja, nieodpowiednie zarządzanie zasobami naturalnymi, niezrównoważone zachowania konsumpcyjne, degradacja środowiska czy zachwianie równowagi ekosystemów oraz postępujące zmiany klimatu [29,30]. Mając na uwadze, że jednym z warunków rozwoju technologii żywności jest wprowadzanie nowoczesnych i przyjaznych środowisku rozwiązań w technologii produkcji, a także poszerzanie asortymentu o nowe produkty spełniające wspomniane warunki, zasadnym jest poszukiwanie

nowych, nieszablonowych sposobów zagospodarowania produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego.

Makuchy są to wytloki będące pozostałością po tłoczeniu olejów z nasion roślin oleistych i są na ogół traktowane jako odpad [29,30]. Aktualnie makuchy używane są jako komponenty paszowe dla zwierząt, przeznaczane na cele opałowe lub rozrzucające na polach uprawnych jako nawóz, zatem ich potencjał jest w dużym stopniu marnowany. Makuchy stanowią cenne źródło wartościowych substancji odżywczych i funkcjonalnych zatem należy je postrzegać jako wartościowe produkty uboczne przemysłu rolno-spożywczego. Szacuje się, że po wytłoczeniu zostaje w nich do 10% oleju, a resztę (nawet 60%) stanowi białko i polisacharydy, w tym błonnik [30]. Do najpopularniejszych na świecie zalicza się makuchy z soi, rzepaku, słonecznika, dyni i lnu [29,30]. Len (*Linum usitatissimum*) jest rośliną charakterystyczną dla tradycyjnej kuchni polskiej, a olej lniany wykazuje wiele właściwości prozdrowotnych. Unikalny skład nasion lnu powoduje, że jest on uznany za żywność funkcjonalną, ponadto zaliczany jest do tzw. „superfoods” XXI wieku [31]. Zainteresowanie zimnotłoczonym olejem lnianym wzrasta z roku na rok, na co wskazuje chociażby zwiększająca się ilość lokalnych tłoczni. Produktem ubocznym z procesu tłoczenia oleju lnianego jest makuch, który używany jest do karmienia zwierząt ze względu na swoje właściwości żywieniowe, w tym dużą zawartość białka (do 30% w suchej masie), błonnika, kwasów tłuszczowych omega-3, przeciwutleniaczy, witamin i składników mineralnych. Jest to cenny surowiec o niskiej cenie rynkowej i dużej dostępności. Doniesienia literaturowe wskazują na możliwość wykorzystania makuchu lnianego jako surowca w procesach biotransformacji m. in. z wykorzystaniem grzybów strzępkowych [32,33]. Jednakże dotychczas dostępne piśmiennictwo dotyczące oceny możliwości wykorzystania tego surowca w kierunku rozwoju innowacyjnych produktów spożywczych nie jest szerokie i z pewnością nie wyczerpuje tego tematu. Kolejna luka w wiedzy dotyczy możliwych przemian jakie mogą zachodzić w produktach na bazie makuchu lnianego w wyniku procesów biotransformacji oraz w czasie chłodniczego przechowywania. W Polsce nie ma linii technologicznych ani technologii pozwalających na zagospodarowanie makuchu lnianego, więc część, która nie jest użyta na materiał paszowy jest utylizowana, a w efekcie marnuje się. Przytoczone powyżej informacje skłoniły mnie do podjęcia badań nad możliwością zagospodarowania makuchu lnianego w kierunku opracowania grupy produktów spożywczych mogących stanowić roślinną alternatywę dla nabiału.

3. Cel naukowy Osiągnięcia

Głównym celem naukowym Osiągnięcia będącego podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego było określenie możliwości wykorzystania makuchu lnianego do opracowania grupy roślinnych produktów spożywczych mogących stanowić alternatywę dla nabiału mlecznego.

Cele szczegółowe obejmowały:

- określenie możliwości wykorzystania makuchu lnianego do opracowania roślinnej przekąski półstałej fermentowanej jako alternatywy dla kefiru;
- określenie możliwości wykorzystania makuchu lnianego do otrzymania napoju fermentowanego z udziałem kultury jogurtowej oraz ustalenie wpływu dodatku prebiotyku na właściwości produktu;
- określenie czy napój lniany fermentowany za pomocą szczepu probiotycznego może mieć potencjalne zastosowanie w prewencji lub łagodzeniu zatruć pokarmowych i poznanie wpływu dodatku cukrów na właściwości przeciwdrobnoustrojowe produktu;
- ustalenie wpływu temperatury powietrza wlotowego podczas procesu suszenia rozpyłowego na właściwości proszków otrzymanych z fermentowanego napoju lnianego, przeżywalność bakterii probiotycznych oraz zachowanie ich cech probiotycznych;
- określenie możliwości wykorzystania makuchu lnianego do opracowania roślinnej alternatywy sera Camembert i określenie wpływu rodzaju kultury starterowej (monokultura i kultura mieszana) na procesy zachodzące podczas dojrzewania produktu.

Metody badawcze

Wykorzystane w przedstawionym Osiągnięciu naukowym metody analiz fizykochemicznych, mikrobiologicznych i oceny bioaktywności obejmowały:

- badania suchej masy (metoda termograwimetryczna), zawartości popiołu (po spaleniu w piecu), zawartości białek (metoda Kjeldahla), zawartości tłuszczu (metoda Bligha i Dyera);
- badania kwasowości czynnej (z wykorzystaniem pH-metru) oraz miareczkowej (z wykorzystaniem NaOH i fenoloftaleiny jako wskaźnika);
- badania fizycznych parametrów barwy produktów wg standardu CIE Lab (z wykorzystaniem kolorymetru);
- badania tekstury;
- badania reologiczne (badanie lepkości w funkcji zmiennej siły ścinającej);
- badania rozkładu wielkości cząstek (metoda na mokro – z wykorzystaniem urządzenia Mastersizer);
- badania zawartości związków bioaktywnych: związków cyjanogennych (metoda miareczkowa z AgNO₃), polifenoli ogółem (metoda Folina-Ciocalteu), flawonoidów ogółem (metoda z AlCl₃), cukrów redukujących ogółem (z wykorzystaniem odczynnika DNS), wolnych aminokwasów (metoda z odczynnikiem ninhydrina CdCl₂), kwasu askorbinowego (metoda miareczkowa z 2,6-dichlorofenolindofenolem);
- badania aktywności przeciwutleniającej (zdolność do wygaszania rodników DPPH, ABTS, O₂⁻, ·OH), potencjału redukującego (reducing power, z wykorzystaniem K₃[Fe(CN)₆]);
- badania stabilności oksydacyjnej tłuszczu – określenie liczby nadtlenkowej, kwasowej, anizydynowej, jodowej, wskaźnika TOTOX;
- określenie liczebności grup mikroorganizmów w produktach (bakterie kwasu mlekowego, drożdże, pleśnie), aktywności przeciwdrobnoustrojowej produktów względem patogenów;
- określenie przeżywalności bakterii probiotycznych w warunkach symulowanego przewodu pokarmowego oraz zachowania ich cech probiotycznych;

Dodatkowo, w przypadku proszków suszonych rozpyłowo badania poszerzono o następujące analizy fizykochemiczne:

- aktywność wody w proszkach;
- wielkość cząstek proszków (metodą na sucho – z wykorzystaniem urządzenia Mastersizer);

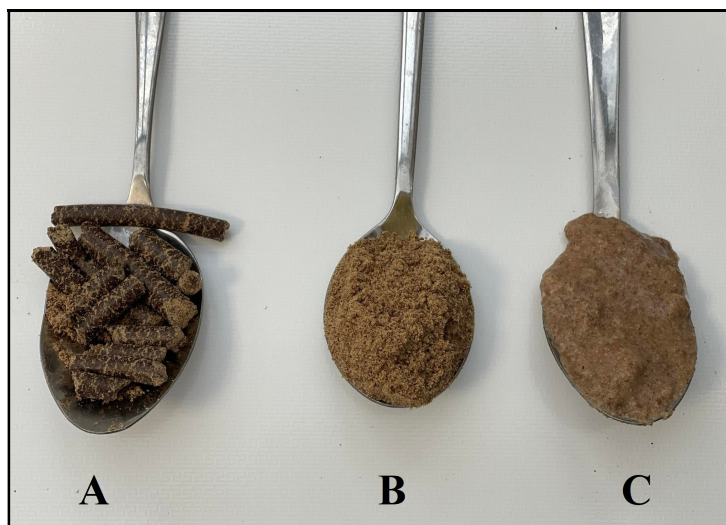
- ocenę morfologii proszków z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej SEM;
- określenie gęstości nasypowej luźnej i utrzęsionej;
- ocenę zmian składu chemicznego (z wykorzystaniem spektroskopii FTIR) oraz ilościowe oznaczenie grup -S-S- i -SH (z wykorzystaniem odczynnika Ellmana).

4. Omówienie wyników badań w ramach założonych celów

4.1. Wykorzystanie makuchu lnianego do opracowania roślinnej przekąski półstałej fermentowanej jako alternatywy dla kefiru

Kefir to jeden z najpopularniejszych rodzajów mleka fermentowanego spożywanych na świecie, jest napojem produkowanym w procesie fermentacji różnych rodzajów mleka, np. owczego, krowiego czy koziego [1,11]. Tradycyjnie kefir produkuje się poprzez dodanie do mleka kultury starterowej, zwanej "ziarnami kefirowymi". Mikroflora stosowane w produkcji kefiru składa się z symbiotycznych drożdży fermentujących laktozę oraz drożdży nie fermentujących laktozy, a także LAB, produkujących i zasiedlających polisacharydowo-białkową matrycę zwaną kefiranem. Według doniesień literaturowych kefiran wykazuje działanie prozdrowotne, a także ma istotny wpływ na lepkość produktu finalnego. Spożywanie kefiru dostarcza korzystnych bakterii, drożdży, witamin, minerałów, kwasów tłuszczowych i pełnowartościowego białka, dzięki czemu produkt ten cechuje się licznymi właściwościami prozdrowotnymi, w tym: przeciwzapalnymi, przeciwnowotworowymi, oraz regulującymi poziom reaktywnych form tlenu (reactive oxygen species - ROS) [1,11,34]. Choć w przemyśle najczęściej stosuje się gotowe kultury starterowe, wśród konsumentów dużą popularnością cieszą się ziarna kefirowe, które można wykorzystać w warunkach domowych. Z uwagi na wzrost zainteresowania dietą roślinną poszukuje się nowych surowców do produkcji alternatyw dla kefiru, zapewniających wysoką efektywność fermentacji oraz przeżywalność mikroorganizmów w trakcie chłodniczego przechowywania [12]. **W związku z tym w pracy H1 założyłem, że z makuchu lnianego można otrzymać bioaktywną półstałą przekąskę wykorzystując do fermentacji ziarna kefirowe.** Istotnym czynnikiem mogącym ograniczać możliwość wykorzystania makuchu lnianego jako surowca do otrzymywania nowych produktów spożywczych są zawarte w nim związki antyodżywcze – cyjanoglikozydy, których spożywanie w nadmiernej ilości może powodować zatrucia.

Dlatego niezwykle ważnym jest dobór odpowiedniej metody przygotowania materiału gwarantujący bezpieczeństwo dla konsumentów. Wśród procesów technologicznych, za pomocą których można zmniejszyć zawartość tych związków stosowane są m. in. metody enzymatyczne lub termiczne. Biorąc pod uwagę, że surowiec przeznaczony do procesu biotransformacji wymaga odpowiedniej czystości mikrobiologicznej (którą uzyskuje się np. poprzez pasteryzację) założyłem, że obróbka termiczna może być procesem, który zapewni spełnienie obu warunków. W tym celu w pierwszym etapie pracy **H1** oceniono wpływ obróbki termicznej na poziom związków cyjanogennych w makuchu lnianym (wyrażonych jako zawartość cyjanowodoru - HCN). Uzyskane wyniki wykazały, że dzięki zastosowaniu tego procesu poziom związków cyjanogennych spadł o 94%, co pozwala na stwierdzenie możliwości bezpiecznego wykorzystania makuchu lnianego do dalszych procesów technologicznych. W związku z tym, do fermentacji makuchu lnianego wykorzystano ziarna kefirowe. Po fermentacji (24 h, 25°C) produkty były przechowywane w warunkach chłodniczych przez 21 dni (Fot. 1).



Fot. 1. A - makuch lniany, B - zmielony makuch lniany, C - makuch lniany po fermentacji z ziarnami kefirowymi

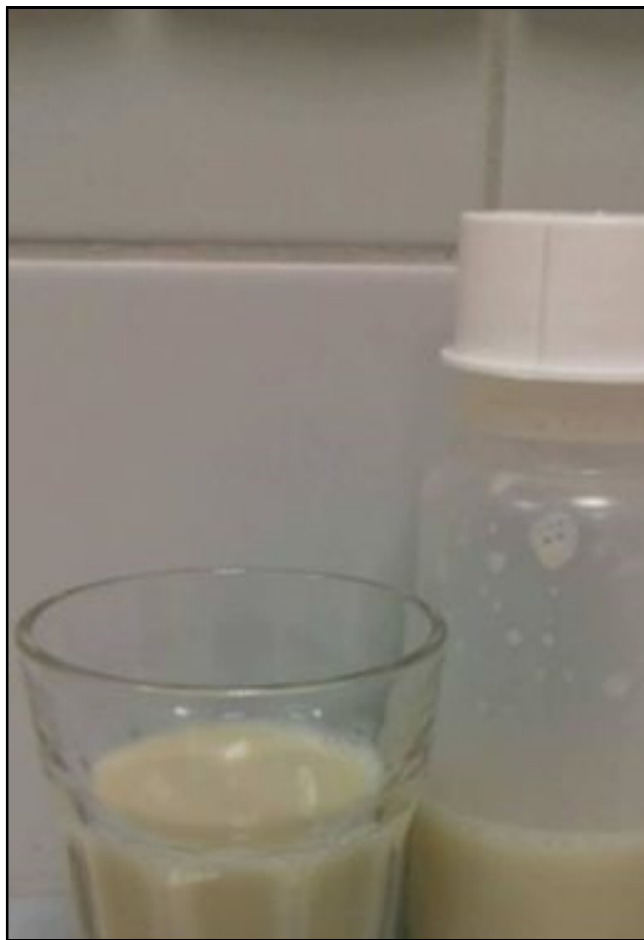
Analizy wykonano w dniach: 1. (po fermentacji), 4., 7., 14. oraz 21. Próbę kontrolną stanowiły warianty nie poddane procesowi fermentacji. Zgodnie z wytycznymi Organizacji Narodów Zjednoczonych do Spraw Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) jak również Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) kefir powinien zawierać co najmniej 10^7 jtk/ml LAB i co najmniej 10^4 jtk/ml komórek drożdży. Stwierdzono, że makuch lniany jest dobrą matrycą do rozwoju mikroorganizmów zawartych w ziarnach kefirowych, bowiem w każdym z dni w jakich przeprowadzono analizy poziom mikroorganizmów nie spadł poniżej rekomendowanych wartości, a w przypadku drożdży przekraczały one ten poziom nawet

o 2-4 rzędy logarytmiczne. Ze względu na dobrze udokumentowane działanie prebiotyczne polisacharydów lnianych, obserwowana wysoka przeżywalność mikroorganizmów może wynikać z obecności tych związków w matrycy produktu [35]. Wysoka liczebność LAB i ich aktywność metaboliczna wiązała się ze znacznym spadkiem pH i wzrostem kwasowości produktów, co jest efektem produkcji kwasów organicznych (głównie kwasu mlekowego). O wysokiej aktywności metabolicznej mikroorganizmów świadczyły również zaobserwowane zmiany zawartości cukrów redukujących – w pierwszym dniu po fermentacji stwierdzono znaczący wzrost zawartości tych składników, co wynika z hydrolizy złożonych polisacharydów przez enzymy mikroorganizmów. Jednakże, w dalszych dniach chłodniczego przechowywania produktów odnotowano tendencję spadkową, co wynikało z dalszej hydrolizy powstałych oligosacharydów do cukrów prostych i wykorzystania ich przez mikroorganizmy jako źródło energii niezbędnej do utrzymania funkcjonowania komórek. Może to zatem tłumaczyć wysoką przeżywalność mikroorganizmów (szczególnie drożdży) w produktach w całym okresie chłodniczego przechowywania. Stwierdzono również wzrost poziomu polifenoli i flawonoidów (szczególnie w wariancie 15%), jak również właściwości przeciwutleniających i zdolności do wygaszania wolnych rodników DPPH i ABTS. Przyjmuje się, że procesy fermentacji pozytywnie wpływają na zawartość przeciwutleniaczy w surowcach roślinnych. Wynika to z aktywności metabolicznej mikroorganizmów, m.in. z wydzielania enzymów zdolnych do hydrolizy związków z polisacharydami ściany komórkowej biomasy roślinnej związków o działaniu przeciwutleniającym, np. polifenoli i flawonoidów, co zwiększa ich biodostępność [23,36]. Dotyczy to głównie estrów kwasów fenolowych i glikozydów, po rozkładzie których dochodzi do uwolnienia formy kwasowej lub aglikonowej, której przypisuje się największe właściwości przeciwutleniające. W badaniach własnych obserwowane zmiany barwy produktów zależne były od udziału makuchu lnianego w suchej masie jak również prawdopodobnie od zmian kwasowości w czasie chłodniczego przechowywania, z kolei wykazany znaczący wzrost lepkości produktów, można przypuszczalnie powiązać z produkcją kefiranu. **Podsumowując ten etap badań stwierdziłem, że obróbka cieplna zapewnia bezpieczeństwo stosowania makuchu lnianego, z którego można otrzymać półstały produkt wykorzystując ziarna kefirowe, charakteryzujący się wysoką zawartością mikroorganizmów kefirowych (bakterii i drożdży), a także zwiększonym poziomem związków bioaktywnych o potencjalnym działaniu przeciwutleniającym.**

4.2. Zastosowanie makuchu lnianego do opracowania napoju roślinnego fermentowanego z udziałem kultury jogurtowej

Napoje roślinne to zawiesiny lub emulsje powstałe z rozdrobnienia materiału roślinnego w wodzie, przypominające swoim wyglądem i konsystencją mleko krowie [15]. Najpopularniejszymi napojami roślinnymi są te otrzymywane z soi, migdałów, orzecha kokosowego, owsa, ryżu czy orzechów laskowych, jednakże stale wzrasta oferta dostępnych produktów. Metody otrzymywania napojów roślinnych opierają się na podobnych zasadach obejmujących oczyszczenie surowca, moczenie w wodzie, obróbkę (mechaniczną, enzymatyczną, termiczną), filtrację, ewentualny dodatek innych składników i substancji pomocniczych (np. soli mineralnych, witamin, stabilizatorów, emulgatorów, regulatorów kwasowości) oraz końcową pasteryzację przed umieszczeniem w opakowaniu. Z uwagi na fakt, że jednym z najpopularniejszych fermentowanych przetworów mleczarskich jest jogurt, podejmowane są próby fermentacji napojów roślinnych z udziałem kultur jogurtowych [37,38]. Napoje roślinne mogą być również wzbogacane prebiotykami. Zgodnie z definicją przyjętą w 2016 roku na spotkaniu Międzynarodowego Towarzystwa Naukowego Probiotyków i Prebiotyków prebiotyki określane są jako substraty, które są selektywnie wykorzystywane przez mikroorganizmy gospodarza i przyczyniają się tym samym do poprawy stanu jego zdrowia [39]. Do substancji spełniających kryteria stawiane prebiotykom należy inulina – mieszanina oligomerów i polimerów liniowych cząsteczek β -D-fruktozy połączonych ze sobą wiązaniami $\beta(2-1)$ -glikozydowymi i jedną cząsteczką D-glukozy umieszczoną na końcu jej łańcucha. Z uwagi na swoją specyficzną budowę chemiczną, inulina jest odporna na działanie enzymów trawiennych wydzielanych na obszarze układu pokarmowego. W niezmienionej formie inulina dociera do jelit, gdzie pod wpływem rezydującej tam mikrobioty (głównie z rodzajów *Lactobacillus* oraz *Bifidobacterium*) ulega fermentacji. Fermentacja bakteryjna inuliny wywiera efekt bifidogeny, przejawiający się zwiększonym wzrostem populacji oraz aktywności metabolicznej LAB, które konkurują z bakteriami chorobotwórczymi o miejsce adhezji na nabłonku jelitowym. **W związku z tym w pracy H2 założyłem, że z makuchu lnianego można otrzymać napój roślinny, który można poddać procesowi fermentacji z wykorzystaniem kultury jogurtowej, a dodatek prebiotyku (inuliny) może mieć korzystny wpływ na cechy powstałego produktu.** Wykazano, że dodatek inuliny w stężeniach 5 g/l i 10 g/l korzystnie wpłynął na liczebność bakterii jogurtowych w produkcie po procesie fermentacji. Najwięcej komórek LAB w czasie chłodniczego przechowywania przez 21 dni stwierdzono w napoju z dodatkiem 10 g/l inuliny.

Należy podkreślić, że w wariancie bez dodatku inuliny liczebność komórek LAB również utrzymywała się na poziomie powyżej rekomendowanego dla jogurtów mlecznych (10^6 jtk/ml), zatem zasadne jest stwierdzenie, że napój lniany jest dobrą matrycą do namnażania i utrzymania wysokiej liczebności bakterii jogurtowych w warunkach chłodniczych i wynika to z prebiotycznych właściwości polisacharydów lnianych. Stwierdzono również, że napoje z dodatkiem inuliny cechowały się wyższą kwasowością i niższym pH (4,39 i 4,38 odpowiednio dla dodatku 5 g/l i 10 g/l inuliny) niż napój bez dodatku (4,44), jednakże wszystkie wartości pH były znacząco niższe niż dla napoju niepoddanego fermentacji (5,95), co świadczy o produkcji kwasu mlekowego przez bakterie jogurtowe. W przypadku zawartości cukrów redukujących, odnotowano tendencję wzrostową w każdym z wariantów podczas całego okresu chłodniczego przechowywania. Porównując zatem wyniki uzyskane w pracach **H2** i **H1** (początkowy wzrost zawartości cukrów redukujących, następnie tendencja spadkowa, wysoka liczebność drożdży kefirowych) można zauważyć, że przemiany te zależne są od kultury starterowej (zestawu mikroorganizmów) wykorzystanych do biotransformacji makuchu lnianego. Analizie poddano również wielkość cząstek napojów oraz właściwości reologiczne stosując model Herschela-Bulkleya. Stwierdzono, że napoje z dodatkiem inuliny charakteryzowały się większą średnicą cząstek (spowodowaną przypuszczalnie flokulacją w wyniku zakwaszenia środowiska produktu lub tworzeniem mikrokryształów inuliny) oraz niższą granicą płynięcia. Można przypuszczać, że związane jest to ze zbyt niskim dodatkiem inuliny, niewystarczającym do wytworzenia trwałego żelu, jednakże celem pracy **H2** nie było wykorzystanie inuliny jako zagęstnika. Dla wszystkich wariantów napojów odnotowano spadek lepkości w czasie chłodniczego przechowywania (spowodowany hydrolizą polisacharydów). **Bazując na otrzymanych wynikach z niniejszych badań, można stwierdzić, że z makuchu lnianego można otrzymać napój roślinny (Fot. 2), który można poddać procesowi fermentacji z udziałem bakterii jogurtowych, zaś dodatek inuliny jako prebiotyku korzystnie wpływa na liczebność mikroorganizmów w napoju i ich aktywność metaboliczną.**



Fot. 2. Opracowany napój lniany (prace H2 i H3)

4.3. Zastosowanie makuchu lnianego do opracowania roślinnej alternatywy napoju roślinnego fermentowanego za pomocą szczepu probiotycznego

Wyniki uzyskane w trakcie doświadczenia (praca **H2**) były punktem wyjścia do podjęcia badań dotyczących wykorzystania probiotycznego szczepu *Lactocaseibacillus rhamnosus* GG - LGG (do niedawna *Lactobacillus rhamnosus* GG). Jednym z wyzwań podczas opracowywania nowych produktów roślinnych jest zapewnienie ich trwałości i stabilności mikrobiologicznej [40]. Powszechnym rozwiązaniem jest stosowanie chemicznych środków konserwujących, które jednak mogą mieć negatywny wpływ na zdrowie konsumentów jak również nie spełniają ich oczekiwań, szczególnie w odniesieniu do produktów roślinnych, które postrzegane są jako „zdrowsze”, „przyjaźniejsze środowisku”, „mniej przetworzone”. W związku z tym, na popularności zyskują „zielone” sposoby biokonserwacji produktów, np. dodatek substancji o działaniu przeciwdrobnoustrojowym (ekstrakty roślinne, olejki eteryczne, kwasy organiczne, bakteriocyny) lub wykorzystanie mikroorganizmów fermentacji

mlekowej i/ lub probiotycznych, które wykazują istotną rolę w stabilizacji (konserwacji) biologicznej produktów spożywczych. Szczep LGG używany jest jako naturalny środek konserwujący (w jogurtach i innych przetworach mleczarskich) przedłużający ich okres przydatności do spożycia, w związku z jego zdolnością do produkcji aktywnych metabolitów o działaniu przeciwdrobnoustrojowym: kwasów organicznych (głównie kwasu mlekowego), nadtlenku wodoru oraz niskocząsteczkowych peptydów [41]. **W pracy H3 założyłem zatem, że wykorzystując probiotyczny szczep LGG można otrzymać fermentowany napój lniany, który będzie cechować się właściwościami przeciwdrobnoustrojowymi względem wybranych bakterii patogennych. Założyłem również, że wzbogacenie napoju w cukry (glukozę i fruktozę) wpłynie korzystnie na cechy otrzymanego produktu.** W tym celu przeprowadzono fermentację z wykorzystaniem LGG trzech wariantów napoju lnianego: (i) wariant kontrolny bez dodatku, (ii) wariant z dodatkiem 1% glukozy, (iii) wariant z dodatkiem 1% fruktozy. Wykazano stymulujący dodatek cukrów na produkcję kwasu mlekowego przez LGG (pH 3,53-3,55). Wariant bez dodatków cechował się wyższą kwasowością (pH 4,36) niż opisany w pracy H2 otrzymany z udziałem kultury mieszanej bakterii jogurtowych (pH 4,44). Podobnie jak w pracy H2 stwierdzono spadek lepkości produktów po fermentacji. Wykazano stymulujące działanie cukrów na poziom związków o działaniu przeciwutleniającym (polifenoli i flawonoidów). W kolejnym etapie do fermentowanych wariantów napoju dodano zawiesiny bakterii chorobotwórczych: *Enterococcus faecalis*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella enterica* subsp. *enterica* ser. Typhimurium i *Staphylococcus aureus* MRSA. Po 5, 24 i 48 godzinach przechowywania w warunkach chłodniczych wykonywano posiewy mające na celu określenie liczebności patogenów, jak również LGG. Odnotowano, że obecność bakterii chorobotwórczych stymulowała LGG do dalszego namnażania. Stwierdzono, że fermentowane napoje lniane cechowały się właściwościami przeciwdrobnoustrojowymi, o czym świadczy znacząca redukcja liczebności wszystkich testowanych bakterii chorobotwórczych, zaś efekt ten wynika z produkcji kwasu mlekowego przez LGG. Największy spadek liczby patogenów zaobserwowano w próbach z dodatkiem cukrów – całkowitą redukcją żywych komórek *S. enterica* zaobserwowano po 5 h, *E. coli* po 24 h, natomiast w przypadku *E. faecalis* po 48 h inkubacji w fermentowanym napoju lnianym. Całkowitą redukcję liczebności *P. aeruginosa* stwierdzono po 24 h w wariacie z 1% fruktozy, natomiast w wariacie z 1% glukozy po 48 h. Jedynie w przypadku *S. aureus* odnotowano wyłącznie częściową redukcję komórek. Znaczące zmniejszenie (jednak brak całkowitej redukcji) liczby żywych komórek patogenów odnotowano również w wariacie

bez dodatku cukrów. Należy więc stwierdzić, że dodatek cukrów wpływa korzystnie na efektywność fermentacji napoju lnianego przez LGG zwiększając jego aktywność przeciwdrobnoustrojową. Mechanizm działania przeciwdrobnoustrojowego kwasu mlekowego w niezdysoncjowanej postaci polega na wnikaniu do komórek bakteryjnych i dysocjacji wewnątrz cytoplazmy, co prowadzi do obniżenia pH wewnątrzkomórkowego i akumulacji kwasu w formie jonu mleczanowego, co w konsekwencji prowadzi do śmierci komórki, jednakże efekt ten obserwowany jest głównie w przypadku bakterii Gram ujemnych (z uwagi budowę ściany komórkowej) [42]. Zatem różnice w budowie ściany komórkowej mogą tłumaczyć słabszy efekt przeciwdrobnoustrojowy w odniesieniu do bakterii Gram dodatnich: *E. faecalis* oraz *S. aureus*. **Podsumowując ten etap badań, stwierdziłem, że z napoju lnianego można otrzymać napój fermentowany z wykorzystaniem probiotycznego szczepu LGG. Napoje z dodatkiem glukozy i fruktozy cechowały się wyższą kwasowością, jak również najsilniejszym działaniem przeciwdrobnoustrojowym. Dzięki temu otrzymany napój może potencjalnie znaleźć zastosowanie w profilaktyce lub łagodzeniu zatruc pokarmowych bakteriami chorobotwórczymi.**

4.4. Zastosowanie makuchu lnianego do opracowania roślinnej alternatywy mleka w proszku suszonego rozpyłowo

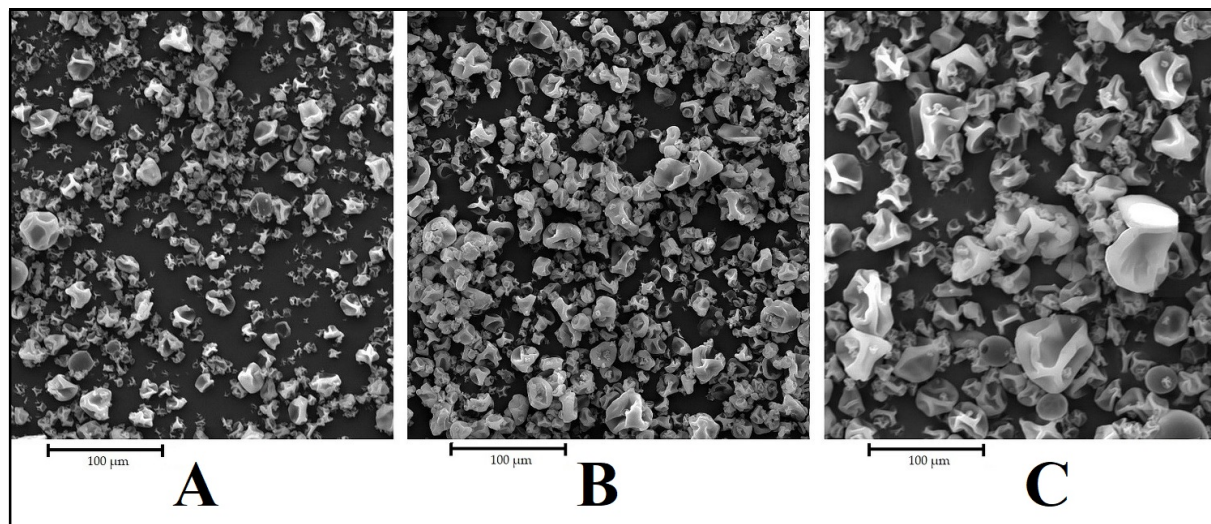
Uzyskane wyniki (praca H3) zainspirowały mnie do poszerzenia badań nad możliwością otrzymania produktu instant z napoju lnianego fermentowanego z wykorzystaniem szczepu LGG. Instancyzacja jest procesem, pozwalającym na doprowadzenie produktu do sypkiego koncentratu, który łatwo ulega rozpuszczeniu w wodzie. Jedną z metod instancyzacji jest suszenie rozpyłowe polegające na rozpylaniu płynu w gorącej atmosferze przepływającego suszącego gazu w postaci mgły (krople o średnicy 10-300 μm), która wewnątrz zamkniętej przestrzeni (komory suszarki) kontaktuje się z gorącym gazowym medium suszącym, wówczas woda jest odparowywana w bardzo krótkim czasie (1-20 s). Produkt, poddany temu zabiegowi, powinna cechować jednocześnie możliwość powrotu do poprzedniego stanu po dodaniu odpowiedniej ilości wody (odtworzenia) oraz przedłużona trwałość [43]. Suszenie rozpyłowe znajduje szerokie zastosowanie w wielu sektorach przemysłu, takich jak przemysł farmaceutyczny, agrochemiczny, chemiczny czy biotechnologiczny. W przemyśle spożywczym rozwiązanie to adresowane jest do producentów produktów instant (w tym mleka w proszku) oraz żywności specjalnego przeznaczenia [44]. Otrzymany w wyniku suszenia rozpyłowego produkt w porównaniu z produktem płynnym charakteryzuje się

dłuższą trwałością, łatwością wykorzystania oraz mniejszą objętością, co jest istotne zarówno podczas transportu, jak i składowania. Poszukując naturalnych roślinnych nośników szczególną uwagę kieruje się w kierunku produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego, które zawierają biopolimery (białka, polisacharydy) o właściwościach ścianotwórczych [45,46]. Wcześniejsze doniesienia wskazują, że z ekstraktu z makuchu lnianego można uzyskać metodą suszenia rozpyłowego proszki o właściwościach emulgujących, warunkowanych przez zastosowaną temperaturę powietrza wlotowego [47,48]. Ekstrakt z makuchu lnianego może być wykorzystany jako naturalny emulgator i nośnik emulsji suszonych rozpyłowo o możliwości ponownego odtworzenia [49]. **W związku z tym w pracy H4 założyłem, że napój lniany z uwagi na swój skład może być materiałem ścianotwórczym w procesie enkapsulacji probiotycznego szczepu LGG zachodzącym podczas suszenia rozpyłowego w różnych temperaturach. Jednocześnie przyjąłem, że powstały proszek będzie cechował się możliwością ponownego odtworzenia, pozwalającą zachować wysoką przeżywalność i cechy probiotyczne szczepu LGG w czasie przejścia przez symulowany przewód pokarmowy.** W tym celu napój lniany fermentowany z wykorzystaniem szczepu LGG poddano suszeniu rozpyłowemu stosując stały przepływ powietrza oraz temperaturę powietrza wylotowego, natomiast parametrem zmiennym była temperatura powietrza wlotowego (110°C, 140°C i 170°C). Określono wpływ zróżnicowanej temperatury na właściwości fizykochemiczne proszków: zawartość i aktywność wody, morfologię, sypkość (na podstawie gęstości luźnej i utręsionej oraz oszacowania indeksów Carra i Hausnera) oraz zmiany grup funkcyjnych wykorzystując spektroskopię FTIR. Przykład proszku z makuchu lnianego otrzymanego metodą suszenia rozpyłowego przedstawiono na Fot. 3.



Fot. 3. Proszek otrzymany z napoju lnianego metodą suszenia rozpyłowego (temp. 110°C)

W kolejnym etapie badań proszki poddano ponownemu upłynnieniu. Określono przeżywalność komórek LGG oraz zmiany kwasowości. Jako wskaźnik procesów termicznej denaturacji białek przeanalizowano zmiany zawartości wolnych aminokwasów, ilości mostków disiarczkowych (-S-S-) oraz grup tiolowych (-SH). Stwierdzono, że wraz ze wzrostem temperatury wzrastała zawartość suchej masy w proszkach (89.01-91.13%), natomiast malała aktywność wody (0,453-0,297). Wilgotność w zakresie 4-10% i aktywność wody $< 0,7$ są rekomendowanymi wartościami dla produktów suszonych rozpyłowo, zatem można stwierdzić, że uzyskane proszki charakteryzowały się dobrymi właściwościami. Bezpośrednio po suszeniu określono właściwości uzyskanych proszków za pomocą wskaźników Carra i Hausnera, które opisują kolejno sypkość i ściśliwość proszków. Wraz ze wzrostem temperatury powietrza wlotowego malała gęstość luźna oraz utręszona proszków, jednakże rosła średnica cząstek proszków, co również potwierdziła analiza mikroskopowa SEM. Proszek suszony w temperaturze 110°C określiłem jako materiał o niskiej kohezji i dobrej sypkości, bowiem im niższa wartość współczynnika Hausnera tym lepszymi właściwościami cechują się materiały proszkowe. W obrazach mikroskopowych SEM nie odnotowano obecności wolnych komórek LGG, ponadto średnica cząstek proszków mieściła się w zakresie 32.91-42.91 μm , co w porównaniu z wielkością komórek LGG (1-5 μm), pozwala stwierdzić dobrą zdolność składników napoju lnianego do enkapsulacji („zamykania”) komórek bakteryjnych (Fot. 4).



Fot. 4. Zdjęcia SEM proszków suszonych rozpyłowo (A – 110°C, B – 140°C, C – 170°C)

Wysoka efektywność enkapsulacji może wynikać z oddziaływań elektrostatycznych pomiędzy dwoma głównymi składnikami napoju lnianego: anionowych polisacharydów i amfoterycznych białek. W ramach analizy spektroskopowej FTIR szczególną uwagę

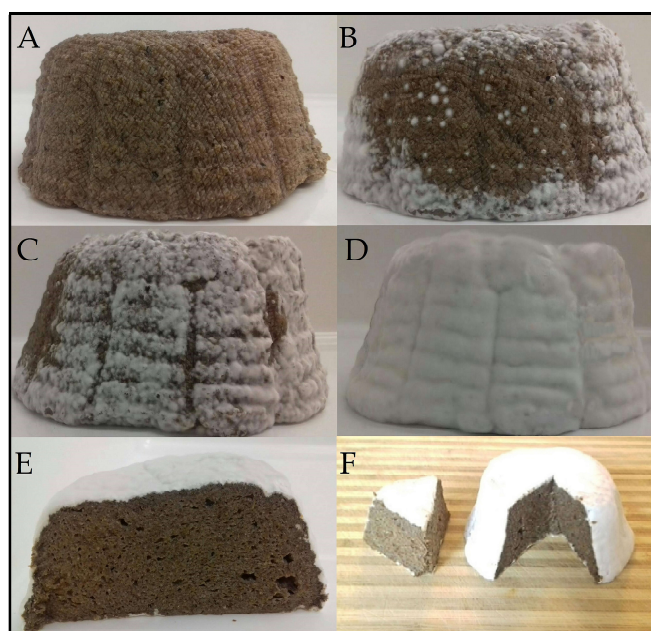
zwróciły zmiany (spadek intensywności pasm) w zakresie liczb falowych 1652-1546 cm^{-1} (wiązania C=O, N-H, C-N) sugerujące częściową denaturację i hydrolizę białek (lnianych i przypuszczalnie bakteryjnych). Potwierdzeniem tych obserwacji był wzrost ilości wolnych aminokwasów, spadek ilości grup tiolowych (-SH) oraz wzrost ilości mostków disiarczkowych (-S-S-) wraz ze wzrastającą temperaturą powietrza wlotowego. Dla proszku suszonego w temperaturze 110°C odnotowano najwyższą przeżywalność komórek LGG (96.32%), wzrastająca temperatura wpływała negatywnie na przeżywalność bakterii (89.41% dla proszku suszonego w temperaturze 170°C), jednakże różnice te nie były potwierdzone statystycznie. Podobną przeżywalność dla szczepu *L. plantarum* stwierdzili Lipan i wsp. podczas suszenia rozpyłowego napoju migdałowego (170-190°C) [50]. Wysoka przeżywalność szczepu LGG może wynikać z termoprotekcyjnych właściwości białek i polisacharydów lnianych, podobnie do roli jaką odgrywają laktoza, kazeina, oraz białka serwatki lub maślanki podczas suszenia rozpyłowego produktów nabiałowych. Wspomniane termoprotekcyjne właściwości wynikają ze zdolności do ochrony błon bakteryjnych przed uszkodzeniem (m. in. poprzez zastępowanie wody). We wcześniejszych badaniach wraz z zespołem wykazaliśmy, że polisacharydy i białka lniane cechuje wysoka synergistyczna zdolność do wiązania wody i oleju [47], zatem można przypuszczać, że właściwości te mogły mieć istotny wpływ na przeżywalność komórek LGG podczas suszenia rozpyłowego. Po ponownym upłynnieniu napoje charakteryzowały się zmniejszoną kwasowością, wynikającą prawdopodobnie z degradacji lub odparowania kwasu mlekowego. W kolejnym etapie badań upłynnione próby poddano pasażowi przez symulowany przewód pokarmowy (Gastrointestinal Tract Simulator - GITS), składający się z szeregu następujących po sobie bioreaktorów połączonych przewodami, w których treść przesuwana jest z wykorzystaniem pomp perystaltycznych, symulującym fizjologiczne warunki panujące w odcinkach ludzkiego przewodu pokarmowego: jamy ustnej, żołądka, soku jelitowego. Ponadto, na każdym z etapów GITS przeprowadzono badania hydrofobowości, adhezji do mucyny oraz zdolności do wiązania cholesterolu przez szczep LGG jako wyznaczników jego cech probiotycznych. Stwierdzono brak wpływu temperatury suszenia rozpyłowego na wrażliwość komórek LGG w GITS, jednakże w przypadku odtworzonych napojów przeżywalność komórek LGG na odcinkach symulujących środowisko żołądka i jelita cienkiego była o 1 rząd logarytmiczny mniejsza niż w przypadku napoju nie poddanego procesowi suszenia. Cechy probiotyczne szczepu LGG zostały w dużym stopniu zachowane: nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic w hydrofobowości, odnotowano zmniejszenie zdolności adhezji do mucyny o ok. 3.49%, natomiast w przypadku zdolności do wiązania cholesterolu statystycznie istotną

różnicę odnotowano jedynie w przypadku komórek, które poddano suszeniu w temperaturze 170°C. Reasumując, na tym etapie badań stwierdziłem, że metodą suszenia rozpyłowego można otrzymać proszki z napoju lnianego fermentowanego z wykorzystaniem probiotycznego szczepu LGG. Napój lniany z uwagi na zawartości składników ścianotwórczych (polisacharydów oraz białek) jest dobrym nośnikiem bakterii w procesie mikroenkapsulacji i w czasie symulowanego przejścia przez przewód pokarmowy, zapewniającym wysoką przeżywalność komórek bakteryjnych. Temperatura powietrza wlotowego ma istotny wpływ na właściwości fizykochemiczne uzyskanych proszków i napojów po ponownym upłynnieniu. Wyniki analiz cech probiotycznych LGG pozwalają na poszerzenie wiedzy na temat wrażliwości tego szczepu na warunki panujące podczas suszenia rozpyłowego.

4.5. Zastosowanie makuchu lnianego do opracowania roślinnej alternatywy sera pleśniowego Camembert

Jednym z głównych kierunków zastosowań grzybów strzępkowych w przemyśle mleczarskim jest produkcja serów dojrzewających z porostem pleśniowym (np. Camembert), w której stosuje się szczepy pleśni *Penicillium camemberti* (PC) i drożdży *Geotrichum candidum* (GC) o zdolnościach proteolitycznych i lipolitycznych [51]. Są to sery miękkie, których powierzchnia podczas dojrzewania pokrywa się białą grzybnią, powodującą w czasie rozwoju szereg złożonych przemian biochemicznych m. in. peptonizację białek i rozkład lipidów w wyniku działań enzymów (proteaz i lipaz), co kształtuje cechy fizykochemiczne produktu (m.in. teksturę, walory smakowo-zapachowe) oraz wpływa na zawartość związków bioaktywnych (m. in. białek, peptydów, aminokwasów, kwasów tłuszczowych). Dotychczas dostępne piśmiennictwo dotyczące wykorzystania wymienionych kultur starterowych do otrzymywania roślinnych zamienników serów pleśniowych nie jest szerokie i ogranicza się do kilku przykładów (np. z orzechów) i nie wyczerpuje tego tematu. Dostępna literatura wskazuje możliwość wykorzystania grzybów strzępkowych (*Rhizopus oligosporus*, *Aspergillus oryzae* i *Neurospora intermedia*) do procesów biotransformacji makuchu lnianego w kierunku żywności funkcjonalnej typu tempe, koji i onkom [32,33]. W związku z tym, w pracy H5 założyłem, że makuch lniany może być wykorzystany jako surowiec do otrzymania produktu będącego alternatywą dla tradycyjnego dojrzewającego sera pleśniowego Camembert, poprzez wykorzystanie kultur starterowych: bakteryjnej MST Cheese-Tek® (zawierającej *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*,

Lactococcus lactis subsp. *cremoris* i *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*), pleśni PC[®] (*Penicillium camemberti*) oraz drożdży GEO[®] (*Geotrichum candidum*). Badania przeprowadzono w dwóch wariantach zastosowanych kultur: (i) LAB + monokultura PC; (ii) LAB + kultura mieszana PC + GC. Aby przeprowadzić cały proces produkcji i dojrzewania zgodnie ze sztuką serowarską, produkty najpierw przechowywano przez 24 godziny w temperaturze 25°C (celem umożliwienia wzrostu LAB i zakwaszenia produktu stymulującego wzrost grzybów). Następnie produkty posolono i umieszczono w komorze klimatycznej. Przez 14 dni proces prowadzony był w temperaturze 12°C (warunki sprzyjające wzrostowi grzybów i formowaniu tzw. „skórki”), następnie produkty pakowane były w papier powleczony polietylenem i kontynuowano proces przez kolejne 14 dni w temperaturze 6°C (dojrzewanie). Zastosowanie monokultury lub kultury mieszanej nie miało wpływu na liczebność bakterii kwasu mlekowego (która utrzymywała się podczas całego procesu powyżej poziomu 10⁶ jtk/g), jednakże stwierdzono wyraźny synergistyczny wzrost grzybów w kulturze mieszanej. Podobne obserwacje, dotyczące wzrostu tych gatunków w kulturach mieszanych (włączając w to zwiększoną produkcję enzymów hydrolitycznych, a także wykorzystanie wydzielanych *P. camemberti* gorzkich peptydów przez *G. candidum*) są znane z literatury przedmiotu [52,53]. Odnotowano przerośnięcie powierzchni produktów przez grzybnię i formowanie tzw. „skórki” na powierzchni produktów, co jest typowe dla tradycyjnego sera Camembert i wynika z tlenowego charakteru wzrostu grzybów (Fot. 5).



Fot. 5. Wygląd roślinnej alternatywy sera Camembert (wariant PC + GC) po 24 h (A), 7 dniach (B), 14 dniach (C), 21 dniach (D), 28 dniach (E,F)

W pierwszej dobie procesu stwierdzono wzrost kwasowości produktów, wynikający z produkcji kwasu mlekowego przez LAB. Jest to bardzo ważny element procesu produkcji sera Camembert, który stwarza korzystne środowisko dla dalszego rozwoju grzybów. Wykorzystane w doświadczeniu grzyby mają zdolność do asymilacji kwasu mlekowego jako źródła węgla, o czym świadczył spadek kwasowości produktów obserwowany od 7. dnia procesu. Również w tym przypadku wykazano synergistyczny efekt kultury mieszanej PC + GC. Analizując zawartości składników bioaktywnych (polifenoli ogółem oraz flawonoidów ogółem) stwierdziłem wzrost ich zawartości w produktach, przekładający się na zwiększenie aktywności przeciwutleniającej oraz zdolności do wygaszania wolnych rodników (DPPH, ABTS, rodnika hydroksylogowego oraz anionorodnika ponadtlenkowego). Wskazuje to na potencjalnie korzystny wpływ produktów na łagodzenie stanów związanych ze stresem oksydacyjnym i nadmierną produkcją ROS. W przypadku cukrów redukujących, odnotowano w pierwszej dobie procesu wzrost ich zawartości, następnie w kolejnych dniach procesu znaczący spadek. Świadczy to o postępującej degradacji ścian komórkowych w materiale roślinnym, wykorzystaniu powstających oligo- i monosacharydów jako źródła węgla przez mikroorganizmy, co miało wpływ na zaobserwowane zmiany tekstury produktów („mięknienie”). Jednakże nie stwierdzono tak zaawansowanych zmian, znanych z tradycyjnego sera Camembert w postaci „rozpływania się” wnętrza z uwagi na niską zawartość tłuszczu. Należy jednak podkreślić, że roślinna alternatywa może być uznana dzięki temu za produkt niskokaloryczny. W toku dalszych dociekań nad procesami dojrzewania postanowiłem przeanalizować przemiany jakie mogą zachodzić w wyniku procesów lipolizy (rozkład tłuszczów) oraz proteolizy (rozkład białek). Wykazałem, że w roślinnej alternatywie sera Camembert z makuchu lnianego w czasie dojrzewania i chłodniczego przechowywania zachodzą zmiany sugerujące zaawansowane procesy proteolityczne i lipolityczne, zależne od dodanej kultury starterowej. Obejmowały one m.in. wzrost zawartości wolnych aminokwasów (proteoliza białek do peptydów, a następnie do aminokwasów), spadek ilości tłuszczu i wzrost ilości wolnych kwasów tłuszczowych (przy zachowaniu wysokiej stabilności oksydacyjnej resztkowego oleju lnianego, prawdopodobnie z uwagi na wysoką zawartość związków o działaniu przeciwutleniającym), a także stopniowy wzrost pH w czasie dojrzewania (sugerujący procesy deaminacji białek i aminokwasów oraz formowanie zasadowych pochodnych m.in. amoniaku). **W świetle uzyskanych wyników można wnioskować, że z makuchu lnianego można otrzymać roślinną bioaktywną alternatywę sera Camembert, a mechanizmy przemian zachodzących podczas dojrzewania produktu, mimo zastosowania matrycy**

roślinnej o zupełnie innym składzie białek i tłuszczów, mogą być zbliżone do tych zachodzących w produkcie tradycyjnym, zależne są jednak od wykorzystanej kultury starterowej. Należy podkreślić, że na podstawie pracy **H5** powstały założenia działania naukowego pt. „Dojrzewanie roślinnego analogu sera z porostem pleśni. Czy procesy proteolizy i lipolizy zachodzą podobnie jak w tradycyjnym serze Camembert?”, które uzyskało finansowanie Narodowego Centrum Nauki w ramach konkursu Miniatura 5. Dzięki temu mam możliwość podjęcia interesujących dalszych badań w celu prześledzenia procesów proteolizy i lipolizy z wykorzystaniem zaawansowanych metod proteomicznych (m. in. analiza frakcji białkowych, elektroforeza SDS-PAGE oraz 2-D) a także chromatografii gazowej (zmiany profilu kwasów tłuszczowych), które prowadzone są we współpracy z Katedrą Fizjologii, Cytobiologii i Proteomiki na Wydziale Biotechnologii i Hodowli Zwierząt ZUT w Szczecinie oraz Instytutem Innowacji Przemysłu Mleczarskiego w Mrągowie. Kolejnym kierunkiem, który planuję rozwijać w ramach tej tematyki jest analiza profilu związków zapachowych, którą umożliwia mi niedawno nawiązana współpraca z Pracownią Badań Związków Lotnych i Aktywnych Sensorycznie Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

4.6. Podsumowanie

Badania prezentowane w Osiągnięciu (**H1-H5**) stanowią oryginalne opracowanie możliwości wykorzystania makuchu lnianego jako surowca do otrzymania roślinnych produktów spożywczych. W dobie coraz większej świadomości żywieniowej poszukiwanie alternatyw dla produktów nabiałowych tradycyjnie fermentowanych jest celem ambitnym, ale jak wykazałem w swoich pracach – możliwym. Udowodniłem, że makuch lniany można wykorzystać do otrzymania alternatywy dla kefiru, jogurtu, mleka fermentowanego z wykorzystaniem szczepu probiotycznego, mleka w proszku oraz sera Camembert. Stwierdziłem, że procesy biotransformacji (w tym fermentacji) korzystnie wpływają m. in. na zawartość składników bioaktywnych i właściwości funkcjonalne produktów na bazie makuchu lnianego, jednakże są zależne od wykorzystanych kultur starterowych (monokultury oraz kultury mieszane). Otrzymane wyniki pozwoliły na znaczne pogłębienie wiedzy w zakresie przemian zachodzących w roślinnych fermentowanych produktach w czasie chłodniczego przechowania oraz podczas procesu suszenia rozpyłowego. Ustaliłem, że dodatek cukrów prostych lub złożonych w postaci prebiotyku (inuliny) korzystnie wpływa na

przeżywalność mikroorganizmów w produktach i ich aktywność metaboliczną. Ponadto stwierdziłem po raz pierwszy, że mechanizmy przemian zachodzących podczas dojrzewania roślinnej alternatywy sera Camembert mogą być zbliżone do tych zachodzących w produkcie tradycyjnym. Opracowane produkty jako alternatywa dla produktów mlecznych mogą wypełnić lukę na rynku dla konsumentów stosujących diety uznane za nietradycyjne. Podjęta tematyka Osiągnięcia porusza również zagadnienia z zakresu ekologii, ponieważ wskazuje kierunek zagospodarowania produktu ubocznego przemysłu rolno-spożywczego i jego wykorzystania jako surowca do produkcji innowacyjnej żywności. Co ważne, działania te wpisują się także w trendy proekologiczne oraz idee „zero waste” i założenia Zielonego Ładu. Przedstawione rezultaty mogą być podstawą do dalszych, ukierunkowanych badań, dotyczących między innymi szczegółowego poznania mechanizmów zachodzących w czasie przechowywania produktów i wpływu na organizm po spożyciu.

4.7. Literatura

1. Aspri, M.; Papademas, P.; Tsaltas, D. Review on non-dairy probiotics and their use in non-dairy based products. *Fermentation* **2020**, *6*, 1–20.
2. Ranadheera, C.; Vidanarachchi, J.; Rocha, R.; Cruz, A.; Ajlouni, S. Probiotic Delivery through Fermentation: Dairy vs. Non-Dairy Beverages. *Fermentation* **2017**, *3*, 67.
3. Kandyli, P.; Pissaridi, K.; Bekatorou, A.; Kanellaki, M.; Koutinas, A.A. Dairy and non-dairy probiotic beverages. *Curr. Opin. Food Sci.* **2016**, *7*, 58–63.
4. Tsafrakidou, P.; Michaelidou, A.-M.; G. Biliaderis, C. Fermented Cereal-based Products: Nutritional Aspects, Possible Impact on Gut Microbiota and Health Implications. *Foods* **2020**, *9*, 734.
5. Rasika, D.M.D.; Vidanarachchi, J.K.; Rocha, R.S.; Balthazar, C.F.; Cruz, A.G.; Sant’Ana, A.S.; Ranadheera, C.S. Plant-based milk substitutes as emerging probiotic carriers. *Curr. Opin. Food Sci.* **2021**, *38*, 8–20.
6. Capurso, L. *Thirty Years of Lactobacillus rhamnosus GG A Review*; 2019; Vol. 53; ISBN 0000000000.
7. Nazhand, A.; Souto, E.B.; Lucarini, M.; Souto, S.B.; Durazzo, A.; Santini, A. Ready to Use Therapeutic Beverages: Focus on Functional Beverages Containing Probiotics, Prebiotics and Synbiotics. *Beverages* **2020**, *6*, 26.
8. Sridhar, K.; Bouhallab, S.; Croguennec, T.; Renard, D.; Lechevalier, V. Recent trends in design of healthier plant-based alternatives: nutritional profile, gastrointestinal digestion, and consumer perception. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2022**, 1–16.
9. Dimidi, E.; Cox, S.R.; Rossi, M.; Whelan, K. Fermented Foods: Definitions and Characteristics, Gastrointestinal Health and Disease. *Nutrients* **2019**, *11*.
10. Valero-Cases, E.; Cerdá-Bernad, D.; Pastor, J.J.; Frutos, M.J. Non-dairy fermented beverages as potential carriers to ensure probiotics, prebiotics, and bioactive compounds arrival to the gut and their health benefits. *Nutrients* **2020**, *12*.

11. Nejati, F.; Junne, S.; Neubauer, P. A big world in small grain: A review of natural milk Kefir starters. *Microorganisms* **2020**, *8*.
12. Atalar, I. Functional kefir production from high pressure homogenized hazelnut milk. *LWT* **2019**, *107*, 256–263.
13. Gille, D.; Schmid, A.; Walther, B.; Vergères, G. Fermented food and non-communicable chronic diseases: A review. *Nutrients* **2018**, *10*, 1–18.
14. Szparaga, A.; Tabor, S.; Kocira, S.; Czerwińska, E.; Kuboń, M.; Plóciennik, B.; Findura, P. Survivability of probiotic bacteria in model systems of non-fermented and fermented coconut and hemp milks. *Sustain.* **2019**, *11*, 1–19.
15. Mäkinen, O.E.; Wanhalinna, V.; Zannini, E.; Arendt, E.K. Foods for Special Dietary Needs: Non-dairy Plant-based Milk Substitutes and Fermented Dairy-type Products. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2016**, *56*, 339–349.
16. Silva, A.R.A.; Silva, M.M.N.; Ribeiro, B.D. Health issues and technological aspects of plant-based alternative milk. *Food Res. Int.* **2020**, *131*, 108972.
17. Plessas, S.; Nouska, C.; Mantzourani, I.; Kourkoutas, Y.; Alexopoulos, A.; Bezirtzoglou, E. Microbiological Exploration of Different Types of Kefir Grains. *Fermentation* **2016**, *3*, 1.
18. Kamath, R.; Basak, S.; Gokhale, J. Recent trends in the development of healthy and functional cheese analogues-a review. *LWT* **2022**, *155*, 112991.
19. Chen, J.M.; Al, K.F.; Craven, L.J.; Seney, S.; Coons, M.; McCormick, H.; Reid, G.; O’connor, C.; Burton, J.P. Nutritional, microbial, and allergenic changes during the fermentation of cashew ‘cheese’ product using a quinoa-based rejuvelac starter culture. *Nutrients* **2020**, *12*.
20. McClements, D.J.; Grossmann, L. Dairy Alternatives – Cheese, Yogurt, Butter, and Ice Cream BT - Next-Generation Plant-based Foods: Design, Production, and Properties. In; McClements, D.J., Grossmann, L., Eds.; Springer International Publishing: Cham, **2022**; pp. 443–521 ISBN 978-3-030-96764-2.
21. Fidelis, M.; Granato, D. Chapter Three - Technological applications of phenolic-rich extracts for the development of non-dairy foods and beverages. In *Application of Polyphenols in Foods and Food Models*; Granato, D.B.T.-A. in F. and N.R., Ed.; Academic Press, **2021**; Vol. 98, pp. 101–123 ISBN 1043-4526.
22. Li, C.; Dai, T.; Chen, J.; Chen, M.; Liang, R.; Liu, C.; Du, L.; McClements, D.J. Modification of flavonoids: methods and influences on biological activities. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2022**, 1–22.
23. Gan, R.-Y.; Li, H.-B.; Gunaratne, A.; Sui, Z.-Q.; Corke, H. Effects of Fermented Edible Seeds and Their Products on Human Health: Bioactive Components and Bioactivities. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* **2017**, *16*, 489–531.
24. Aschemann-Witzel, J.; Gantriis, R.F.; Fraga, P.; Perez-Cueto, F.J.A. Plant-based food and protein trend from a business perspective: markets, consumers, and the challenges and opportunities in the future. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2021**, *61*, 3119–3128.
25. Grossmann, L.; McClements, D.J. The science of plant-based foods: Approaches to create nutritious and sustainable plant-based cheese analogs. *Trends Food Sci. Technol.* **2021**, *118*, 207–229.
26. Tabanelli, G.; Pasini, F.; Riciputi, Y.; Vannini, L.; Gozzi, G.; Balestra, F.; Caboni, M.F.; Gardini, F.;

- Montanari, C. Fermented Nut-Based Vegan Food: Characterization of a Home made Product and Scale-Up to an Industrial Pilot-Scale Production. *J. Food Sci.* **2018**, *83*, 711–722.
27. Liu, F.; Li, M.; Wang, Q.; Yan, J.; Han, S.; Ma, C.; Ma, P.; Liu, X.; McClements, D.J. Future foods: Alternative proteins, food architecture, sustainable packaging, and precision nutrition. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2022**, 1–22.
28. Dueñas, M.; García-Estévez, I. Agricultural and Food Waste: Analysis, Characterization and Extraction of Bioactive Compounds and Their Possible Utilization. *Foods* **9**, 817. **2020**, 4–6.
29. Ancuța, P.; Sonia, A. Oil press-cakes and meals valorization through circular economy approaches: A review. *Appl. Sci.* **2020**, *10*, 1–31.
30. Nevara, G.A.; Giwa Ibrahim, S.; Syed Muhammad, S.K.; Zawawi, N.; Mustapha, N.A.; Karim, R. Oilseed meals into foods: an approach for the valorization of oilseed by-products. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2022**, 1–14.
31. Kajla, P.; Sharma, A.; Sood, D.R. Flaxseed-a potential functional food source. *J. Food Sci. Technol.* **2015**, *52*, 1857–71.
32. Stodolak, B.; Starzyńska-Janiszewska, A.; Wywrocka-Gurgul, A.; Wikiera, A. Solid-State Fermented Flaxseed Oil Cake of Improved Antioxidant Capacity as Potential Food Additive. *J. Food Process. Preserv.* **2017**, *41*, e12855.
33. Stodolak, B.; Starzyńska-Janiszewska, A.; Bączkiewicz, M. *Aspergillus oryzae* (Koji Mold) and *Neurospora intermedia* (Oncom Mold) application for flaxseed oil cake processing. *LWT* **2020**, *131*, 109651.
34. Farag, M., Jomaa, S., El-Wahed, A. and El-Seedi, H. The Many Faces of Kefir Fermented Dairy Products : *Nutrients* **2020**, *12*, 346.
35. HadiNezhad, M.; Duc, C.; Han, N.F.; Hosseinian, F. Flaxseed Soluble Dietary Fibre Enhances Lactic Acid Bacterial Survival and Growth in Kefir and Possesses High Antioxidant Capacity. *J. Food Res.* **2013**, *2*, 152.
36. Cichońska, P.; Ziarno, M. Legumes and Legume-Based Beverages Fermented with Lactic Acid Bacteria as a Potential Carrier of Probiotics and Prebiotics. *Microorganisms* **2022**, *10*.
37. Montemurro, M.; Pontonio, E.; Coda, R.; Rizzello, C.G. Plant-Based Alternatives to Yogurt: State-of-the-Art and Perspectives of New Biotechnological Challenges. *Foods* **2021**, *10*, 316.
38. Craig, W.J.; Brothers, C.J. Plant-Based Yogurt Alternatives. *Nutrients* **2021**, *13*, 1–13.
39. Gibson, G.R.; Probert, H.M.; Loo, J. Van; Rastall, R.A.; Roberfroid, M.B. Dietary modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. *Nutr. Res. Rev.* **2004**, *17*, 259–275.
40. Castellano, P.; Pérez Ibarreche, M.; Blanco Massani, M.; Fontana, C.; Vignolo, G. Strategies for Pathogen Biocontrol Using Lactic Acid Bacteria and Their Metabolites: A Focus on Meat Ecosystems and Industrial Environments. *Microorganisms* **2017**, *5*, 38.
41. Mpofu, A.; Linnemann, A.R.; Nout, M.J.R.; Zwietering, M.H.; Smid, E.J.; den Besten, H.M.W. Inactivation of bacterial pathogens in yoba mutandabota, a dairy product fermented with the probiotic *Lactobacillus rhamnosus* yoba. *Int. J. Food Microbiol.* **2016**, *217*, 42–48.
42. Fayol-Messaoudi, D.; Berger, N.C.; Coconnier-Polter, M.-H.; Liévin-Le Moal, V.; Servin, A.L. pH-, Lactic Acid-, and Non-Lactic Acid-Dependent Activities of Probiotic Lactobacilli against pathogens.

- Appl. Environ. Microbiol.* **2005**, *71*, 6008–6013.
43. Chegini, G.; HamidiSepehr, A.; Dizaji, M.F.; Mirnezami, S.V. Study of physical and chemical properties of spray drying whey powder. *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.* **2014**, *3*.
 44. Drozłowska, E.; Bartkowiak, A.; Trocer, P.; Kostek, M.; Tarnowiecka-Kuca, A.; Bienkiewicz, G.; Łopusiewicz, Ł. The Influence of Flaxseed Oil Cake Extract on Oxidative Stability of Microencapsulated Flaxseed Oil in Spray-Dried Powders. *Antioxidants* **2021**, *10*.
 45. Azam, M.; Saeed, M.; Pasha, I.; Shahid, M. A prebiotic-based biopolymeric encapsulation system for improved survival of *Lactobacillus rhamnosus*. *Food Biosci.* **2020**, *37*, 100679.
 46. Samborska, K.; Boostani, S.; Geranpour, M.; Hosseini, H.; Dima, C.; Khoshnoudi-Nia, S.; Rostamabadi, H.; Falsafi, S.R.; Shaddel, R.; Akbari-Alavijeh, S.; et al. Green biopolymers from by-products as wall materials for spray drying microencapsulation of phytochemicals. *Trends Food Sci. Technol.* **2021**, *108*, 297–325.
 47. Drozłowska, E.; Bartkowiak, A.; Łopusiewicz, Ł. Characterization of flaxseed oil bimodal emulsions prepared with flaxseed oil cake extract applied as a natural emulsifying agent. *Polymers (Basel)*. **2020**, *12*.
 48. Drozłowska, E.; Łopusiewicz, Ł.; Mężyńska, M.; Bartkowiak, A. Valorization of flaxseed oil cake residual from cold-press oil production as a material for preparation of spray-dried functional powders for food applications as emulsion stabilizers. *Biomolecules* **2020**, *10*.
 49. Drozłowska, E.; Bartkowiak, A.; Trocer, P.; Kostek, M.; Tarnowiecka-Kuca, A.; Łopusiewicz, Ł. Formulation and Evaluation of Spray-Dried Reconstituted Flaxseed Oil-In-Water Emulsions Based on Flaxseed Oil Cake Extract as Emulsifying and Stabilizing Agent. *Foods* **2021**, *10*, 256.
 50. Lipan, L.; Rusu, B.; Sendra, E.; Hernández, F.; Vázquez-Araújo, L.; Vodnar, D.C.; Carbonell-Barrachina, Á.A. Spray drying and storage of probiotic-enriched almond milk: probiotic survival and physicochemical properties. *J. Sci. Food Agric.* **2020**, *100*, 3697–3708.
 51. Uraz, T.; Özer, B.H. Starter Cultures: Molds Employed in Food Processing. *Encycl. Food Microbiol. Second Ed.* **2014**, *3*, 522–528.
 52. Boutrou, R.; Aziza, M.; Amrane, A. Enhanced proteolytic activities of *Geotrichum candidum* and *Penicillium camembertii* in mixed culture. *Enzyme Microb. Technol.* **2006**, *39*, 325–331.
 53. Aziza, M.; Couriol, C.; Amrane, A.; Boutrou, R. Evidences for synergistic effects of *Geotrichum candidum* on *Penicillium camembertii* growing on cheese juice. *Enzyme Microb. Technol.* **2005**, *37*, 218–224.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

5.1. Praca naukowa przed uzyskaniem stopnia doktora

W okresie studiów inżynierskich (2009-2013) i magisterskich (2013-2014) na kierunku Biotechnologia uzyskałem możliwość odbycia części studiów (2 semestry) oraz praktyki studenckiej (1 semestr) na Mendel University w Brnie (Czechy). W tym czasie, przeprowadzając znaczną część badań w Czechach, przygotowywałem pracę magisterską w Centrum Bioimmobilizacji i Innowacyjnych Materiałów Opakowaniowych (CBiMO) ZUT w Szczecinie dotyczącą określenia właściwości przeciwdrobnoustrojowych i fitotoksycznych ekstraktów z hodowli myceliarnych czubajki gwieździstej (*Macrolepiota konradii*) oraz próby wykorzystania ich do modyfikacji folii z poli(kwasu mlekowego) w celu otrzymania aktywnego materiału opakowaniowego. Szczegółowe wyniki tych badań przedstawiłem w publikacji **P1**, rozdziałach w monografiach (**M1**, **M2**) oraz doniesieniach konferencyjnych (**K1**, **K2**, **K3**). W roku 2014 rozpocząłem studia doktoranckie, a w latach 2014-2018 byłem głównym wykonawcą projektu Badania Młodych Naukowców pt. „Próba wykorzystania biomasy grzybowej do wytworzenia innowacyjnego materiału opakowaniowego” realizowanych ze środków Wydziału Nauk o Żywności i Rybactwa ZUT. Łącząc moje zainteresowania jako studenta kierunku Biotechnologia z profilem badawczym CBiMO, w swoich badaniach skupiłem się na grupie naturalnych pigmentów jakimi są melaniny, możliwością ich pozyskiwania z biomasy grzybowej oraz wykorzystania ich interesujących właściwości (m. in. aktywność przeciwutleniająca, przeciwdrobnoustrojowa oraz barierowa względem promieniowania UV-Vis) do modyfikacji właściwości użytkowych materiałów opakowaniowych. W ramach przeprowadzonych prac wykazałem, że biomasa grzybowa w postaci odpadu powstającego przy produkcji pieczarki dwuzarodnikowej (*Agaricus bisporus*) może stanowić bogate źródło melanin, pozyskiwanych dzięki naturalnej zawartości związków fenolowych oraz obecności enzymu tyrozynazy, zdolnej do modyfikacji chemicznej w kierunku melanin, które następnie mogą być ekstrahowane z biomasy w warunkach alkalicznych. Zastosowanie odpadu z produkcji pieczarki do pozyskiwania melaniny pozwoliło na wskazanie alternatywnego kierunku zagospodarowania tego surowca, oraz obniżenia kosztów pozyskiwania produktu finalnego. Podobnie biomasa grzybowa w postaci ryzomorf opieńki miodowej (*Armillaria mellea*) i owocników tęgoskóra

cytrynowego (*Scleroderma citrinum*) może stanowić źródło melanin. Właściwości te zostały wykorzystane do: (i) modyfikacji powłok chitozanowych i skrobiowych nanoszonych na powierzchnię folii z tworzyw sztucznych, (ii) jako bezpośredniego dodatku podczas modyfikacji „w masie” folii PLA, (iii) do chemicznej modyfikacji filmów z żelatyny oraz (iv) powłok żelatynowych, które naniesione na powierzchnię produktu modelowego (smalcu wieprzowego), działały ochronnie spowalniając procesy jęłczenia. Swoje zainteresowanie zwróciłem również w kierunku surowców roślinnych - wyizolowałem oraz opisałem właściwości melaniny z nasion arbuza (*Citrullus lanatus*). Szczegółowe wyniki powyższych badań przedstawiłem w publikacjach naukowych (**P2-P11**). Przedstawiłem również dwie prace przeglądowe dotyczące melanin (**P12, P13**), dwa doniesienia konferencyjne (**K4, K5**) oraz cztery wystąpienia w języku angielskim (**K13**) i polskim (**K14-K16**). Jednocześnie uczestniczyłem w realizacji prac doświadczalnych prowadzonych w Jednostce i Wydziale, związanych z wybranymi aspektami modyfikowanych materiałów opakowaniowych (tzw. opakowań aktywnych m. in. o działaniu przeciwdrobnoustrojowym), procesów bioimmobilizacji oraz mykologii. W tym czasie uczestniczyłem w przygotowaniu 10 oryginalnych prac oraz jednej przeglądowej, w tym 4 opublikowanych w czasopiśmie z listy JCR (**P14-P24**) oraz doniesień konferencyjnych realizowanych również z PUM w Szczecinie (**K6-K12**). Zachęcony doświadczeniami z poprzednich lat, odbyłem dwumiesięczny staż (10-11.2018) w ramach programu Erasmus+ w Polytechnic Institute of Coimbra, Department of Food Science and Technology, College of Agriculture w Portugalii w zespole prof. Marty H.F. Henriques, podczas którego pracowałem nad foliami i powłokami z koncentratów i izolatów z białka serwatkowego modyfikowanych naturalnymi melaninami, które przeznaczone były do przechowywania serów mlecznych oraz roślinnych alternatyw serów wyprodukowanych z tofu sojowego. Dnia 19.12.2018 r. obroniłem z wyróżnieniem rozprawę doktorską zatytułowaną „Charakterystyka wybranych melanin pochodzących z biomasy grzybowej i ich zastosowanie do poprawy właściwości użytkowych materiałów opakowaniowych”, którą stanowił cykl 8 prac (**P2-P9**).

5.2. Praca naukowa po uzyskaniu stopnia doktora

W roku 2019 zostałem zatrudniony w CBiMO ZUT, początkowo na etacie pracownika naukowo-technicznego, a następnie od roku 2021 do chwili obecnej na etacie adiunkta badawczego. Kształtowałem swoje kompetencje badawcze poszerzając warsztat badawczy, zdobywając wiedzę oraz doświadczenie, uczestnicząc w realizacji kolejnych wyzwań badawczych rodzimej Jednostki, co umożliwiło mi współpracę z pracownikami rodzimego

Wydziału jak również z zewnętrznych zespołów badawczych, dzięki czemu poszerzałem także zakres swoich zainteresowań naukowych. Wśród głównych obszarów tematycznych mojej dotychczasowej aktywności naukowo-badawczych, poza tematyką omówioną w cyklu artykułów składających się na osiągnięcie naukowe można wymienić: (i) wykorzystanie surowców roślinnych do opracowania żywności fermentowanej i dodatków do żywności o działaniu emulgującym i stabilizującym; (ii) wykorzystanie substancji aktywnych do modyfikacji materiałów opakowaniowych; (iii) ocena wpływu naturalnych substancji aktywnych na drobnoustroje chorobotwórcze; (iv) badania roślin stosowanych jako żywność funkcjonalna, zioła, kwiaty jadalne, rośliny przyprawowe, lecznicze i ozdobne.

Zainteresowanie żywnością roślinną pojawiło się już w czasie odbywania stażu w Polytechnic Institute of Coimbra w Portugalii, kiedy miałem okazję pracować z roślinnymi alternatywami sera w postaci tofu sojowego. Wzrastające zapotrzebowanie na żywność roślinną, w tym poszukiwanie rozwiązań stanowiących odpowiedź na problemy ekologiczne skłoniło mnie do podjęcia badań w tym obszarze. Pierwsza praca (**P25**) wpisująca się w niniejszy nurt badawczy dotyczy wykorzystania ziaren kefirowych do otrzymania bioaktywnej przekąski z nasion łubinu wąskolistnego (*Lupinus angustifolius*). W badaniu wykorzystano nasiona słodkiej odmiany 'Boregine' o zawartości alkaloidów poniżej 0.01%. Wykazaliśmy, że łubin jest dobrym surowcem do fermentacji z udziałem ziaren kefirowych, bowiem liczebność mikroorganizmów po fermentacji jak i w czasie chłodniczego przechowywania przez 21 dni przekraczała wartości rekomendowane przez FAO i WHO. Podobnie jak w pracy **H1** zaobserwowano początkowy wzrost zawartości cukrów redukujących, które następnie były zużywane przez mikroorganizmy. Interesującą obserwacją była wzrastająca zawartość wolnych aminokwasów, co może sugerować zachodzenie procesów proteolizy. Zaobserwowano wzrost zawartości polifenoli i flawonoidów, co skutkowało również wzrostem właściwości przeciwutleniających i przeciwwolnorodnikowych. Praca ta powstała we współpracy z badaczami z Pomorskiego Uniwersytetu Medycznego w Szczecinie, Uniwersytetu Medycznego w Łodzi oraz Mecklenburg-Vorpommern Research Centre for Agriculture and Fisheries w Niemczech. Kolejna praca (**P26**) zrealizowana z udziałem Mecklenburg-Vorpommern Research Centre for Agriculture and Fisheries w Niemczech dotyczy wykorzystania łubinu jako surowca do opracowania roślinnej alternatywy sera Camembert i zmian jakie zachodzą w produkcji w czasie chłodniczego przechowywania przez 7 tygodni. Łubin jest dobrą matrycą do wzrostu zarówno LAB jak i pleśni *Penicillium camemberti*, zaobserwowaliśmy wzrost właściwości

przeciwutleniających produktów, a także szereg zmian analogicznych do tych zachodzących w produkcji tradycyjnym takich jak: formowanie białej skórki oraz zmiany proteolityczne powodujące intensywną alkalizację produktu oraz wzrost zawartości wolnych aminokwasów. Dalszymi pracami z tego obszaru badawczego są publikacje i doniesienia konferencyjne dotyczące fermentacji makuchów. W pracy **P27** do fermentacji makuchu z lnicznika siewnego (*Camelina sativa*), popularnie zwanego lnianką wykorzystana została kultura jogurtowa. Stwierdzono, że makuch z lnianki jest bardzo dobrym surowcem do rozwoju bakterii jogurtowych, bowiem w czasie całego okresu chłodniczego przechowywania (28 dni) ich liczebność nie spadła poniżej 10^{10} jtk/g, co znacznie przekracza rekomendowaną wartość (10^6 jtk/g). Można przypuszczać, że wynika to z zawartości w lniance śluzu (mieszaniny polisacharydów) o właściwościach prebiotycznych, obecności resztkowego oleju (który według doniesień literaturowych stymuluje wzrost LAB) oraz korzystnego składu aminokwasowego (wysoka zawartość leucyny, waliny, fenyloalaniny, lizyny oraz izoleucyny), co w sposób synergistyczny wpłynęło na tak wysoką przeżywalność mikroorganizmów. Analizy tekstury oraz właściwości reologicznych wskazały na wiele podobieństw z tradycyjnym mlecznym jogurtem, natomiast przeprowadzona analiza sensoryczna wykazała, że fermentacja działa korzystnie na odbiór produktów przez konsumentów zmieniając smak i zapach z „ostrego, musztardowego” (wynikającego z obecności glukozynolanów) w kierunku „przyjemnego, lekko kwaśnego”. W świetle uzyskanych wyników należy zatem postrzegać makuch z lnianki jako bardzo obiecujący surowiec o wysokim potencjale do rozwoju roślinnej żywności fermentowanej. W pracy **P28** do fermentacji makuchu z czarnuszki wykorzystano ziarna kefirowe. Podobnie jak w pracach **H1** i **P25** zaobserwowano wysoki poziom bakterii i drożdży po fermentacji jak i w czasie chłodniczego przechowywania przez 28 dni. Jest to interesująca obserwacja, z uwagi na to, że czarnuszka znana jest ze swoich właściwości przeciwdrobnoustrojowych. Kolejne wyniki dotyczące wykorzystania makuchów (w tym z lnu, konopii, słonecznika, czarnuszki i amarantusa) do otrzymania roślinnych alternatyw nabiału zostały przedstawione w formie posterów i wystąpień na konferencjach krajowych i międzynarodowych (**K18-K20; K28-K36, K38-K40**).

Wśród prac wchodzących w tematykę roślinnych dodatków do żywności należy wymienić 5 artykułów dotyczących wykorzystania białka i polisacharydów z makuchu lnianego jako substancji funkcjonalnych w procesie tworzenia emulsji oraz proszków do zastosowań spożywczych. W pracach (**P29-P33**) założyliśmy, że płyn makuchu lnianego po procesie ługowania na gorąco wykazuje właściwości emulgujące i może być wykorzystany

do stabilizowania typowych układów emulsyjnych typu olej w wodzie. Ługowanie na gorąco to rodzaj prostej ekstrakcji polegający na wypłukiwaniu substancji z fazy stałej za pomocą określonego rozpuszczalnika. Użyтым rozpuszczalnikiem była woda. Podjęliśmy także próbę zastosowania płynu z makuchu lnianego do stabilizacji emulsji przeznaczonych do suszenia rozpyłowego oraz wprowadzenia go do modelowego produktu spożywczego, jakim jest majonez. Dodatkowo założono, że płyn z makuchu lnianego może wykazywać działanie ochronne względem oleju zawartego w emulsji, dzięki zawartych w płynie z makuchu lnianego związkach o działaniu przeciwutleniającym. Badane emulsje i proszki poddano kompleksowym badaniom fizykochemicznym. W przypadku emulsji poddano ocenie stabilność i wydajność emulgowania, pomiar barwy w przestrzeni barw CIE Lab, a także wykonano badania reologiczne. Właściwości fizykochemiczne proszków zostały opisane za pomocą wskaźników Carra i Hausnera oraz analizy spektroskopowej FTIR. Opisano działanie ochronne płynu względem oleju w trakcie procesu suszenia rozpyłowego, między innymi poprzez badania z zastosowaniem chromatografii gazowej. Stwierdziliśmy, że płyn z makuchu lnianego wykazuje zdolność do obniżania napięcia powierzchniowego na granicy faz, znacznego zwiększania lepkości układu, a ponadto cechuje się wysoką zdolnością do wiązania wody i oleju, wynikającą z synergistycznego działania jego dwóch głównych komponentów: białka lnianego i polisacharydów lnianych. Emulsje z płynem z makuchu lnianego wykazywały tendencję do bimodalnego rozkładu cząstek. Pomimo, że takie układy uznawane są za mniej stabilne to nawet przy znacznym udziale fazy olejowej emulsje te cechowała wysoka stabilność. Proszki otrzymane w trakcie suszenia rozpyłowego płynu wykazywały zróżnicowane działanie w zależności od zastosowanej temperatury wlotowej powietrza w trakcie procesu suszenia rozpyłowego. Temperatura powietrza wlotowego 180°C została uznana za najbardziej optymalną, ponieważ otrzymywany w takich warunkach proszek cechował się dobrymi właściwościami emulgującymi oraz najniższym spadkiem zdolności do wygaszania wolnych rodników, co mogłoby mieć wpływ na jego późniejsze działanie przeciwutleniające względem oleju. Wykazaliśmy również, że proces denaturacji oddziaływał korzystnie na właściwości emulgujące płynu z makuchu lnianego oraz otrzymywanych proszków. Denaturacja była również istotnym procesem w trakcie suszenia rozpyłowego, ze względu na zmiany w obrębie zawartości grup sulfhydrylowych i mostków disiarczkowych. Zmiany te miały bezpośrednie przełożenie na właściwości emulgujące uzyskiwanych proszków. Płyn z makuchu lnianego spełnił rolę emulgatora odtwarzalnych emulsji suszonych rozpyłowo, wykazywał również właściwości ochronne względem oleju w emulsjach suszonych rozpyłowo. Podsumowując, wykazaliśmy że płyn, który powstał w

procesie ekstrakcji makuchu lnianego, może mieć wszechstronne zastosowanie. Możliwe jest użycie płynu zarówno jako emulgatora w formie płynu (**P29, P31**), proszku (**P30**), materiału tworzącego ściany kapsuł podczas suszenia rozpyłowego (**P32**) oraz środka przeciwutleniającego dedykowanego do suszenia rozpyłowego (**P33**). Wyniki tych prac prezentowane były również w formie doniesienia konferencyjnego (**K34**).

W omawiany zakres osiągnięć naukowych wpisuje się również praca **P34** powstała we współpracy z naukowcami z Instytutu Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności Polskiej Akademii Nauk w Olsztynie oraz Federalnego Uniwersytetu w São Paulo w Brazylii, dotycząca wykorzystania ekstraktu z makuchu lnianego jako zastępnika wody w chlebach bezglutenowych. Chleby z dodatkiem ekstraktu charakteryzowały się poprawionym profilem odżywczym i nutraceutycznym (do 60% więcej białka, znacząco podwyższony poziom K, Mg i P). Ponadto dodatek ekstraktu z makuchu lnianego poprawił parametry technologiczne chlebów (zwiększenie objętości właściwej, liczby porów i stosunku wysokość/szerokość, zmniejszenie gęstości, średniej wielkości i obwodu porów), potencjał przeciwutleniający i ogólną jakość sensoryczną.

W omawiany zakres wpisują się również badania prowadzone wspólnie z pracownikami Katedry Toksykologii, Technologii Mleczarskiej i Przechowalnictwa Żywności ZUT, w ramach których wykorzystaliśmy polisacharyd wyizolowany z makuchu lnianego (gumę lnianą) jako naturalny stabilizator napoju z fermentowanej serwatki kwasowej. Na podstawie tych badań powstało zgłoszenie patentowe pt. „Napój fermentowany z serwatki kwasowej i sposób otrzymywania napoju fermentowanego z serwatki kwasowej” o numerze P.442095.

Istotnym elementem w mojej pracy naukowej była kontynuacja badań dotyczących modyfikowanych materiałów opakowaniowych i rozszerzenie ich o nowe aspekty, m. in. wykorzystując nowe matryce polimerowe, nowe dodatki aktywne, migracji z matrycy polimerowej do płynów modelowych, czy podejmując zagadnienie wpływu dodatku więcej niż jednej substancji aktywnej (możliwy synergizm lub antagonizm) na aktywność modyfikowanych materiałów.

Efektom nawiązanej współpracy z prof. M. Henriques z Polytechnic Institute of Coimbra w Portugalii (gdzie wykonałem część badań) oraz współpracy z Instytutem Innowacji Przemysłu Mleczarskiego w Mrągowie jest praca **P35** dotycząca wykorzystania melaniny z nasion arbuza (*Citrullus lanatus*) do modyfikacji filmów z koncentratu (whey protein concentrate - WPC) i izolatu (whey protein isolate - WPI) białka serwatkowego.

W pracy tej zastosowano dwa stężenia melaniny (0,1% i 0,5%). Wyniki badań wykazały, że modyfikacja melaniną poprawiła właściwości barierowe względem promieniowania UV-Vis. Dodatek melaniny spowodował wzrost hydrofobowości matrycy polimerowej, co przejawiało się w zwiększonej barierowości względem pary wodnej, zmniejszeniu kąta zwilżania i rozpuszczalności, natomiast filmy cechowały się większą zdolnością do pęcznienia. Odnotowano również poprawę właściwości mechanicznych filmów (zwiększenie siły zerwania). Modyfikowane filmy WPC/WPI wykazywały również wysoką aktywność przeciwutleniającą, ale nie wykazywały cytotoksyczności względem linii mysich fibroblastów L929. W związku ze swoimi właściwościami materiały te mogłyby znaleźć zastosowanie jako opakowania aktywne do żywności lub potencjalnie w biomedycynie jako opatrunki na rany.

Kolejna praca w omawianym obszarze tematycznym zrealizowana we współpracy z badaczami z Pomorskiego Uniwersytetu Medycznego w Szczecinie, Instytutu Innowacji Przemysłu Mleczarskiego w Mrągowie, Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie oraz Uniwersytetu Medycznego w Łodzi dotyczy filmów z karboksymetylocelulozy sodowej (CMC) modyfikowanych melaniną z pieczarki dwuzarodnikowej (*A. bisporus*) i/lub karwakrolem – naturalnym monoterpem o znanym działaniu przeciwdrobnoustrojowym, ale również przeciwutleniającym (**P36**). Założyliśmy, że filmy z dodatkiem zarówno melaniny (jako przeciwutleniacza) i karwakrolu (jako substancji przeciwdrobnoustrojowej i przeciwutleniacza) cechować się będą lepszymi właściwościami niż filmy modyfikowane tylko dodatkiem pojedynczych substancji. Istotnie, w przypadku właściwości przeciwutleniających stwierdzono synergistyczny efekt obu tych związków, co wiąże się z obecnymi w obu cząsteczkach grupami hydroksylowymi. Bardzo interesujących obserwacji dostarczyły badania aktywności przeciwdrobnoustrojowej. Dla filmów z dodatkiem jedynie karwakrolu zaobserwowano całkowitą inhibicję komórek bakterii *E. coli*, *S. aureus* oraz drożdży *C. albicans*, podobnie w przypadku filmów modyfikowanych melaniną zaobserwowano redukcję o 2-3 rzędy logarytmiczne. Jednakże w przypadku filmów z dodatkiem zarówno melaniny jak i jednakowego stężenia karwakrolu nie odnotowano całkowitej redukcji, a znacznie słabszą aktywność przeciwdrobnoustrojową. Efekt ten można przypisać oddziaływaniom pomiędzy cząsteczkami melaniny a karwakrolu, ograniczającym jego migrację z matrycy polimeru, tym samym limitując jego efektywność działania względem komórek mikroorganizmów. Wskazuje to na konieczność przemyślanego doboru związków aktywnych w układach wieloskładnikowych.

W związku z udziałem w międzynarodowym projekcie Green-Map oraz pełnieniem funkcji promotora pomocniczego pana mgr inż. Szymona Maciei moje zainteresowanie

wzbudził również poli(bursztynian butylenu) – PBS. W pracach **P37** i **P38** założyliśmy, że wieloskładnikowe kompozyty na bazie matrycy polimerowej PBS z dodatkiem różnych składników bioaktywnych mogą wykazywać właściwości użytkowe (mechaniczne i barierowe) oraz posiadać dodatkowe właściwości mogące przedłużyć trwałość wybranych pakowanych produktów (wł. przeciwutleniające i przeciwdrobnoustrojowe), dorównujące lub przewyższające konwencjonalne obecnie stosowane opakowania z typowych tworzyw sztucznych takich jak PET lub PP, przy jednoczesnej możliwości ich biodegradacji (zastosowanie dodatków naturalnych). Pierwsza praca w tym zakresie dotyczy wykorzystania flawonoidu – kwercetyny, substancji znanej z wysokiej aktywności przeciwutleniającej i przeciwdrobnoustrojowej. Filmy modyfikowane dodatkiem kwercetyny (0.05; 0.10; 0.25 i 0.50 pph względem PBS) cechowały się wysoką aktywnością przeciwutleniającą (zdolność do efektywnego wygaszania rodników DPPH, ABTS, O₂⁻), wzrastającą wraz ze stężeniem składnika aktywnego, a także aktywnością przeciwdrobnoustrojową względem *E. coli* i *S. aureus*. W pracy tej określono również stopień migracji składnika aktywnego do różnych płynów modelowych: etanolu (96%, 50%, 20%, 10%), 3% kwasu octowego, 0.1M NaOH oraz wody destylowanej. Największy stopień migracji zaobserwowano dla roztworów etanolu o stężeniu 96% i 50% oraz 0.1 NaOH, co wiąże się ze słabą rozpuszczalnością kwercetyny w roztworach o pH neutralnym oraz kwasowym, ale dobrą w warunkach alkalicznych i rozpuszczalnikach organicznych. W związku z tym stwierdzono, że filmy te mogą znaleźć zastosowanie w pakowaniu np. mięsa lub ryb, szczególnie tłustych, wrażliwych na procesy utleniania, a także w których w wyniku psucia się i produkcji m. in. amin biogennych i lotnych związków azotowych np. amoniaku, zachodzi alkalizacja środowiska produktu. W kolejnej pracy do modyfikacji PBS wykorzystano karwakrol oraz kurkuminę. Zaobserwowano synergistyczny efekt obydwu tych związków na aktywność przeciwutleniającą i przeciwdrobnoustrojową filmów (w tym na tworzenie biofilmu na powierzchni materiałów przez *E. coli*, *S. aureus* i *Candida albicans*).

Nawiązałem współpracę z dr Swarupem Royem (Shoolini University, Indie) oraz prof. Jong-Whan Rhimem (Kyung Hee University, Korea Południowa), którzy są ekspertami w obszarze modyfikacji materiałów polimerowych dodatkami aktywnymi, w tym melaninami i są jednymi z najczęściej cytowanych autorów na świecie w tym zakresie (dr Roy: H = 26, liczba cytowań = 2063, prof. Rhim: H = 68, liczba cytowań = 14717; dane z Web of Science na dzień 06.09.2022 r.). Zaproszenie przez nich do współpracy postrzegam za znaczące wyróżnienie i docenienie mojego wkładu w tematykę opakowań aktywnych. W wyniku współpracy z dr S. Royem została opublikowana praca **P39** dotycząca wykorzystania

melaniny z nasion arbuza jako czynnika redukującego w tzw. „zielonej biosyntezie” nanocząstek srebra i tlenku cynku *in situ* w matrycy jednego z najczęściej wykorzystywanych w opakowalnictwie i biomedycynie naturalnego polisacharydu – alginianu sodu. Syntezę nanocząstek ZnO oraz Ag potwierdzono wykorzystując spektroskopię FTIR, spektrofotometrię UV-Vis oraz oznaczając ich stopień dyspersyjności i promień hydrodynamiczny. W przypadku nanocząstek ZnO stwierdzono powstawanie aglomeratów. Otrzymane materiały cechowały się m. in. właściwościami przeciwutleniającymi, przeciwdrobnoustrojowymi względem *E. coli* oraz *S. aureus*, zwiększoną barierowością względem pary wodnej oraz względem promieniowania UV-Vis, jednocześnie nie wykazując działania cytotoksycznego względem linii komórkowej fibroblastów, dzięki czemu materiały te mogą znaleźć potencjalne zastosowanie w opakowalnictwie lub biomedycynie. Szczególnie wartym podkreślenia jest fakt, że praca ta zyskała uznanie i decyzją redakcji naukowej czasopisma *Materials* była promowana jako wyszczególniony artykuł (tzw. „highlighted paper”) na stronie głównej czasopisma przez dziewięć tygodni, znalazła się również w zestawieniu dziesięciu najczęściej pobieranych prac („Top 10 most downloaded papers”) w okresie luty-kwiecień 2022. Kolejne prace z udziałem dr Roya i prof. Rhima są w przygotowaniu, zarówno badawcze (m. in. praca dotycząca modyfikowanych melaninami filmów z kazeiny), jak i przeglądowe (m. in. dotyczące możliwości stosowania pektyn w opakowalnictwie oraz strategii zwiększania barierowości opakowań względem promieniowania UV-Vis).

Dzięki nawiązanej współpracy z zespołami dr inż. Pawła Kwiatkowskiego (Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie) oraz dr hab. n. med. Prof. Uczelni Moniki Sienkiewicz (Uniwersytet Medyczny w Łodzi) od 2019 r. biorę udział w badaniach dotyczących atybiotykoopornych szczepów mikroorganizmów, w tym oceny zmian zachodzących podczas indukcji oporności, wpływu substancji naturalnych o działaniu przeciwdrobnoustrojowym na komórki mikroorganizmów, efektywności ich stosowania w połączeniu więcej niż jednego związku, oraz odpowiedzi immunologicznej na komórki poddane działaniom substancji aktywnych. Szczególnie bliskość PUM w Szczecinie pozwala mi na regularne uczestniczenie w prowadzonych badaniach stacjonarnie. Dotychczasowym efektem współpracy jest dwanaście prac oryginalnych (**P40-P51**) oraz dwa doniesienia konferencyjne (**K21, K22**). W pracy **P40** zbadaliśmy wpływ olejku eterycznego z lawendy (LEO) na skuteczność dichlorowodoru oktenidyny (OCT) wobec metycylinoopornych szczepów *S. aureus* (MRSA). Wykazaliśmy synergistyczne działanie LEO i OCT, zwiększające przenikanie OCT do komórek bakteryjnych, co wynika ze zmian w składzie ściany komórkowej bakterii

potwierdzonych analizą FTIR. W pracy **P41** badając szczepy *S. aureus* wrażliwe na antybiotyki mupirocynę i z wyindukowaną opornością, stwierdziliśmy, że 1,8-cineol wykazuje synergizm z antybiotykiem w przypadku obu szczepów. Jednakże, w przypadku innego związku, (-)-mentonu wykazaliśmy synergizm dla szczepu wrażliwego, natomiast dla szczepu opornego zaobserwowaliśmy antagonizm z mupirocyną. Na podstawie szczegółowej analizy spektroskopowej FTIR i Ramana udowodniliśmy, że w przypadku szczepu opornego zachodzą modyfikacje składu chemicznego peptydoglikanu ściany komórkowej, co prowadzi do zmian jej potencjału elektrycznego, w konsekwencji zmieniając możliwość przenikania anionowego antybiotyku do wnętrza komórki bakteryjnej. Podobne badania przeprowadziliśmy w pracy **P42** dotyczącej *Klebsiella pneumoniae*, u której wyindukowano oporność na antybiotyk kolistynę, jednakże wykonane pomiary potencjału elektrokinetycznego komórek wrażliwych i opornych nie wykazały różnic w potencjale elektrycznym na powierzchni komórek. Na podstawie przeprowadzonych analiz spektroskopowych FTIR i Ramana całych komórek oraz wyizolowanego lipopolisacharydu stwierdziliśmy, że oporność na kolistynę wynika ze zmian chemicznych w obrębie polisacharydów, peptydoglikanu otoczki bakteryjnej, oligosacharydów i polisacharydów ściany komórkowej, jak również lipidów błony bakteryjnej. W pracy **P43** udowodniliśmy, że naturalne związki przeciwdrobnoustrojowe, eugenol i trans-anetol wykazują synergistyczne działanie na *C. albicans* z lekami przeciwgrzybiczymi (mikonazolem i ekonazolem). W ramach badań nad wpływem wybranych związków wchodzących w skład olejków eterycznych na aktywność przeciwbakteryjną antybiotyków β -laktamowych wobec metycyloopornych szczepów *S. aureus* (MRSA) (**P44**), wykazaliśmy, że zmiany ilości grup fosfodiesterowych, -OH, -CH₂ i -CH₃ w komórkach bakterii, mogą zmieniać oddziaływania z antybiotykami. Stwierdziliśmy również, szczególnie efektywne synergistyczne działanie metyciliny i octanu (\pm)-linalilu, co wynika z obecności dwóch grup metoksyłowych (CH₃O-) w cząsteczce tego antybiotyku. W pracy **P45**, wykazaliśmy, że spośród piętnastu analizowanych składników olejków eterycznych, trzy (tymol, geraniol, eugenol) cechują się najwyższą aktywnością przeciwdrobnoustrojową oraz zdolnością do inhibicji tworzenia biofilmu przez uropatogenne szczepy *K. pneumoniae*. Brałem również udział w badaniach dotyczących analizy zmian morfologicznych i funkcjonalnych komórek *S. aureus* spowodowanych ekspozycją na trans-anetol ich wpływu na aktywność fagocytarną ludzkich neutrofilii (**P46**) oraz oceny ekspresji wybranych genów cytokin zapalnych w limfocytach izolowanych z pełnej krwi ludzkiej zakażonej szczepem *S. aureus* Newman poddanemu działaniu trans-anetolu (**P47**). Kolejne badania, w których uczestniczyłem dotyczyły wpływu

wirującego pola magnetycznego na ekspresję genów enterotoksyn u *S. aureus* w obecności trans-anetolu (P48), oraz wrażliwości na związki przeciwdrobnoustrojowe szczepów *S. aureus* izolowanych z ran (P49). Efektem współpracy z Uniwersytetem Medycznym w Łodzi są również dwie prace przeglądowe (P50, P51). Dzięki nawiązanej współpracy z Zakładem Mikrobiologii Farmaceutycznej i Diagnostyki Mikrobiologicznej kierowanym przez prof. Monikę Sienkiewicz w okresie 10.05-14.05.2022 r. odbyłem wizytę studyjną, w czasie której doskonaliłem swój warsztat dotyczący metod hodowli, identyfikacji mikroorganizmów oraz określania ich wrażliwości na substancje aktywne.

Innym nurtem badawczym, w którym uczestniczę wspólnie z pracownikami Katedry Ogrodnictwa ZUT są badania poświęcone roślinom cechującym się wysoką zawartością substancji bioaktywnych, stosowanych jako żywność funkcjonalna, zioła, kwiaty jadalne, rośliny przyprawowe, lecznicze i ozdobne. W badaniach tych poszukujemy nowych gatunków jako źródła naturalnych przeciwutleniaczy, a także metod podwyższających jakość surowców, co oceniam wykorzystując metody biochemiczne oraz spektroskopowe. Wykazaliśmy, że ekstrakty z liści szalwii szkarłatnej (*Salvia coccinea*) traktowanej kwasem salicylowym w warunkach stresu solnego cechowały się zwiększoną zawartością składników mineralnych, w tym potasu i fosforu (P52). U pachnotki zwyczajnej (*Perilla frutescens*) uprawianej jako „baby leaf” stwierdziliśmy stymulujący wpływ oligochitozanu na biomasę liści, zawartość antocjanów, polifenoli i flawonoidów ogółem oraz aktywność przeciwutleniającą (P53). Po raz pierwszy dowiedliśmy, że dodanie do podłoża wysuszonych owocników pieczarek wyraźnie zwiększa plon, poprawia właściwości prozdrowotne liści i kwiatów oraz wpływa na profil olejków eterycznych aksamitki rozpierzchłej (*Tagetes patula*) (P54). W badaniach porównawczych różnych gatunków chabrów (*Centaurea* sp.) wykazaliśmy, że szczególnie bogaty w polifenole i flawonoidy ogółem oraz wykazujący się wysoką aktywnością przeciwutleniającą jest ekstrakt z kwiatów *C. orientalis* (P55). W ramach badań nad poprawą jakości owoców pomidora (*Lycopersicon esculentum*) wykazaliśmy, że dodatek do podłoża kompostu wyprodukowanego z naturalnych materiałów spowodował zwiększenie biomasy owoców, zawartości polifenoli i kwasu L-askorbinowego (P56). Przeprowadziliśmy także badania oceniające wpływ wybranych bioregulatorów na wzrost i procesy fizjologiczne rzadkich roślin: *Amarine × tubergenii* (P57), *Cyrtomium fortunei* (K23), *Athyrium niponicum* (K25) i *Hesperantha coccinea* (K26, K27).

5.3. Podsumowanie

Podsumowując, mój dorobek naukowy wraz z pięcioma artykułami dokumentującymi Osiągnięcie naukowe obejmuje **118** pozycji bibliograficznych, w których jestem autorem lub współautorem. Są to:

- oryginalne prace twórcze: **67**, w tym **60** w języku angielskim
- rozdziały w monografiach naukowych: **8**
- doniesienia i komunikaty prezentowane na konferencjach krajowych i międzynarodowych: **40**
- zgłoszenia patentowe: **3**

Spośród wszystkich oryginalnych prac twórczych 43 zostały opublikowane w recenzowanych czasopismach naukowych z listy JCR (w tym 5 stanowi cykl wskazany jako Osiągnięcie w postępowaniu habilitacyjnym). W 31 oryginalnych publikacjach jestem pierwszym autorem, natomiast w pozostałych 36 kolejnym autorem.

Sumaryczny IF (łącznie z Osiągnięciem naukowym) wynosi 146,939 (w tym 136,021 po uzyskaniu stopnia naukowego doktora). Sumaryczny IF bez osiągnięcia naukowego wynosi 134,391. Wartość punktowa wszystkich publikacji według wykazów czasopism naukowych zgodnie z rokiem opublikowania wynosi 4074 punkty, w tym po uzyskaniu stopnia naukowego doktora 3740 punktów. Zestawienie przedstawia Tabela 1.

Tabela 1. Podsumowanie dorobku naukowego

	Liczba dokonań		Sumaryczna liczba punktów		Sumaryczny IF wg roku opublikowania	
	Przed doktoratem	Po doktoracie	Przed doktoratem	Po doktoracie	Przed doktoratem	Po doktoracie
Publikacje						
Artykuły z listy JCR	5	40	159	3600	10,918	136,021
Artykuły spoza listy JCR	19	3	140	100	-	-
Rozdziały w monografiach	6	2	35	40	-	-
Doniesienia i komunikaty konferencyjne	17	23	-	-	-	-
Zgłoszenia patentowe	-	3	-	-	-	-
Łącznie	47	71	334	3740	10,918	136,021
	118		4074		146,939	

Liczba cytowań publikacji (stan na dzień 05.09.2022 r. – według analizy wykonanej przez Bibliotekę Główną ZUT – Załącznik 7)

Liczba cytowań według bazy Web of Science Core Collection wynosi – 290, bez autocytowań – 191;

Liczba cytowań według bazy Scopus wynosi – 309, bez autocytowań – 208;

Liczba cytowań według bazy Google Scholar wynosi – 546, bez autocytowań – brak danych.

Informacja o posiadanym indeksie Hirscha (stan na dzień 05.09.2022 r. – według analizy wykonanej przez Bibliotekę Główną ZUT – Zał. Załącznik 7)

Indeks Hirscha według bazy Web of Science wynosi – 10;

Indeks Hirscha według bazy Scopus wynosi – 11 (bez autocytowań 8);

Indeks Hirscha według bazy Google Scholar wynosi – 14.

Sumaryczne zestawienie informacji na temat dorobku naukowego (uwzględniając okres przed i po uzyskaniu stopnia doktora) oraz wskaźników dokonań naukowych przedstawiono w Załączniku 4. Sumaryczny Impact Factor (IF) wg bazy Journal Citation Reports (JCR) podano zgodnie z rokiem ukazania się pracy. Liczbę punktów za publikację podano wg roku opublikowania na podstawie wykazu czasopism naukowych.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę

W czasie studiów doktoranckich byłem członkiem Rady Wydziału Nauk o Żywności i Rybactwa ZUT w Szczecinie jako przedstawiciel doktorantów.

Za swój niewątpliwy sukces organizacyjny uważam powołanie interdyscyplinarnego (przedstawiciele technologii żywności, mikrobiologii, biotechnologii, nauk medycznych i dietetyki) i międzyinstytucjonalnego (2 uczelnie – ZUT i PUM) zespołu w ramach projektu LIDER XI. Wykorzystując bogatą infrastrukturę Jednostki udało mi się rozwinąć nowy obszar tematyki badawczej, a dzięki zdobytym funduszom możliwe było również doposażenie zaplecza naukowo-badawczego CBiMO. Dzięki temu udało się zakupić m. in. wielodetekcyjny czytnik mikroplętek z monochromatorem SynergyTM (z modułami absorbancji, fluorescencji i luminescencji) oraz 4-stanowiskową wytrząsarkę do mikroplętek z inkubacją, suszarkę próżniową, zestaw pięciu bioreaktorów Biosan RTS-1 z pomiarem komórek w czasie rzeczywistym, zestaw czterech fermentorów o łącznej pojemności 120 litrów, wielostanowiskowy inkubator z wytrząsaniem oraz zestaw do oznaczania tłuszczu metodą Gerbera. Dzięki temu udało mi się zorganizować nowe stanowiska badawcze, co w znaczący sposób zwiększyło możliwości badawcze Jednostki i Zespołu, oraz wydajność i przepustowość badań.

Z mojej inicjatywy oraz naukowców, z którymi współpracuję (dr inż. Pawła Kwiatkowskiego – PUM, oraz dr hab. inż. Urszuli Krupy-Kozak – IRZBZ PAN) zostały podpisane dwie ramowe umowy o współpracy pomiędzy Zachodniopomorskim Uniwersytetem Technologicznym w Szczecinie a instytucjami naukowymi. Umowa z Pomorskim Uniwersytetem Medycznym w Szczecinie (PUM) dotyczy „współpracy w zakresie rozwoju innowacyjnej prozdrowotnej żywności roślinnej oraz dodatków do żywności, a także zakłada wspólne prowadzenie badań naukowych, aplikowanie o granty badawcze, rozwój pracowników oraz przyjmowanie studentów na staże lub w celu

prowadzenia badań”. Umowa z Instytutem Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności Polskiej Akademii Nauk w Olsztynie zakłada „podjęcie działań mających na celu prowadzenie badań naukowych oraz pozyskiwanie środków finansowych na projekty badawcze w tematyce związanej z dodatkami do żywności oraz innowacyjnymi prozdrowotnymi produktami spożywczymi na bazie surowców w pochodzenia roślinnego”. W umowach tych jestem wskazany jako osoba odpowiedzialna za kontakty z Instytucjami Partnerskimi we wskazanych zakresach.

Praca dydaktyczna w okresie studiów doktoranckich wiązała się z kształceniem studentów kierunków Technologia żywności i żywienie człowieka, Mikrobiologia stosowana, Biotechnologia, Rybactwo w ramach ćwiczeń z przedmiotów: Biochemia, Chemia żywności, Enzymologia, Opakowania do żywności, Bioimmobilizacja, Biotechnologia w produkcji biopolimerów, Projektowanie linii biotechnologicznych. Podczas studiów doktoranckich uczestniczyłem w merytorycznym wsparciu nad badaniami do pięciu prac magisterskich, na podstawie których powstała 1 publikacja (**P19**). Po uzyskaniu stopnia doktora, z uwagi na charakter zatrudnienia (etat badawczy) nie uczestniczę bezpośrednio w procesach dydaktycznych (prowadzeniu wykładów i ćwiczeń), jednakże proces kształcenia realizuję przez angażowanie studentów i doktorantów w realizację zadań badawczych. Po zatrudnieniu w CBiMO wsparłem merytorycznie i naukowo przygotowanie czterech prac magisterskich, w ramach których studenci zaangażowani byli również w przygotowanie publikacji (**H1, H2, H3, H4, P25, P32, P33, P35, P36**). Dzięki obowiązującej umowie z Pomorskim Uniwersytetem Medycznym, byłem opiekunem dwóch staży zrealizowanych w CBiMO przez studentów Uczelni partnerskiej: p. Mateusza Kostka (12.2019-01.2020 r.) oraz p. Nikoli Arszyńskiej (01-30.09.2021 r.), zrealizowanego w ramach kierowanego przeze mnie projektu Lider ProBioVege. Obecnie współpracuję z p. Elżbietą Lichwiarską, studentką kierunku Biotechnologia, która realizuje w CBiMO proces kształcenia w ramach Szkoły Orłów ZUT. Jest to inicjatywa wspierająca najlepszych studentów w realizowaniu prac badawczych z pracownikami Uczelni, dzięki czemu p. Lichwiarska pracuje wraz ze mną nad tematyką roślinnych alternatyw serów pleśniowych, co zaowocowało pracą **P26** i wystąpieniami konferencyjnym (**K35 i K37**). Pełniłem również rolę opiekuna stażu p. Lichwiarskiej w CBiMO w okresie 11.07-21.08.2022 r.

Obecnie pełnię funkcję promotora pomocniczego dwóch Uczestników Szkoły Doktorskiej ZUT:

1. mgr inż. Szymon Macieja – „Ocena możliwości zastosowania dodatków bioaktywnych do modyfikacji folii z poli(bursztynianu butylenu) do zastosowań

w opakowalnictwie wybranych produktów spożywczych” – Promotor: prof. dr hab. inż. Artur Bartkowiak – wsparcie merytoryczne w zakresie doboru dodatków aktywnych oraz ich wpływie na właściwości funkcjonalne i bioaktywność modyfikowanych materiałów.

2. mgr inż. Anna Pietrak – Wpływ biostymulatorów na wzrost ozdobnych paproci gruntowych w warunkach stresów środowiskowych” – Promotor: dr hab. inż. Piotr Salachna, prof. ZUT – wsparcie merytoryczne w zakresie oznaczeń związków bioaktywnych, aktywności biologicznej oraz wykorzystaniu metod spektroskopowych do oceny zmian struktury makromolekuł w materiale roślinnym.

Zarządzeniem 49 Rektora ZUT z dn. 01.04.2022 zostałem powołany do Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej w rekrutacji na studia w roku akademickim 2022/2023 w roli sekretarza.

Od początku mojej pracy naukowej angażuję się w różne formy aktywności, mające na celu popularyzację nauki za pomocą różnorodnych form przekazu. Aby dotrzeć do szerokiego grona odbiorców wraz z Zespołem prowadzimy stronę internetową projektu ProBioVege (www.probiovege.com.pl, w języku polskim i angielskim), a także jesteśmy obecni w mediach społecznościowych: Facebook, Instagram, Twitter, TikTok oraz LinkedIn. Na serwerze uczelnianym prowadzę również swoją stronę internetową (www.llopusiewicz.zut.edu.pl), na której podaję informacje nt. swojej aktywności naukowej. Brałem również udział w promocji Uczelni podczas wydarzenia „Dzień dobry ZUT 2021”. W ramach popularyzacji tematyki żywności roślinnej opublikowałem artykuł popularnonaukowy na portalu PortalSpozywczy.pl „Makuchy potencjałem żywności roślinnej i zamienników mleka?”, brałem udział w podcaście ZUT w Eterze pt. „Będziemy zajadali makuchy?”, a także wystąpiłem w programie TVP „Stacja innowacja”. Udzieliłem również kilku wywiadów prasowych, telewizyjnych i radiowych, m.in. w Moje Miasto Trendy, w Kronice TVP Szczecin, radiu RMF MAXX i Super FM. W dn. 16.03.2022 na zaproszenie portalu Food Fakty podczas webinarium eFORUM Strategie zrównoważonego rozwoju w branży spożywczej wygłosiłem referat dotyczący potencjału wykorzystania makuchów. W dn. 14.02.2022 wzięłem udział w wydarzeniu networkingowo-szkoleniowym „naukowe szybkie randki” organizowanym przez ZUT w ramach projektu „Rzecznicy nauki”, polegającym na opowiedzeniu w krótkim czasie (5 minut, tzw. „szybka randka”) dziennikarzom o prowadzonych przez siebie badaniach. W dn. 25.05.2022 r. w Centrum Nauki Kopernik w Warszawie na zaproszenie Fundacji Proveg wygłosiłem wykład „Makuchy jako surowce do rozwoju innowacyjnych roślinnych produktów spożywczych i dodatków do

żywności” podczas wydarzenia New Food Forum – Roślinna Przyszłość Sektora Spożywczego. W wydarzeniu tym uczestniczyło ponad 200 osób, w tym przedstawiciele wielu firm z branży spożywczej produktów plant-based, dzięki czemu udało mi się nawiązać wiele cennych kontaktów z otoczeniem gospodarczym. Zostałem również zaproszony do wygłoszenia wystąpienia pt. „W co można przekształcić makuchy wykorzystując mikroorganizmy? Roślinne alternatywy nabiału w zgodzie z ideą zero waste” przez portal Food Fakty w ramach wydarzenia eForum Strategie Plant Based, które odbędzie się 21.09.2022 r.

Szczegółowe zestawienie aktywności popularyzującej naukę zestawiono w Tabela 2.

Tabela 2. Zestawienie aktywności popularyzującej naukę

L.p.	Działanie popularyzujące naukę	Link
1	Prowadzenie strony na serwerze uczelnianym dotyczącej prowadzonej działalności naukowej	https://lopusiewicz.zut.edu.pl/
2	Prowadzenie strony dotyczącej projektu ProBioVege	https://probiovege.com.pl/
3	Prowadzenie social media dotyczących projektu ProBioVege (Facebook, Instagram, Twitter, LinkedIn, TikTok)	Instagram: https://www.instagram.com/probiovege/ Facebook: https://www.facebook.com/ProBioVege LinkedIn: https://pl.linkedin.com/company/probiovege Twitter: https://twitter.com/ProBioVege TikTok: https://www.tiktok.com/@probiovege?lang=pl-PL
4	Wystąpienie w programie Stacja Innowacja TVP dotyczące projektu ProBioVege 03.03.2021	https://youtu.be/rIU5WWU6q_k
5	Wystąpienie w programie Kronika TVP3 Szczecin dotyczące projektu ProBioVege 07.11.2020	https://szczecin.tvp.pl/50699857/naukowcy-z-zut-w-gronie-najzdolniejszych-w-polsce
6	Wystąpienie w programie „Dzień dobry ZUT” 23.06.2021	https://youtu.be/MUSHGDMSE8I
7	Wystąpienie w podcaście ZUT w Eterze „Będziemy zajadali makuchy” 14.12.2021	https://youtu.be/ZNDhQ5Gh-Lk
8	Wygłoszenie referatu na zaproszenie portalu FoodFakty podczas wydarzenia eFORUM Strategie zrównoważonego rozwoju w branży spożywczej	https://youtu.be/RbLZ5nVPhXM

	16.03.2022 r.	
9	Wygłoszenie referatu na zaproszenie fundacji ProVeg podczas wydarzenia New Food Forum 25.05.2022 r.	https://proveg.com/pl/new-food-forum/
10	Artykuł popularnonaukowy „Makuchy potencjałem żywności roślinnej i zamienników mleka?” Portal Spożywczy 07.04.2021 r.	https://www.portalspozywczy.pl/zywnosc-roslinna/wiadomosci/makuchy-potencjalem-zywnosci-roslinnej-i-zamiennikow-mleka.197469.html
11	Wywiad w radiu RMF MAXXX dotyczący projektu ProBioVege 24.08.2021	-
12	Wywiad w radiu RMF MAXX dotyczący projektu Miniatura 5 14.01.2022	-
13	Wywiad w radiu Super FM dotyczący projektu ProBioVege 5.05.2021	https://www.super.fm/wiadomosci/1056/zut-dla-wegan-i-wegetarian?fbclid=IwAR0btikEkQbMSnyhunDdYW6wv3rMrqQYi3HbOe-9SZjS-qE1mz1-nQkLWw
14	Artykuł w MM Trendy „Wegańskie przekąski ze Szczecina”	https://issuu.com/tomkuc/docs/mm_trendy_06_2021/1?ff&fbclid=IwAR0awncteZ350wmy79VCIYjPqa-mroiGeFMVpm3mzBFAG6HGsk1TJvPOLWo
15	Udział w wydarzeniu „Naukowe szybkie randki” 14.02.2022	https://www.zut.edu.pl/zut-studenci/aktualnosci/article/naukowcy-zut-randkowali-z-dziennikarzami-rozmawiano-wylacznie-o-nauce.html

7. Dodatkowe informacje dotyczące kariery zawodowej

7.1. Udział w projektach badawczych i współpraca z otoczeniem gospodarczym

Podczas dotychczasowej pracy naukowej uczestniczyłem w realizacji 9 projektów zarówno naukowych jak i realizowanych wraz z partnerami przemysłowymi. Szczegółowe zestawienie projektów przedstawiono w Tabeli 3.

Tabela 3. Zestawienie uczestnictwa w projektach naukowych i B+R

L.p.	Tytuł projektu	Okres	Rola
1	Lider XI NCBiR ProbioVege pt. „Rozwój innowacyjnych bioaktywnych fermentowanych wegańskich produktów spożywczych z wybranych makuchów dostępnych na rynku polskim”	01.2021 – trwa	Kierownik
2	NCN Miniatura 5 – "Dojrzewanie roślinnego analogu sera z porostem pleśni. Czy procesy proteolizy i lipolizy zachodzą podobnie jak w tradycyjnym serze Camembert?"	01.2022 – trwa	Kierownik
3	Horyzont 2020 Green-Map „Novel Green Polymeric Materials For Medical Packaging and Disposables to Improve Hospital Sustainability”	2020 – trwa	Wykonawca
4	Opracowanie znacząco ulepszonych dwóch opakowań z tworzywa do bioaktywnych produktów żywności pochodzenia roślinnego – z Partnerem Przemysłowym	01.2021 – 06.2021	Główny Wykonawca
5	Projekt w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój, poddziałanie 2.3.2 Bony na innowacje dla MŚP „Opracowanie powłok z wykorzystaniem substancji dopuszczonych do kontaktu z żywnością, nanoszonych na powierzchnię materiału celulozowego, charakteryzujących się polepszoną barierowością na tłuszcz i wodę” – z Partnerem Przemysłowym	02.2020 – 08.2020	Główny Wykonawca
6	Projekt w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Małopolskiego na lata 2014-2020, Poddziałanie: Bony na innowacje „Zakup usługi badawczo-rozwojowej przez firmę KEDAR w celu wdrożenia nowego produktu – opakowań celulozowych przeznaczonych do przechowywania żywności” – z Partnerem Przemysłowym	09.2019 – 11.2020	Główny Wykonawca
7	Projekt w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój, poddziałanie 2.3.2 Bony na innowacje dla MŚP: „Realizacja usługi badawczo-rozwojowej polegającej na opracowaniu materiału opakowaniowego przeznaczonego do pakowania świeżo krojonych owoców i/lub warzyw” – z	01.2019 – 06.2019	Wykonawca

	Partnerem Przemysłowym		
8	Projekt w ramach Programu Operacyjnego Polska Wschodnia oś priorytetowa, Poddziałanie 1.3.1 Wdrażanie innowacji przez MŚP: „Wykonanie asysty wdrożeniowej podczas procesu biokonwersji skrobi do cyklodekstryn na linii produkcyjnej” – z Partnerem Przemysłowym	09.2018 – 11.2018	Wykonawca
9	Projekt Badania Młodych Naukowców pt. „Próba wykorzystania biomasy grzybowej do wytworzenia innowacyjnego materiału opakowaniowego” realizowany ze środków WNOŻIR ZUT w Szczecinie	2014 – 2018	Główny Wykonawca

Od stycznia 2021 jestem kierownikiem 3-letniego projektu ProBioVege finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu Lider XI pt. „Rozwój innowacyjnych bioaktywnych fermentowanych wegańskich produktów spożywczych z wybranych makuchów dostępnych na rynku polskim”, który uzyskał finansowanie w wysokości 1 328 757,50 zł. Celem projektu jest opracowanie grupy produktów w postaci fermentowanych przekąsek i napojów w typie tzw. „mleka roślinnego” o cechach żywności funkcjonalnej z wybranych makuchów (z amarantusa, z czarnuszki, z konopi, z lnianki, z sezamu, z wiesiołka i ze słonecznika) dostępnych na rynku polskim. Obecnie realizuję również działanie naukowe Miniatura 5 Narodowego Centrum Nauki pt. „Dojrzewanie roślinnego analogu sera z porostem pleśni. Czy procesy proteolizy i lipolizy zachodzą podobnie jak w tradycyjnym serze Camembert?”. Od 2020 roku jestem wykonawcą i członkiem zespołu badawczego ZUT w projekcie „Novel Green Polymeric Materials For Medical Packaging And Disposables To Improve Hospital Sustainability finansowanego ze środków Unii Europejskiej Horyzont 2020 (kierownik: prof. dr hab. inż. Mirosława El Fray), skupiającego partnerów zarówno akademickich jak i przemysłowych z 7 państw. Projekt ten dotyczy opracowania nowej grupy materiałów opakowaniowych z PBS przeznaczonych do pakowania produktów medycznych. W projekcie tym jestem odpowiedzialny za dobór substancji aktywnych o działaniu przeciwdrobnoustrojowym, które mogą być wykorzystane do modyfikacji materiałów opakowaniowych oraz testowaniu aktywności zarówno samych dodatków jak i modyfikowanych materiałów. W ramach tego projektu wziąłem udział w Kick-off meeting w dn. 9-10.01.2020, które odbyło się w Stacji Naukowej Polskiej Akademii Nauk w Wiedniu. Z uwagi na pandemię COVID-19, 2-miesięczny staż jaki miałem odbyć w przedsiębiorstwie Croda w Holandii w 2021 roku, został przełożony na koniec roku

2022 i rok 2023. Projekty 4,5,6,7,8 realizowane były wraz z partnerami przemysłowymi. W ramach tych współprac powstały dwa zgłoszenia patentowe: (i) „Sposób otrzymywania biodegradowalnej formulacji powłokotwórczej na bazie skrobi oraz materiałów pakowy z powłoką biodegradowalną” nr P.437011 – Projekt 5; (ii) „Sposób otrzymywania powłoki o właściwościach przeciwdrobnoustrojowych do modyfikacji powierzchniowej materiału celulozowego” nr P.435798 – Projekt 6.

Wykonałem 57 (12 przed uzyskaniem stopnia doktora i 45 po uzyskaniu stopnia doktora) zleconych prac badawczych dla partnerów przemysłowych. Ponadto w ramach przygotowania projektu Lider udało mi się pozyskać siedem listów intencyjnych od partnerów gospodarczych, m. in. Grupy Maspex, firmy Serowar, Stowarzyszenia Natrureef, firmy Edpol Food and Innovation oraz firmy Olejarnia Niwki. Z mojej inicjatywy podpisane zostały również ramowe umowy o współpracy pomiędzy Zachodniopomorskim Uniwersytetem Technologicznym w Szczecinie oraz partnerami gospodarczymi: (i) firmą Chr. Hansen; (ii) firmą Kubara; (iii) Fundacją Proveg.

7.2. Udział w konferencjach naukowych

W czasie dotychczasowej pracy naukowej jako autor i współautor doniesień i komunikatów konferencyjnych wzięłem udział w 28 konferencjach krajowych i międzynarodowych. Szczegółowe zestawienie udziału w konferencjach znajduje się w Załączniku 4.

7.3. Udział w szkoleniach i kursach

Podnosiłem swoje kompetencje zawodowe w czasie szkoleń i kursów, zdobywając różne umiejętności przydane w pracy naukowej jak i organizacyjnej, w tym w zakresie zarządzania zespołem oraz pozyskiwania funduszy na badania. Zestawienie odbytych kursów i szkoleń zamieszczone jest w Tabeli 4.

Tabela 4. Zestawienie odbytych kursów i szkoleń

L.p.	Data	Nazwa szkolenia
1	28.02.2019 r.	Szkolenie Regionalne Centrum Innowacji i Transferu Technologii ZUT w Szczecinie „ <i>EURAXESS – portal mobilnych naukowców: granty, stypendia, oferty pracy</i> ”
2	28.03.2019 r.	Szkolenie Regionalne Centrum Innowacji i Transferu Technologii ZUT w Szczecinie „ <i>Wykorzystaj swoją szansę i zostań Ekspertem</i> ”

		<i>Komisji Europejskiej”</i>
3	29.05.2019 r.	Szkolenie Regionalne Centrum Innowacji i Transferu Technologii ZUT w Szczecinie „ <i>Granty w pigułce, czyli skok na kasę!</i> ”
4	09.06.2019 r.	Szkolenie Regionalne Centrum Innowacji i Transferu Technologii ZUT w Szczecinie „ <i>Oferta europejskich infrastruktur badawczych i nie tylko</i> ”
5	28.11.2019 r.	Pomorski Uniwersytet Medyczny „ <i>ScienceDirect i Mendeley jako narzędzia dla naukowców</i> ”
6	04.12.2019 r.	Szkolenie Regionalne Centrum Innowacji i Transferu Technologii ZUT w Szczecinie „ <i>Jak skutecznie zarządzać projektem badawczym?</i> ”
7	11.12.2019 r.	Szkolenie Regionalne Centrum Innowacji i Transferu Technologii ZUT w Szczecinie „ <i>Raz a dobrze - prace zlecone ZUT krok po kroku</i> ”
8	06.02.2020 r.	Szkolenie Regionalne Centrum Innowacji i Transferu Technologii ZUT w Szczecinie „ <i>Dobry wniosek do Horyzontu 2020 Twoją szansą na sukces</i> ”
9	20.05.2020 r.	Büchi Labortechnik AG „ <i>Praktyczne aspekty oznaczania azotu i białka w oparciu o metodę Kjeldahla</i> ”
10	17.12.2020 r.	Szkolenie Regionalne Centrum Innowacji i Transferu Technologii ZUT w Szczecinie „ <i>Jak pogodzić pracę naukową z prowadzeniem firmy</i> ”
11	16.02.2021 r.	Szkolenie Regionalne Centrum Innowacji i Transferu Technologii ZUT w Szczecinie „ <i>Miliony za pomysły! Zdobądź Grant ERC</i> ”
12	23.03.2021 r.	Büchi Labortechnik AG „ <i>How to use continuous extraction for quick and compliant fat determination</i> ”
13	01.04.2021 r.	Szkolenie Regionalne Centrum Innowacji i Transferu Technologii ZUT w Szczecinie „ <i>Promocja firmy w social mediach: Dlaczego Facebook to nie wszystko?</i> ”
14	15.04.2021 r.	FoodFakty „ <i>Sensoryczna jakość żywności - Metody badań, rozwój produktu, komunikacja. Postęp w nauce o sensoryce</i> ”
15	28.04.2021 r.	Büchi Labortechnik AG „ <i>Plant-based meat and dairy analytics - protein and fat determination</i> ”

16	08.06.2021 r.	Szkolenie Regionalne Centrum Innowacji i Transferu Technologii ZUT w Szczecinie „ <i>Aktywny naukowiec = mobilny naukowiec. Granty Postdoctoral Fellowships szansą na rozwój kariery naukowej</i> ”
17	11.05.2022 r.	Horyzontalny Punkt Kontaktowy Polska Zachodnia „ <i>Możliwości partycypacji w Horyzoncie Europa</i> ”

7.4. Członkostwo w towarzystwach naukowych, zespołach redakcyjnych czasopism, komitetach naukowych konferencji oraz recenzje publikacji

Od 2017 roku jestem członkiem zwyczajnym Polskiego Towarzystwa Mikrobiologów (PTM), zaś od 2021 członkiem zwyczajnym Polskiego Towarzystwa Technologów Żywności (PTTŻ). Decyzją Oddziału Terenowego PTM w Szczecinie z dn. 27.05.2022 r. zostałem wybrany jako Delegat na Walne Zgromadzenie Delegatów podczas XXIX Ogólnopolskiego Zjazdu PTM.

Angażuję się również w pracę zespołów czasopism naukowych. Od 2019 roku pełnię funkcję Reviewer Board Member czasopism *Microorganisms*, *Polymers*, *Pharmaceuticals* oraz *Applied Sciences*. Od 2021 roku pełnię funkcję Editorial Board Member w czasopiśmie *Material Science Research India* a także Topical Advisory Panel Member w czasopiśmie *Fermentation*. Pełniłem bądź pełnię również rolę Edytora czterech zeszytów specjalnych: (i) „*New Innovations in Plant-Based Dairy Alternatives*” w czasopiśmie *Applied Sciences*; (ii) „*Plant-based Fermented Foods and Civilization Diseases*” w czasopiśmie *Fermentation*; (iii) „*Biotransformation of Plant Materials by Molds and Higher Fungi*” w czasopiśmie *Fermentation*; (iv): “*Novel Trends in Food Emulsions and Foams*” w czasopiśmie *Frontiers in Food Science and Technology*.

Pełniłem także funkcję członka Komitetu Naukowego Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej „*Zagrożenia zdrowia człowieka – przyczyny, stan obecny, sposoby na przyszłość*”, która odbyła się 26.05.2022 r.

Wykonałem 177 recenzji publikacji dla polskich i zagranicznych czasopism naukowych, w tym 45 w czasopismach ujętych w wykazie *Journal Citation Reports*. Ponadto wykonałem recenzję jednego rozdziału dotyczącego metod analiz melanin w monografii naukowej pt.: „*Wybrane problemy i rozwiązania w medycynie – przegląd zagadnień*” ISBN 978-83-66489-91-2 wydawnictwa Tygiel. Zestawienie czasopism wraz z liczbą recenzji przedstawia Tabela 5. Najwięcej recenzji wykonałem dla czasopism *LWT – Food Science and*

Technology (24), Applied Sciences (24), Fermentation (12), Foods (10), Molecules (9). Jako najbardziej wyróżniającą postrzegam możliwość wykonania recenzji dla uznanych czasopism takich jak: Food Chemistry, LWT – Food Science and Technology, Biotechnology Advances, Carbohydrate Polymers, Journal of Cereal Science, Food Control, Molecules, Foods. Zestawienie wykonanych recenzji przedstawia Tabela 5.

Tabela 5. Zestawienie liczby wykonanych recenzji

L.p.	Czasopismo	Liczba recenzji	IF ^{5-letni} czasopisma*
1	LWT – Food Science and Technology	24	4,925
2	Applied Sciences	24	2,736
3	Fermentation	12	3,167
4	Foods	10	4,957
5	Molecules	9	4,588
6	Pharmaceuticals	9	5,850
7	Coatings	5	3,038
8	Catalysts	4	4,399
9	Processes	4	2,824
10	Antioxidants	3	6,649
11	Biomedical and Pharmacology Journal	3	0,855
12	Current Research in Nutrition and Food Science Journal	3	1,075
13	International Journal of Molecular Sciences	3	6,132
14	Journal of Food Measurement and Characterization	3	2,347
15	Journal of Polymers and the Environment	3	3,536
16	Materials	3	3,920
17	Agronomy	2	3,640
18	Biomass Conversion and Biorefinery	2	4,151
19	Colloids and Surfaces B: Biointerfaces	2	5,268*
20	Crystals	2	2,615
21	European Journal of Lipid Science and Technology	2	2,627
22	Food Control	2	5,498
23	International Food Research Journal	2	1,333
24	Journal of Food Quality	2	2,679
25	Journal of Functional Biomaterials	2	-
26	Journal of Fungi	2	6,499
27	Microorganisms	2	4,128*
28	Recycling	2	-
29	Microbial Cell Factories	2	5,588

30	Food Chemistry	2	7,516
31	Antibiotics	1	4,849
32	Biocontrol Science and Technology	1	1,616
33	Biotechnology Advances	1	16,301
34	Biomolecules	1	5,362
35	Carbohydrate Polymers	1	8,678
36	Chem BioEng Reviews	1	2,927*
37	Chromatography and Spectroscopy Techniques	1	4,321
38	European Food Research and Technology	1	3,005
39	Annals of WULS, Forestry and Wood Technology	1	-
40	Grasas y Acetites	1	1,641
41	International Journal of Biomaterials	1	-
42	International Journal of Otolaryngology	1	-
43	international Journal of Pharmacology, Phytochemistry and Ethnomedicine	1	-
44	Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials	1	2,351
45	Journal of Cereal Science	1	3,891
46	Journal of Environmental Chemical Engineering	1	5,649
47	Materials Research Science India	1	-
48	Nutrients	1	6,352
49	Oriental Journal of Physical Sciences	1	-
50	Polymer	1	4,186
51	Science Progress	1	2,022
52	Sustainability	1	3,473
53	Vaccines	1	5,513
Rozdziały w monografiach			
1	Rozdział w monografii „Wybrane problemy i rozwiązania w medycynie – przegląd zagadnień” ISBN 978-83-66489-91-2	1	-

*w przypadku braku IF_{5-letni} podano wartość IF w roku wykonania recenzji

7.5. Otrzymane stypendia, nagrody i wyróżnienia

Podczas studiów doktoranckich w latach 2014-2018 czterokrotnie uzyskiwałem stypendium doktoranckie, stypendium Rektora ZUT dla najlepszych doktorantów oraz stypendium projakościowe do stypendium doktoranckiego.

W czerwcu 2019 otrzymałem wyróżnienie Oddziału Polskiej Akademii Nauk w Gdańsku w konkursie dla młodych naukowców na najlepszą pracę twórczą opublikowaną

w 2018 roku w kategorii nauk biologicznych i rolniczych za publikację wchodzącą w skład mojej rozprawy doktorskiej pt. „New Poly(lactic acid) Active Packaging Composite Films Incorporated with Fungal Melanin” opublikowaną w 2018 roku w czasopiśmie Polymers. W maju 2020 roku decyzją Prezydium Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Mikrobiologów otrzymałem Nagrodę Naukową (II stopnia) PTM im. Prof. Edmunda Mikulaszka za pracę „Development, characterization, and bioactivity of non-dairy kefir-like fermented beverage based on flaxseed oil cake” opublikowaną w czasopiśmie Foods, która wchodzi w skład Osiągnięcia naukowego przedstawionego w niniejszym autoreferacie. Praca ta będzie prezentowana podczas XXIX Zjazdu PTM w Warszawie we wrześniu 2022. Otrzymanie tej nagrody podczas tego wydarzenia postrzegam jako szczególne wyróżnienie. Jako szczególne wyróżnienie postrzegam również udział w Plebiscycie Osobowość Roku Polski 2020 organizowanym przez Polska Press Grupa, do którego uzyskałem nominację w kategorii Nauka za „pracę nad rozwojem innowacyjnych bioaktywnych fermentowanych wegańskich produktów spożywczych” zdobywając pierwsze miejsce w województwie Zachodniopomorskim oraz piąte miejsce w głosowaniu ogólnopolskim (ponad 2400 głosów internautów), dzięki czemu miałem niepowtarzalną okazję odebrać nagrodę podczas uroczystej gali zorganizowanej na Zamku Królewskim w Warszawie.

Za realizację projektu Lider otrzymałem również nominację do nagrody Ambasador Innowacyjności przyznawanej przez Europejski Ośrodek Rozwoju Gospodarki, nagrody Naukowiec Przyszłości 2021 w kategorii: „Nauka dla lepszego życia w przyszłości”, przyznawanej przez Centrum Inteligentnego Rozwoju oraz nagrody R&D Impact przyznawanej przez R&D Promotion. Dwukrotnie zostałem również nagrodzony przez JM Rektora ZUT dodatkiem za ponadprzeciętną aktywność naukową w roku 2020 i 2021.

