



Wydział
Nauk o Żywności
i Rybactwa



Zachodniopomorski
Uniwersytet
Technologiczny
w Szczecinie

Centrum Bioimmobilizacji i Innowacyjnych Materiałów
Opakowaniowych

Małgorzata Monika Mizielńska

AUTOREFERAT W JEZYKU POLSKIM

Małgorzata Mizielńska

Szczecin 2019

1. **Imię i nazwisko:** Małgorzata Mizieleńska

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe:

Stopień doktora nauk rolniczych w zakresie zootechniki – 02.03.2005 r., Wydział Biotechnologii i Hodowli Zwierząt, Akademia Rolnicza w Szczecinie. Rozprawa doktorska pt.: “Badanie wybranych cech biologicznych szczepów *Yersinia pseudotuberculosis* oraz *Escherichia coli* ze szczególnym uwzględnieniem genetycznej determinacji ich właściwości sacharolitycznych”. Promotor: Prof. dr hab. Antoni J. Furowicz (Katedra Immunologii i Mikrobiologii).

Tytuł magistra inżyniera w zakresie technologii chemicznej (technologii biopolimerów), 07. 2000 r., Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej, Politechnika Szczecińska. Praca magisterska pt.: “Badanie kinetyki inhibitowanej polimeryzacji metakrylanu metylu wobec makroazoinicjatora w dimetyloformamidzie”. Promotor: Prof. dr hab. inż. Jerzy Szafko.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:

od 01.10.2006 r. do chwili obecnej – adiunkt w Zakładzie Opakowalnictwa i Biopolimerów, od 2010 r. Centrum Bioimmobilizacji i Innowacyjnych Materiałów Opakowaniowych, na Wydziale Nauk o Żywności i Rybactwa, Akademia Rolnicza w Szczecinie, od 2009 r. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie.

od 05.09.2005 r. do 30.09.2006 r. – asystent naukowo-dydaktyczny w Zakładzie Opakowalnictwa i Biopolimerów, na Wydziale Nauk o Żywności i Rybactwa, Akademia Rolnicza w Szczecinie (1/2 etatu).

od 03.2005 r. do 08.2005 r. – specjalista w katedrze Immunologii i Mikrobiologii na Wydziale Biotechnologii i Hodowli Zwierząt, Akademia Rolnicza w Szczecinie.

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

a) tytuł osiągnięcia naukowego/ artystycznego:

Osiągnięciem, stanowiącym podstawę do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego, jest cykl pięciu prac naukowych powiązanych tematycznie, ujętych pod wspólnym tytułem:

Opracowanie materiałów opakowaniowych pokrytych aktywnymi powłokami, odpornymi na promieniowanie UV oraz badanie wpływu uzyskanych powłok na okres przydatności do spożycia filetów z dorsza (*Gadus morhua*)

b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, według roku wydania, nazwa wydawnictwa)

H.1. **Mizielńska M. (80%)**, Kowalska U., Jarosz M., Sobecka K., Sumińska P. 2018. Powlekany papier. Część 1. Właściwości mechaniczne i antymikrobiologiczne. Przemysł Chemiczny, 97 (4), 648-652 [15 pkt; IF = 0,399]

H.2. **Mizielńska M. (86%)**, Kowalska U., Salachna P., Łopusiewicz Ł., Jarosz M. 2018. The influence of accelerated UV-A and Q-SUN irradiation on the antibacterial properties of hydrophobic coatings containing *Eucomis comosa* extract. Polymers, 10, 421 [40 pkt; IF = 2,935; IF_{5-year} = 3,509]

H.3. **Mizielńska M. (90%)**, Lisiecki S., Jotko M., Chodzyńska I., Bartkowiak A. 2015. Właściwości antymikrobowe folii polilaktydowej pokrytej hydrofobową powłoką z nanocząsteczkami ZnO. Przemysł Chemiczny, 94 (7), 1205-1208 [15 pkt.; IF = 0,367]

H.4. **Mizielńska M. (85%)**, Łopusiewicz Ł., Mężyńska M., Bartkowiak A. 2017. The influence of accelerated UV-A and Q-SUN irradiation on the antimicrobial properties of coatings containing ZnO nanoparticles. Molecules, 22, 1556 [30 pkt.; IF = 3,098; IF_{5-year} = 3,268]

H.5. **Mizielńska M. (85%)**, Kowalska U., Jarosz M., Sumińska P. 2018. A Comparison of the effects of packaging containing nano ZnO or polylysine on the microbial purity and texture of cod (*Gadus morhua*) fillets, Nanomaterials. 8, 158 [35 pkt.; IF = 3,504; IF_{5-year} = 3,811]

Suma punktów = 135

Sumaryczny IF = 10,303

**Liczbę punktów za publikację podano wg roku opublikowania na podstawie wykazu czasopism naukowych MNiSW; w przypadku braku danych (lata 2017 i 2018) podano liczbę punktów wg listy MNiSW „Ujednolicony wykaz czasopism naukowych za lata 2013-2016” z dnia 26 stycznia 2017 r.*

*** Sumaryczny Impact Factor (IF) wg bazy Journal Citation Reports (JCR) podano zgodnie z rokiem ukazania się pracy; podano także aktualny sumaryczny 5 – letni Impact Factor (IF)*

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

Osiągnięcie pod tytułem **Opracowanie materiałów opakowaniowych pokrytych aktywnymi powłokami, odpornymi na promieniowanie UV oraz badanie wpływu uzyskanych powłok na okres przydatności do spożycia filetów z dorsza (*Gadus morhua*)**, będące podstawą do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego stanowi cykl pięciu oryginalnych artykułów z lat 2015-2018, przedstawiających wyniki interdyscyplinarnych badań:

H.1. **Mizielńska M.**, Kowalska U., Jarosz M., Sobecka K., Sumińska P. 2018. Powlekany papier. Część 1. Właściwości mechaniczne i antymikrobiologiczne. Przemysł Chemiczny, 97 (4), 648-652 [15 pkt.; IF = 0,399]

Mój wkład w powstanie tej pracy, jako autora wiodącego i korespondencyjnego, obejmował sformułowanie problemu badawczego, stworzenie koncepcji badań, zaplanowanie cyklu doświadczeń, stworzenie zespołu prowadzącego doświadczenia i zarządzanie nim, prowadzenie 80% doświadczeń, przeprowadzenie analizy danych, opracowanie i interpretację wyników, opracowanie graficzne, napisanie pierwszej wersji manuskryptu oraz pracę nad jego kolejnymi wersjami, ustosunkowanie się do recenzji, korektę drukarską. Mój udział procentowy szacuję na 80%.

H.2. **Mizielńska M.**, Kowalska U., Salachna P., Łopusiewicz Ł., Jarosz M. 2018. The influence of accelerated UV-A and Q-SUN irradiation on the antibacterial properties of hydrophobic coatings containing *Eucomis comosa* extract. Polymers.10, 421 [40 points; IF = 2,935; IF_{5-year} = 3,509]

Mój wkład w powstanie tej pracy, jako autora wiodącego i korespondencyjnego, obejmował sformułowanie problemu badawczego, stworzenie koncepcji badań,

zaplanowanie cyklu doświadczeń, stworzenie zespołu prowadzącego doświadczenia i zarządzanie nim, prowadzenie 85% doświadczeń, przeprowadzenie analizy danych, opracowanie i interpretację wyników, opracowanie graficzne, napisanie pierwszej wersji manuskryptu oraz pracę nad jego kolejnymi wersjami, ustosunkowanie się do recenzji, korektę drukarską. Mój udział procentowy szacuję na 86%.

H.3. **Mizielńska M.**, Lisiecki S., Jotko M., Chodzyńska I., Bartkowiak A. 2015. Właściwości antymikrobowe folii polilaktydowej pokrytej hydrofobową powłoką z nanocząsteczkami ZnO. *Przemysł Chemiczny*, 94 (7), 1205-1208 [15 pkt.; IF = 0,367]

Mój wkład w powstanie tej pracy, jako autora wiodącego i korespondencyjnego, obejmował sformułowanie problemu badawczego, stworzenie koncepcji badań, zaplanowanie cyklu doświadczeń, stworzenie zespołu prowadzącego doświadczenia i zarządzanie nim, prowadzenie 90% doświadczeń, przeprowadzenie analizy danych, opracowanie i interpretację wyników, opracowanie graficzne, napisanie pierwszej wersji manuskryptu oraz pracę nad jego kolejnymi wersjami, ustosunkowanie się do recenzji, korektę drukarską. Mój udział procentowy szacuję na 90%.

H.4. **Mizielńska M.**, Łopusiewicz Ł., Mężyńska M., Bartkowiak A. 2017. The influence of accelerated UV-A and Q-SUN irradiation on the antimicrobial properties of coatings containing ZnO nanoparticles. *Molecules*, 22, 1556 [30 pkt.; IF = 3,098; IF_{5-year} = 3,268]

Mój wkład w powstanie tej pracy, jako autora wiodącego i korespondencyjnego, obejmował sformułowanie problemu badawczego, stworzenie koncepcji badań, zaplanowanie cyklu doświadczeń, stworzenie zespołu prowadzącego doświadczenia i zarządzanie nim, prowadzenie 85% doświadczeń, przeprowadzenie analizy danych, opracowanie i interpretację wyników, opracowanie graficzne, napisanie pierwszej wersji manuskryptu oraz pracę nad jego kolejnymi wersjami, ustosunkowanie się do recenzji, korektę drukarską. Mój udział procentowy szacuję na 85%.

H.5. **Mizielńska M.**, Kowalska U., Jarosz M., Sumińska P. 2018. A comparison of the effects of packaging containing nano ZnO or polylysine on the microbial purity and texture of cod (*Gadus morhua*) fillets. *Nanomaterials*, 8, 158 [35 pkt.; IF = 3,504; IF_{5-year} = 3,811]

Mój wkład w powstanie tej pracy, jako autora wiodącego i korespondencyjnego, obejmował sformułowanie problemu badawczego, stworzenie koncepcji badań, zaplanowanie cyklu doświadczeń, stworzenie zespołu prowadzącego doświadczenia i zarządzanie nim, prowadzenie 85% doświadczeń, przeprowadzenie analizy danych, opracowanie i interpretację wyników, opracowanie graficzne, napisanie pierwszej wersji manuskryptu oraz pracę nad jego kolejnymi wersjami, ustosunkowanie się do recenzji, korektę drukarską. Mój udział procentowy szacuję na 85%.

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

Wykorzystanie substancji o właściwościach antymikrobiologicznych, wbudowanych w materiał opakowaniowy, jest interesującym zagadnieniem, ze względu na zdolność tych substancji do redukcji liczebności mikroorganizmów, odpowiadających za psucie się żywności. Ważnym jest, że substancje aktywne mogą zapewnić bezpieczeństwo żywności i wpłynąć na wydłużenie jej okresu przydatności do spożycia (Akbar i in. 2014, Bartkowiak i in. 2016, Mizieleńska i in. 2015 c). Interakcja między aktywnymi materiałami opakowaniowymi, zawierającymi substancje aktywne, a żywnością, może prowadzić do zmiany składu chemicznego zapakowanego produktu lub otaczającej go atmosfery. Może także doprowadzić do ograniczenia liczebności drobnoustrojów lub do całkowitego zahamowania wzrostu mikroorganizmów obecnych na powierzchni produktów spożywczych (Akbar i in. 2014, Bartkowiak i in. 2016, Mizieleńska i in. 2015 c, Jafarzadeh i in. 2017). Biorąc pod uwagę, że innowacyjne materiały opakowaniowe mogą chronić żywność, ukierunkowałam moje prace badawcze na opracowanie takich materiałów, które uzyskiwałyby nowe, ulepszone właściwości poprzez ich pokrywanie powłokami aktywnymi. Wiadomym jest, że materiały celulozowe wymagają pokrywania powłokami. Dzięki powlekanii, papier uzyskuje różne właściwości zależne od zastosowanej powłoki. Tektura i papier są to materiały bardzo często wykorzystywane do pakowania żywności. Do ich zalet należy podatność na biodegradację oraz biogodność, zaś do wad - słabe właściwości barierowe względem pary wodnej, które wymagają obróbki prowadzącej do nadania powierzchni nowych właściwości. Tekturę i papier można modyfikować na wiele sposobów. Jedną z powszechnie stosowanych metod jest pokrywanie powłokami. Powłoki nadają nowe cechy, które są niezbędne z punktu widzenia wymagań konkretnych produktów zabezpieczonych opakowaniem. Powłoki powinny jak najdłużej utrzymać świeżość i wysoką jakość żywności. Biorąc pod uwagę fakt, że grubość powłoki pokrywającej materiał opakowaniowy może wynosić od kilku nanometrów do kilkuset mikrometrów, wytrzymałość mechaniczna samej powłoki odgrywa bardzo istotną rolę. Jeśli powłoka uległaby deformacji lub zniszczeniu, jej podstawowe funkcje np. barierowość względem pary wodnej lub tlenu, czy właściwości przeciwbakteryjne mogłyby ulec pogorszeniu. Ważne jest, aby powłoki

nie ulegały zniszczeniu, by zwiększały wytrzymałość materiału, na który są nanoszone. Dlatego tak istotne jest dobranie odpowiedniego nośnika powłokotwórczego (Brodnjak 2017). W 2008 r. rozpoczęłam pracę w zespole badawczym prowadzącym doświadczenia w ramach projektu FLEXPARENEW FP7-NMP-2007-SMALL-1 pt. „Design and development of an innovative ecoefficient low-substrate flexible paper packaging from renewable resources to replace petroleum based barrier films”. Podczas realizacji prac badawczych byłam odpowiedzialna za poszukiwanie substancji aktywnych, które mogłyby zostać wprowadzone do nośników powłokotwórczych i analizę aktywności antymikrobiologicznej powlekanego papieru. Kontynuując eksperymenty dotyczące powłok aktywnych, w 2012 r. rozpoczęłam pracę w projekcie MNT-ERA.NET Bio2Mat pt. „Rozwój i przetwórstwo ubocznych produktów rolniczych do wielomateriałowych mikrowłóknistych kompozytowych materiałów opakowaniowych“. Przez dwa lata byłam członkiem międzynarodowego zespołu (współpraca między innymi z partnerami z Uniwersytetu w Karlstad w Szwecji), którego celem było opracowanie: 1) biodegradowalnego materiału spienionego, powlekanego powłoką hydrofobową. Prace te przyczyniły się do przygotowania zgłoszenia patentowego i uzyskania patentu (P.3); 2) hydrofobowej powłoki na bazie glutenu, zawierającej nanocząstki ZnO jako substancję aktywną, nanoszonej na powierzchnię biodegradowalnej folii oraz hydrofilowej powłoki na bazie metylohydroksy-propylo-celulozy (MHPC) z nanocząsteczkami ZnO, nanoszonej na powierzchnię biodegradowalnej folii. Celem prac było także badanie właściwości antymikrobiologicznych otrzymanych powłok.

Polietylen (PE) jest powszechnie wykorzystywany w opakownictwie do wytwarzania opakowań do żywności ze względu na jego właściwości przetwórcze, w tym termostabilność, elastyczność, przezroczystość oraz niską cenę (Mizielńska et al. 2015 a, 2015 b, 2015 c). Jednocześnie przemysł spożywczy poszukuje nowych rozwiązań, mających na celu zastąpienie syntetycznych materiałów biodegradowalnymi biopolimerami. Polikwas mlekowy (PLA) to biopolimer, który cechują dobre właściwości przetwórcze, biogodność i biodegradowalność. Zaletą biopolimeru są także dobre właściwości mechaniczne. Jednym z kluczowych zastosowań PLA jest produkcja opakowań na bazie tego materiału. Niestety, słabe właściwości barierowe stanowią element ograniczający jego zastosowanie w produkcji opakowań do żywności. Dlatego bardzo ważna jest modyfikacja

właściwości barierowych PLA. Do osiągnięcia pożądaných parametrów dąży się poprzez zmiany składu L- i D- izomerów, budowy podstawowej na drodze kopolimeryzacji, wypełnianie nieorganicznymi mikro- i nanocząsteczkami oraz/lub łączenie PLA z innymi polimerami. Aby poprawić właściwości barierowe PLA, materiał ten można zmodyfikować także przez pokrywanie powłokami. Założyłam zatem, że powlekanie folii PLA mogłoby być jednym z rozwiązań (Chu i in. 2017, Mizieleńska i in. 2015 a, 2015 b, Sánchez Aldana i in. 2014, Siracusa i in. 2017). Aby zwiększyć barierowość folii PLA względem pary wodnej, folia PLA została pokryta powłoką hydrofobową na bazie glutenu, zaś aby nadać jej właściwości przeciwbakteryjne, do nośnika powłokotwórczego została wprowadzona substancja aktywna. Ze względu na to, że zaangażowani w projekt partnerzy (Uniwersytet w Karstad) opracowali metodę modyfikacji procesu otrzymywania nanocząsteczek tlenku cynku (o różnym kształcie i wielkości nanocząsteczek) i nanoszenia go na powierzchnie folii, wybór padł na tą substancję. Oryginalne wyniki przeprowadzonych badań skłoniły mnie do napisania artykułu [H.3.].

Kolejnym projektem, w którym byłam zaangażowana był CORNET – SmartFlowerPack projekt B2B: „Opracowanie i wdrożenie inteligentnego systemu opakowaniowego na bazie biomateriałów przeznaczonego do pakowania kwiatów “. Byłam członkiem międzynarodowego zespołu (partnerzy z KCPK – Kenniscentrum Papier en Karton, Holandia), który podjął próbę modyfikacji materiałów opakowaniowych, dedykowanych do transportu i magazynowania kwiatów ciętych. W projekt ten zaangażowani byli też polscy partnerzy przemysłowi, którzy dostarczali nam opakowania komercyjne, w tym pokrywane powłokami zawierającymi nanocząsteczki srebra. Wyniki tej pracy zostały zaprezentowane na konferencji w Madrycie (International Conference On Antimicrobial Research, 2014). W 2015 r. rozpoczęłam pracę w projekcie PBS3/B5/46/2015 “Opracowanie innowacyjnych opakowań o właściwościach anty-UV i inhibitujących wzrost mikroorganizmów”. Byłam członkiem zespołu (nad którym sprawowałam opiekę merytoryczną), który zajmował się opracowaniem składu powłoki, która miała wykazywać właściwości antymikrobiologiczne i jednocześnie byłaby odporna na działanie promieniowania UV. Równolegle, byłam członkiem międzynarodowego zespołu zaangażowanego w projekt CORNET ActiPoly „Opracowanie przyjaznego dla środowiska naturalnego, aktywnego, wielofunkcyjnego opakowania przeznaczonego do wydłużenia okresu trwałości świeżej żywności, na bazie

termoformowalnego materiału włóknistego”. Celem tego projektu było opracowanie składu dyspersji powłokotwórczych do nowych biodegradowalnych lub poddawanych recyklingowi, materiałów opakowaniowych, przeznaczonych do pakowania świeżej żywności.

Typowy materiał opakowaniowy wykazujący właściwości przeciwdrobnoustrojowe zwykle składa się z wielu warstw, z których jedna zawiera związek aktywny. Substancje przeciwbakteryjne mogą być wprowadzane do matrycy polimeru lub do zewnętrznej powłoki. Podczas realizacji projektu istotne było, aby opakowania, pokrywane powłokami charakteryzowały się wysoką wytrzymałością, barierowością względem pary wodnej i tlenu (wewnętrzna powłoka). Ważne było, by otrzymane opakowania posiadały właściwości antymikrobiologiczne (powłoka zewnętrzna), umożliwiające wydłużenie terminu przydatności do spożycia zapakowanych produktów spożywczych. Istotne było, by powłoki nie zmniejszyły podatności opakowań na biodegradację. Na podstawie wyników uzyskanych w ramach projektu przygotowałam artykuły H1 i H5.

Właściwości mechaniczne powłok odgrywają ważną rolę, ponieważ to powłoki wpływają na poprawę właściwości wytrzymałościowych materiałów, których powierzchnię pokrywają. Uszkodzenie powłoki może prowadzić do utraty właściwości nie tylko powłoki, ale i materiału, na którego powierzchni znajduje się powłoka (Mizielinska i in. 2018 b,c). Parafiny, emulsje woskowe i kopolimery m. in. na bazie poliuretanu lub polistyrenu są typowymi czynnikami hydrofobizującymi, stosowanymi w formie stopionej na powierzchni biopolimerów, zwiększającymi ich barierowość względem pary wodnej (Mizielinska i in. 2018 b). Produkty komercyjne, dedykowane do powlekania materiałów opakowaniowych takie jak: Eurocryl 2080 (Cebra Chemie, GmbH, Bramsche, Niemcy), Exceval HR 3010 (Kuraray, Europe GmbH, Hattersheim am Main, Niemcy), Ecroprint RA 112 (Michelman, Ecronova Polymer GmbH, Recklinghausen, Niemcy), Ultralub (Keim Additec Surface, GmbH, Kirchberg, Germany), Aquacer 2650 (Byk, Wesel, Niemcy) lub masło kakaowe (które jest stosowane w przemyśle spożywczym) mogłyby być stosowane jako hydrofobowe nośniki powłokotwórcze do powlekania materiałów opakowaniowych.

Założyłam, że masło kakaowe mogłoby zostać wykorzystane jako składnik dyspersji powłokotwórczej. Ze względu na właściwości hydrofobowe mogło poprawić barierowość folii PLA względem pary wodnej (Mizielinska et.al 2015 b,c,

2018 b,c). Biorąc pod uwagę fakt, że PLA jest poliestrem i nie jest kompatybilne z masłem kakaowym, należało wprowadzić masło do takiego nośnika powłokotwórczego, który wykazuje dobrą adhezję do PLA. Takim nośnikiem okazała się metylo-hydroksy-propyloceluloza (MHPC). Przygotowano zatem dyspersję powłokotwórczą na bazie MHPC z dodatkiem masła kakaowego. W ostatnich latach, wiele wysiłku poświęcono nie tylko właściwościom mechanicznym i barierowym materiałów opakowaniowych, ale także opracowaniu dyspersji powłokotwórczych o działaniu przeciwdrobnoustrojowym, które ograniczyłyby lub całkowicie zahamowały wzrost mikroorganizmów. Zwrócono także uwagę na to, by powłoki zapewniały możliwie wysoką aktywność przeciwdrobnoustrojową, w możliwie krótkim czasie. W przypadku powłok o właściwościach antymikrobiologicznych, kluczowe jest by powłoki były aktywne przez cały czas kontaktu powierzchni powłoki z powierzchnią produktu spożywczego, by w sposób ciągły, powłoki te pełniły funkcję antymikrobiologiczną i ochronną. Metylo-hydroksy-propylo-celuloza, metyloceluloza (MC), czy etyloceluloza (EC) są często wykorzystywanymi nośnikami powłokotwórczymi. Znanych jest też wiele substancji, które dodane do takiego nośnika pozwalają uzyskać aktywność antymikrobiologiczną powłoki. Do substancji tych należą: bakteriocyny, egzopolisacharydy, ekstrakty roślinne, olejki eteryczne, substancje chemiczne takie jak kwasy organiczne, konserwanty, czy nanocząstki metali oraz ich tlenków (Chu i in. 2017, Han i in. 2010, Jafarzadeh i in. 2017, Kwiatkowski i in. 2015, 2016, Musil 2017, Sánchez Aldana i in. 2014, Siracusa i in. 2017, Torres-Moreno i in. 2015, Wang i in. 2017).

Biorąc pod uwagę potencjał biologiczny stosowanych w etnomedycynie roślin, razem z zespołem, podjęłam badania nad oceną właściwości przeciwdrobnoustrojowych ekstraktów z cebul *Eucomis comosa*. Wykazałam, że ekstrakty z *E. comosa* hamowały wzrost takich szczepów jak: *Bacillus subtilis*, *B. atropheus* i *Staphylococcus aureus*. Przegląd danych literaturowych oraz wyniki wcześniej wykonanych doświadczeń pozwoliły mi wysunąć przypuszczenie, że dyspersja powłokotwórcza, zawierająca masło kakaowe jako substancję hydrofobową, zmniejszającą przepuszczalność pary wodnej, mogłaby zostać wykorzystana do otrzymania powłoki aktywnej na bazie MHPC. Natomiast wprowadzenie do dyspersji ekstraktu z *E. comosa*, wykazującego właściwości przeciwdrobnoustrojowe, mogłoby nadać powłoce dodatkową cechę – aktywność

antymikrobiologiczną (Bisi-Johnson i in. 2011, Motsei i in. 2003, Salachna i in. 2015, 2018, Mizielińska i in. 2017 d).

Nanocząsteczki ZnO zostały wielokrotnie poddane analizom, pod kątem właściwości antymikrobiologicznych, a ich wysoka aktywność przeciwdrobnoustrojowa spowodowała, że zaczęto ją rozpatrywać jako substancję aktywną, dodawaną do opakowań do żywności. Za ich wykorzystaniem w opakowalnictwie przemawiał fakt, że jako jeden z pięciu różnych związków cynku, uważane są za bezpieczne (GRAS) przez Amerykańską Administrację Żywności i Leków (USFDA, 21CFR182.8991). Nanocząsteczki tlenku cynku wykazują bakteriologiczne działanie względem bakterii Gram-dodatnich i Gram-ujemnych oraz odpornych na działanie wysokiej temperatury i ciśnienia przetrwalników bakteryjnych, a także drożdży i pleśni. Nanocząsteczki te niejednokrotnie wprowadzane były do matrycy polimerów syntetycznych takich jak: polietylen o niskiej gęstości (LDPE), polipropylen (PP), poliuretan (PU) oraz politereftalan etylenowy (PET). Nanocząstki wprowadzono do matrycy polimerów syntetycznych oraz biodegradowalnych, między innymi do polihydroksyalkanolanów (PHA). W przypadku opakowań aktywnych, wykazujących aktywność przeciwdrobnoustrojową, nanocząstki wprowadzane były nie tylko do matrycy całego tworzywa, dodawano je również do jednej z warstw (w przypadku folii wielowarstwowych), a także do powłok, którymi pokrywane były materiały opakowaniowe (Akbar i in. 2014, Azizi i in. 2013, Castro-Mayorgaa i in. 2017, Dizaj i in. 2014, El-Feky i in. 2014, Jafarzadeh i in. 2017, Noshirvani i in. 2017, Mizielińska i in. 2015 c, Oprea i in. 2016).

PSP NovaSOL® jest rozpuszczalny w wodzie i tłuszczu (roztwór amfifilowy), jest mieszaniną ekstraktów roślinnych. Po jego wprowadzeniu do powłoki, poza utworzeniem stabilnej warstwy na materiale opakowaniowym, mógłby on wykazywać właściwości antybakteryjne, podobnie jak inne ekstrakty roślinne, wykorzystywane jako substancje aktywne w powłokach. Substancja ta mógłaby zostać dodana zarówno do nośnika hydrofobowego, jak i hydrofilowego, mógłaby zostać naniesiona na powierzchnię materiału opakowaniowego lub na powłokę o charakterze hydrofobowym lub hydrofilowym. Niewiele jest doniesień potwierdzających wykorzystanie polilizyny jako substancji o właściwościach antymikrobiologicznych w opakowalnictwie. Polilizyna jest polipeptydem aktywnym względem bakterii Gram-dodatnich, takich jak *Listeria monocytogenes* oraz Gram-

ujemnych w tym: *Escherichia coli* O157:H7 i *Salmonella Typhimurium*. Aktywność przeciwdrobnoustrojowa polilizyny przypisywana jest jej polikationowemu charakterowi, który naturalnie wiąże się z naładowaną ujemnie ścianą komórkową drobnoustrojów (Mizielńska i in. 2018 b). Ogólnie rzecz biorąc, opakowania aktywne powinny pełnić swoje funkcje podczas przechowywania samego opakowania oraz w opakowania z zapakowanym produktem spożywczym. Powinny zachowywać świeżość żywności i wydłużać jej termin przydatności do spożycia przez ograniczenie lub zahamowanie wzrostu niepożądanego flory mikroorganizmów. Oznacza to, że opakowania powinny charakteryzować się odpornością na działanie promieniowania UV (Mizielńska i in. 2017 b). Promieniowanie ultrafioletowe jest częścią niejonizującego obszaru widma elektromagnetycznego, które stanowi od 8% do 9% całkowitego promieniowania słonecznego. Może prowadzić do pogorszenia, bądź całkowitej utraty właściwości fizyko-mechanicznych, optycznych i antymikrobiologicznych materiału. Wprowadzenie do nośnika powłokotwórczego substancji aktywnej (nadającej wybrane cechy użytkowe materiałowi opakowaniowemu), która jest wrażliwa na działanie promieniowania UV, może prowadzić do unieaktywnienia powłoki (do utraty jej cech użytkowych) pod wpływem postarzania jakie powoduje UV. Wprowadzenie do nośnika substancji odpornej na działanie UV lub takiej, która chroni swoje właściwości oraz właściwości innych substancji aktywnych i samego nośnika, może chronić powłokę przed postarzaniem UV. Należy wspomnieć, że nanocząstki tlenku cynku wzbudziły duże zainteresowanie wielu badaczy, ze względu na zdolności do absorpcji promieniowania UV, prowadzącej do poprawy właściwości antykorozyjnych materiałów, w których się znajdują. Dowiedziono, że nanocząsteczki ZnO wykazywały bardzo wysoką stabilność na działanie promieniowania UV. Założyłam, że zastosowanie tych cząsteczek do otrzymania powłok aktywnych, nie tylko jako substancji o silnym charakterze bakteriobójczym, ale i jako substancji chroniących materiał przed promieniowaniem UV, doprowadzi do otrzymania stabilnego materiału opakowaniowego, który będzie pełnił swoje funkcje przez wymagany czas, a to zwiększy atrakcyjność materiału opakowaniowego (El-Feky i in. 2014, Kairyte i in. 2013, Marvizadeh i in. 2017, Mizielńska i in. 2017 b, Oprea i in. 2016, Zhang i in. 2017).

Ryby oraz produkty rybne, mają bardzo dużą wartość odżywczą, ze względu na korzystną zawartość białka, nienasyconych kwasów tłuszczowych, niezbędnych

minerałów i witamin. Niestety ryby uważane są za bardzo niestabilny produkt spożywczy, co związane jest z bardzo szybko zachodzącymi procesami utleniania, psuciem się, często z pojawianiem się nieprzyjemnego zapachu, co może być związane z niewłaściwymi warunkami przechowywania. Do zepsucia ryby, prowadzi wzrost mikroorganizmów i zmiany jakościowe, jakie powoduje ich metabolizm, prowadzący do charakterystycznego pogarszania się właściwości produktu. Na okres przydatności do spożycia świeżych ryb wpływa wiele czynników takich jak: temperatura przechowywania, gatunek ryby, początkowe stężenie zanieczyszczających rybę drobnoustrojów oraz warunki pakowania ryby, a także rodzaj i jakość opakowania oraz system pakowania. Ryba zawierająca 10^7 cfu/g drobnoustrojów, może jeszcze zostać spożyta przez konsumenta, chociaż dla tej liczebności widoczne są już najczęściej zmiany sensoryczne (zachodzące intensywnie w przedziale 10^6 - 10^9 cfu/g). Na świeżość ryb i produktów rybnych istotny wpływ mają psychrotrofowe Gram-ujemne i Gram-dodatnie bakterie. Z ryb morskich, przechowywanych w mroźni, w warunkach tlenowych najczęściej izoluje się bakterie należące do *Pseudomonas* sp. oraz *Shewanella* spp. (Ampola i in. 1985, Kuuliala i in. 2018). Brzydki zapach „odór” jako wynik pojawiających się metabolitów bakteryjnych, jest bardzo często pierwszym wskaźnikiem informującym klienta o świeżości ryb. Produkowane przez bakterie, lotne związki organiczne takie jak kwasy, aldehydy, alkohole, aminy, ketony bardzo często prowadzą do pojawiania się nieprzyjemnych zapachów. Wyjściowa jakość ryb, niska temperatura ich przechowywania, mogą znacznie spowolnić proces psucia się ryb, nie mniej jednak czas wciąż pozostaje jednym z najważniejszych czynników, wpływających na zachowanie wysokiej wartości odżywczej produktów rybnych (Ampola i in. 1985, Kuuliala i in. 2018, Mireles i in. 2016, Singh i in. 2018, Sivertsvik i in. 2007). Metody konserwacji, które stosowano w latach osiemdziesiątych, miały na celu utrzymanie świeżości ryb jak najdłużej oraz przedłużenie ich okresu przydatności do spożycia. Stosowano wówczas konserwanty chemiczne takie jak sorbinian potasu, który jak wykazano w wielu pracach naukowych, hamuje wzrost bakterii odpowiedzialnych za nieprzyjemny zapach „zepsucia”. Dowiedziono, że dodatek od 2,5% do 5% sorbinianu potasu do fileta z dorsza oraz jego zapakowanie w folię LDPE wydłużyło okres przechowywania tej ryby aż do 16 dni (Ampola i in. 1985, Kuuliala i in. 2018, Mireles i in. 2016, Singh i in. 2018, Sivertsvik i in. 2007, Zhang i in. 2017).

Opakowania aktywne to nowoczesne rozwiązanie, które może docelowo spowodować zastąpienie konserwantów występujących bezpośrednio w żywności. Mogą one doprowadzić do utrzymania lub przedłużenia okresu przydatności produktów rybnych do spożycia, przy jednoczesnym utrzymaniu ich wysokiej jakości i bezpieczeństwa (Singh i in. 2018, Sivertsvik i in. 2007, Yildirim i in. 2018). Dodać należy, że jeden z rodzajów opakowań aktywnych tj.: opakowanie zamykane w systemie modyfikowanej atmosfery (MAP) może znacząco wydłużyć okres przechowywania produktów w warunkach chłodniczych. Na szczególną uwagę zasługują opakowania aktywne o właściwościach antymikrobiologicznych. Wprowadzanie substancji o właściwościach antybakteryjnych bezpośrednio na powierzchnię ryby ma ograniczone zalety, ponieważ z jednej strony, substancja taka może zostać zneutralizowana przez metabolity bakteryjne, z drugiej strony może migrować do wnętrza produktu spożywczego. Zastosowanie opakowań aktywnych, zawierających substancje aktywne włączone do matrycy polimerowej lub znajdujące się w powłoce może stanowić rozwiązanie problemu (Bartkowiak i in. 2016, Kuuliala i in. 2018, Mireles i in. 2016, Singh i in. 2018, Sivertsvik i in. 2007, Yildirim i in. 2018). Ostatnio, pojawiły się na rynku nowe rodzaje materiałów, zawierających nanocząsteczki związków nieorganicznych o charakterze przeciwdrobnoustrojowym. Stosuje się je teraz w wielu dziedzinach, ze względu na ich stabilność w warunkach wysokich temperatur i ciśnienia. Do otrzymywania opakowań aktywnych coraz częściej wykorzystuje się folie zawierające nanocząsteczki jonów srebra (Ag^+), ponieważ charakteryzują się one szerokim spectrum działania przeciwdrobnoustrojowego i wysoką stabilnością cieplną (Kuuliala i in. 2018, Mireles i in. 2016, Singh i in. 2018, Sivertsvik i in. 2007, Yildirim i in. 2018). Wielu badaczy wytwarzało blendy polietylenu z nanocząsteczkami jonów srebra i TiO_2 , a także kaolinu aby wydłużyć okres przydatności do spożycia świeżej żywności przechowywanej w temperaturze $4^{\circ}C$. Substancją aktywną stosowaną w opakowalnictwie jest również nano-ZnO. Nanocząsteczki tlenku cynku stosowane są do wytwarzania opakowań aktywnych nie tylko dlatego, że uważane są za bezpieczne (Akbar i in. 2014, Marra i in. 2017, Mizielińska i in. 2017 b, Wang i in. 2008), stosuje się je przede wszystkim dlatego, że wykazują działanie bakteriolityczne względem bakterii Gram-dodatnich, Gram-ujemnych, przetrwalników bakteryjnych oraz drożdży i pleśni (Mizielińska i in. 2017 b). Nanocząsteczki tlenku cynku mogą być wprowadzane bezpośrednio do matrycy

polimeru lub do powłoki aktywnej (Akbar i in. 2014, Azizi i in. 2013, Marra i in. 2017, Mizieleńska i in. 2015 c, Noshirvani i in. 2017, Rahman i in. 2017, Wang i in. 2008). Wiele prac badawczych dowiodło, że nanocząsteczki tlenku cynku, które zostały wprowadzone do matrycy polimeru lub do powłoki aktywnej, doprowadziły do wydłużenia przydatności do spożycia świeżej żywności. Dowiedziono bowiem, że w przypadku krojonego chleba pszennego, wydłużono okres jego przechowywania z 3 do 35 dni w porównaniu do chleba zapakowanego w opakowanie bez nanocząstek. Wszystkie aktywne opakowania całkowicie hamowały wzrost mikroorganizmów w krojonym chlebie aż do 15 dni (Oprea i in. 2016, Azizi i in. 2013, Marra i in. 2017, Noshirvani i in. 2017, Rahman i in. 2017, Wang i in. 2008). Sivertsvik (Sivertsvik 2007) dowiódł natomiast, że folie zawierające nano-ZnO wykazywały doskonałą aktywność przeciwdrobnoustrojową, dlatego zostały wykorzystane do wytwarzania woreczków do pakowania surowego mięsa. Autor wykazał, że aktywne opakowanie zahamowało całkowicie wzrost drobnoustrojów w mięsie przechowywanym w temp. 4°C aż do 6 dni. Emamifar (Emamifar i in. 2010) wykazał, że opakowania z LDPE, zawierające nanocząsteczki Ag⁺ i ZnO wydłużyły okres przechowywania świeżego soku pomarańczowego trzymanego w temp. 4°C. Natomiast Li z zespołem (Li i in. 2011, Li i in. 2017, Li i in. 2018) z sukcesem zastosował materiały opakowaniowe, zawierające nanocząsteczki ZnO do wydłużenia okresu przechowywania krojonych jabłek. Jedną z obaw związanych z zastosowaniem nanocząstek ZnO w opakowaniach do żywności była możliwość migracji nanocząstek z materiałów opakowaniowych do żywności, która mogłaby zaszkodzić zdrowiu ludzkiemu i mieć negatywny wpływ na bezpieczeństwo środowiska. Li i in. (Li i in. 2017, Li i in. 2018) rozwiali owe obawy potwierdzając, że ilość nanocząstek migrujących z opakowania zawierającego nanocząstki do próbek sera i płynów modelowych znajdowała się dużo poniżej limitu migracji, wynoszącego 1 mg/kg zgodnie z wymogami Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA).

Polilizyna (PL) jako naturalne białko jest uważana za substancję bezpieczną, może być stosowana do kontaktu z żywnością. Nie znaleziono jednak w literaturze wielu doniesień, które potwierdziłyby, że polilizyna była stosowana jako substancja aktywna w opakowalnictwie. Zinoviadou (Zinoviadou i in. 2010) jako pierwszy wykorzystał polilizynę, jako dodatek do powłoki z białka serwatkowego. Powłoka ta ograniczyła wzrost bakterii odpowiedzialnych za psucie się wołowiny. Natomiast

Ünalan (Ünalan i in. 2011) badał jadalne powłoki o właściwościach antymikrobiologicznych na bazie białka serwatkowego, alginianu, zeiny, chitozanu. Autor wprowadzał polilizynę jako substancję aktywną do powłok. Polilizyna stosowana była też jako środek konserwujący żywność taką jak: krojona ryba, surimi rybne, gotowany ryż, zupy z makaronem, makaron i gotowane warzywa Ünalan i in. (Ünalan i in. 2011).

Przegląd literatury naukowej, eksperymenty prowadzone w ramach projektów oraz doświadczenia wykonywane na zlecenie partnerów przemysłowych, skłoniły mnie do ukierunkowania prac badawczych, na otrzymywanie powlekanych opakowań aktywnych do świeżej żywności.

Hipotezą badawczą, którą postanowiłam zweryfikować w ramach zaproponowanego osiągnięcia naukowego było potwierdzenie, czy opakowania aktywne, pokrywane powłokami, w tym powłokami o właściwościach antymikrobiologicznych (w porównaniu z komercyjnymi opakowaniami bez powłok), będą chroniły świeżą żywność, przechowywaną w warunkach chłodniczych. Takie opakowania powinny także wydłużyć okres przechowywania świeżej żywności. Modelowym produktem spożywczym w badaniach była ryba, ponieważ bardzo szybko ulega ona zepsuciu, jeśli nie jest przechowywana w mroźni. Wybrałam filety z dorsza. Szczegółowe cele badawcze były następujące:

- Pokrywanie folii z polimerów syntetycznych lub biopolimerów oraz papieru powłokami, celem nadania im nowych właściwości użytkowych, zależnych od zastosowanego nośnika powłoktwórczego. Celem było uzyskanie aktywności antymikrobiologicznej materiału opakowaniowego, poprawa jego właściwości barierowych lub mechanicznych.
- Powlekane opakowania aktywne powinny spełniać swoje funkcje przez cały czas użytkowania tzn. podczas przechowywania opakowań oraz podczas przechowywania opakowań z produktami spożywczymi (w różnych warunkach). Oznacza to, że takie opakowania, a zwłaszcza powłoki je pokrywające, powinny być odporne na działanie promieniowania UV. Wprowadzenie do powłoki substancji aktywnej, która jest odporna na działanie UV lub substancji, która może ochronić powłoki przed inaktywacją,

spowodowaną działaniem UV. Cel stanowiło uzyskanie powłoki aktywnej, odpornej na działanie UV.

- Celem było ograniczenie wzrostu drobnoustrojów, odpowiedzialnych za psucie się świeżej ryby i tym samym wydłużenie okresu przechowywania świeżego dorsza w opakowaniach pokrytych powłokami aktywnymi, przechowywanego w warunkach chłodniczych.

Opracowanie materiałów opakowaniowych pokrytych aktywnymi powłokami, odpornymi na promieniowanie UV oraz badanie wpływu uzyskanych powłok na okres przydatności do spożycia filetów z dorsza (*Gadus morhua*)

Celem pierwszej publikacji (H.1) było określenie wpływu powlekania papieru, na poprawę właściwości barierowych i mechanicznych. Podjęto także próbę nadania papierowi właściwości antymikrobiologicznych. Papier powlekano dwoma powłokami. Warstwę pierwszą stanowiła powłoka hydrofobowa na bazie nośników Eurocryl 2080, Ecoprint oraz Exceval. Na tą warstwę наносono drugą, hydrofilową powłokę na bazie Methocel™. Powłoka ta zawierała 2% substancji aktywnych tj.: polilizyny lub solubilizatu PSP NovaSOL® (solubilizatu z ekstraktów roślinnych). Założono, że wybrane substancje zostaną wprowadzone do warstwy zewnętrznej, a wówczas ograniczą lub całkowicie zahamują wzrost bakterii Gram-dodatnich i Gram-ujemnych. Warstwa wewnętrzna miała poprawić właściwości barierowe papieru względem pary wodnej. Należało sprawdzić, czy dwie warstwy naniesione na papier poprawią także wytrzymałość materiału.

Przeprowadzone doświadczenia potwierdziły, że powlekanie papieru poprawiło jego wytrzymałość. Hydrofobowe powłoki Exceval, Ecoprint i Eurocryl zmniejszyły przepuszczalność pary wodnej papieru. Zaobserwowano, że hydrofobowe powłoki, które nie były pokryte powłoką zewnętrzną oraz papier, który pokryto dwoma warstwami tj. wewnętrzną hydrofobową i zewnętrzną na bazie Methocel™ nie były aktywne względem *S. aureus* i *E. coli*. Podobnie papier pokryty powłoką Exceval oraz zewnętrzną powłoką Methocel™, zawierającą PSP NovaSOL® nie ograniczył wzrostu obu gatunków bakterii. Należy jednak podkreślić, że papier pokryty wewnętrzną powłoką na bazie nośnika Ecoprint, a następnie zewnętrzną warstwą Methocel™ z 2% PSP zredukował liczebność zarówno *S. aureus*, jak i *E. coli* o 5 rzędów log. Zaobserwowano także, że papier

powlekany warstwą Ecoprint i MethocelTM z 2% zawartością polilizyny ograniczył liczbę bakterii *S. aureus* oraz *E. coli* o 4 log. Stwierdzono także, że wewnętrzna powłoka na bazie nośnika Eurocryl pokryta następnie warstwą MethocelTM z 2% PSP oraz/lub polilizyny wykazała bardzo wysoką aktywność przeciwdrobnoustrojową. Wykazano, że polilizyna zredukowała liczebność bakterii, należących do obu gatunków o więcej niż 6 log. PSP wykazało podobną aktywność ale tylko w stosunku do *S.aureus*. Uzyskane wyniki były bardzo satysfakcjonujące, ze względu na wysoką aktywność obu substancji, względem zarówno mikroorganizmów Gram-dodatnich, jak i Gram-ujemnych. Warto także podkreślić, że jeśli materiał opakowaniowy pokryty był dwoma warstwami, a substancja o właściwościach antymikrobiologicznych znajdowała się w warstwie zewnętrznej, to warstwa wewnętrzna – hydrofobowa wpływała na aktywność tej substancji. Należy zauważyć, że zarówno PSP NovaSOL®, jak i polilizyna były substancjami komercyjnymi. To skłoniło mnie do poszukiwania nowych substancji, które wykazywałyby aktywność przeciwdrobnoustrojową, a które nie były dotychczas wykorzystywane do otrzymywania powłok aktywnych. Wybór padł na ekstrakt z *Eucomis comosa*, który wykazywał właściwości antymikrobiologiczne względem bakterii Gram-ujemnych oraz Gram-dodatnich, i który wykorzystywany był w naturalnej medycynie afrykańskiej.

Celem drugiej pracy (H.2) było uzyskanie jednowarstwowego, powlekanego materiału opakowaniowego, który wykazywałby właściwości przeciwdrobnoustrojowe i jednocześnie poprawiał barierowość względem pary wodnej. Do przeprowadzenia doświadczeń wybrałam polikwas mlekowy (PLA) ponieważ podobnie jak papier jest to biopolimer ulegający biodegradacji, charakteryzujący się wysoką przepuszczalnością pary wodnej. Niska barierowość względem pary wodnej wyklucza ten materiał jako opakowanie do wielu produktów spożywczych. W pierwszym etapie doświadczeń na PLA nanoszono powłokę na bazie nośnika MHPC, do którego wprowadzono masło kakaowe jako substancję hydrofobową, która ograniczałaby przepuszczalność pary wodnej. Do układu powłokotwórczego wprowadzono ekstrakt z *E. comosa* jako substancję aktywną. Ze względu na to, że powłoka aktywna powinna pełnić swoje funkcje przez cały okres przechowywania opakowania oraz opakowania z produktem założono, że otrzymane powłoki zostaną poddane przyspieszonemu starzeniu za pomocą promieniowania UV-A oraz promieniowania Q-SUN (działanie całkowitego widma światła

słonecznego). Aktywność antymikrobiologiczną powłok analizowano przed oraz po ich naświetlaniu promieniowaniem UV. Istotne było bowiem sprawdzenie, czy przyspieszone postarzanie obniżyło aktywność antymikrobiologiczną powłok. Ponadto badano, czy naświetlanie wpłynęło na pogorszenie ich właściwości barierowych. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że powłoka na bazie nośnika MHPC, zawierająca masło kakaowe, nie wykazywała aktywności względem *S. aureus*, *B. cereus* oraz *B. atrophaeus*, natomiast powłoka MHPC, zawierająca dodatek masła kakaowego oraz ekstrakt z *E. comosa* ograniczyła wzrost *S. aureus* o 3 log. Zaobserwowano, że analizowana powłoka zredukowała liczebność *B. cereus* i *B. atrophaeus* tylko o 2-log. Badania wykazały, że promieniowanie UV-A oraz Q-SUN zmieniły skład chemiczny powłok otrzymanych z nośnika MHPC, zawierającego masło kakaowe oraz masło kakaowe i ekstrakt *E. comosa* co potwierdzono za pomocą metody FTIR. Pomimo, że promieniowanie UV-A zmieniło skład chemiczny powłok, nie pogorszyło ich właściwości antymikrobiologicznych względem *S. aureus* i *B. atrophaeus*. Nieco inne wyniki otrzymano dla powłok, które zostały poddane działaniu promieniowania Q-SUN. W tym przypadku liczebność wyżej wymienionych gatunków bakterii nieznacznie wzrosła. Analizując wpływ postarzania powłok na ich aktywność względem *B. cereus*, można zauważyć, że promieniowanie UV-A pogorszyło właściwości antymikrobiologiczne powłoki aktywnej, zaś promieniowanie Q-SUN nieznacznie ją poprawiło. Odnotowano, że masło kakaowe (jako hydrofobowy dodatek do nośnika powłokotwórczego) zwiększyło barierowość PLA względem pary wodnej w porównaniu do PLA pokrywanego MHPC. Zauważono także, że w przeciwieństwie do promieniowania UV-A, promieniowanie Q-UV poprawiło właściwości barierowe powlekanego PLA. Należy podkreślić, że postarzanie powłok na bazie MHPC z dodatkiem masła kakaowego i ekstraktu z wykorzystaniem UV-A i Q-SUN zwiększyło przepuszczalność PLA względem pary wodnej. Porównując wyniki obu prac (H.1 oraz H.2) należy podkreślić, że ekstrakt z *E. comosa* charakteryzował się niską aktywnością antymikrobiologiczną w porównaniu do polilizyny lub solubilizatu PSP. Dodatkową wadą tej substancji aktywnej był brak odporności na promieniowanie UV-A i Q-SUN.

Zespół El-Feky (El-Feky et al. 2014) potwierdził, że istnieją substancje, które mogą chronić warstwy/powłoki przed promieniowaniem UV. W przypadku powłok opisanych w pracy (H.2) odnotowano, że zanik pików obserwowany na widmie,

uzyskanym dla naświetlanych powłok, świadczył o utlenieniu wiązań podwójnych, znajdujących się w maśle kakaowym, co mogło być przyczyną pogorszenia się właściwości barierowych, powlekanego PLA względem pary wodnej. Autorzy (El-Feky et al. 2014) dowiedli, że nanocząsteczki ZnO nie tylko są odporne na działanie promieniowanie UV ale także, chronią przed promieniowaniem inne substancje. To skłoniło mnie do wykorzystania nanocząsteczek tlenku cynku jako substancji aktywnych, dodawanych do nośnika powłokotwórczego. Założyłam, że zostanie otrzymana powłoka o szerokim spectrum działania przeciwdrobnoustrojowego, jednocześnie odporna na promieniowanie UV.

Celem trzeciej pracy (H.3) było nadanie folii PLA właściwości antymikrobiologicznych, poprzez jej pokrywanie nośnikiem powłokotwórczym z substancją aktywną. Podczas doświadczeń wykorzystane zostały dwa nośniki: MHPC – nośnik hydrofilowy, a także nośnik hydrofobowy na bazie glutenu. Sprawdzano, czy to, do którego nośnika wprowadzona zostanie substancja aktywna, wpłynie na aktywność antymikrobiologiczną powłoki. Jako substancję aktywną wykorzystano nanocząsteczki ZnO. Analizowano właściwości antymikrobiologiczne powłoki względem *S. aureus* i *E. coli*. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdziłam, że hydrofobowa powłoka na bazie glutenu, do której nie dodano substancji aktywnej, zredukowała liczebność *S. aureus*. Natomiast dodatek nanocząsteczek tlenku cynku do nośnika MHPC i/lub do glutenu, spowodował całkowite zahamowanie wzrostu zarówno komórek *S. aureus*, jak i *E. coli*.

Przeprowadzone doświadczenia potwierdziły, że nanocząsteczki wykazują silne działanie bakteriologiczne względem bakterii Gram-dodatnich oraz względem bakterii Gram-ujemnych, bez względu na to, czy zostały dodane do nośnika o charakterze hydrofilowym, czy hydrofobowym.

Podsumowując wyniki uzyskane w ramach trzech prac można zauważyć, że powłoki z nanocząsteczkami (H.3), demonstrowały wyższą aktywność antymikrobiologiczną niż powłoki zawierające ekstrakt z *E. comosa* (H.2), polilizynę lub PSP (H.1).

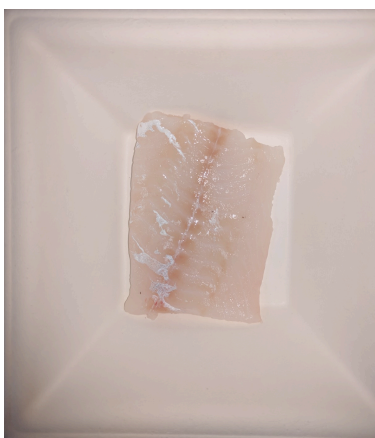
W kolejnym etapie doświadczeń zdecydowałam się sprawdzić, czy powłoka zawierająca nanocząsteczki tlenku cynku, będzie wykazywała aktywność względem pałeczek, które nie fermentują glukozy, względem Gram-dodatnich laseczek oraz drożdży. Celem pracy (H.4) było badanie wpływu przyspieszonego postarzenia powłok aktywnych, zawierających nanocząsteczki tlenku cynku za pomocą

promieniowania UV-A i Q-SUN na właściwości antymikrobiologiczne tych powłok. Polietylen został wybrany jako materiał opakowaniowy ponieważ pomimo, że nie jest on biodegradowalny to jest powszechnie stosowany do wytwarzania opakowań do żywności. Folie PE zostały pokryte nośnikiem MHPC, zawierającym nanocząsteczki ZnO (0,082g/100 ml nośnika powłokotwórczego). Folie, które nie zostały pokryte oraz folie powlekane nośnikiem powłokotwórczym oraz nośnikiem z nanocząsteczkami zostały poddane naświetlaniu przez 24 h. Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń stwierdzono, że powłoki pokryte czystym nośnikiem powłokotwórczym nie wykazywały aktywności względem szczepów *S. aureus*, *B. cereus*, *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa* i *Candida albicans*. Powłoka MHPC, zawierająca nanocząstki ZnO całkowicie zahamowała wzrost komórek bakteryjnych, należących do gatunków: *S. aureus*, *B. cereus*, *E. coli* oraz *Pseudomonas aeruginosa*, a także zredukowała liczebność *C. albicans*. Zarówno przyspieszone postarzenie Q-SUN, jak i UV-A nie wpłynęły na właściwości antymikrobiologiczne powłoki zawierającej nano-ZnO względem *S. aureus*, *B. cereus* i *E. coli*. Promieniowanie UV-A nie wpłynęło także na właściwości antymikrobiologiczne powłoki aktywnej względem szczepów *P. aeruginosa* i *C. albicans*. Zaobserwowano natomiast, że promieniowanie Q-SUN osłabiło aktywność antymikrobiologiczną powłoki zawierającej nanocząsteczki względem *P. aeruginosa* i *C. albicans*. Zmiany, które mogą zachodzić w foliach lub pokrywających je powłokach mogą być obserwowane za pomocą metody FTIR (Nguyena et al. 2017). Analiza FTIR powłok, które nie zostały poddane procesowi postarzenia oraz powłok postarzanych dowiodła, że promieniowanie UV-A i Q-SUN nie miały wpływu na strukturę chemiczną powłok aktywnych. Odnotowano zmiany w powłoce MHPC po jej naświetlaniu promieniowaniem Q-SUN. Takich zmian nie zaobserwowano dla powłoki MHPC zawierającej nanocząsteczki tlenku cynku. Nasunęło się zatem przypuszczenie, że nanocząsteczki nie tylko wykazały odporność na działanie promieniowania ale także zapobiegły zmianom jakie zaszłyby w MHPC. Moje przypuszczenia potwierdzili inni autorzy El-Feky (El-Feky et al. 2014).

Podsumowując uzyskane w ramach wymienionych prac wyniki dokonałam wyboru substancji aktywnych, które w kolejnym etapie miały zostać wykorzystane do otrzymania powłok aktywnych, nanoszonych na opakowania do świeżej żywności. Wybór padł na nanocząsteczki tlenku cynku, ponieważ całkowicie hamowały wzrost wybranych mikroorganizmów i były odporne na promieniowanie

UV. Wybrałam także polilizynę ponieważ ograniczała wzrost wybranych drobnoustrojów aż o 6 log. Ważne było, aby do testów przechowalniczych wykorzystane zostały najbardziej aktywne powłoki. Założyłam, że materiał opakowaniowy pokryty aktywną powłoką z polilizyną lub nano ZnO wydłuży czas przechowywania świeżej ryby.

Celem pracy (H.5) było porównanie wpływu opakowań aktywnych, pokrytych powłokami zawierającymi nanocząsteczki tlenku cynku oraz powłokami zawierającymi polilizynę na świeżość filetów z dorsza w porównaniu z opakowaniami, które nie zostały pokryte powłoką aktywną. Filet świeżego dorsza bałtyckiego został pokrojony na kawałki o masie 25 g. Porcje dorsza były wkładane do opakowania celulozowego i zgrzewane z materiałem kompozytowym celuloza/polietylen (Cel/PE). Kawałki dorsza wprowadzono aseptycznie odpowiednio do: a. pudełek celulozowych (próbki kontrolne) (Ryc.1a,1d); b. pudełek celulozowych, pokrytych powłoką MethocelTM, zawierającą 2% polilizyny (Fig.1b,1d); c. pudełek celulozowych z wkładem z folii polietylenowej pokrytej powłoką MHPC, zawierającą nanocząsteczki ZnO (0,082g/100 ml nośnika powłokotwórczego). Filety przykryto dodatkowo powlekaną folią PE, aby ryba miała kontakt z dwóch stron z powłoką aktywną (Fig.1c,1d). Następnie pudełka zostały zgrzane z folią Cel/PE w atmosferze powietrza. Aby sprawdzić jaki wpływ, na zapakowany produkt będą miały powłoki aktywne, pudełek nie zamknięto w systemie MAP. Pudełka z dorszem przechowywano w temp. 5°C. Próbkę dorsza badano po 72 i 144 godzinach przechowywania.



Ryc. 1a Dorsz w pudełku celulozowym



Ryc. 1b Dorsz w pudełku celulozowym, pokrytym powłoką aktywną z polilizyną



Ryc. 1c Dorsz w pudełku celulozowym z wkładem z folii PE, pokrytej powłoką aktywną z nanocząsteczkami tlenku cynku



Ryc. 1d Pudełka z dorszem przed zgrzaniem

Świeżość jest bardzo ważną cechą w ocenie jakości ryb. Jest ona bezpośrednio związana z czystością mikrobiologiczną, teksturą i smakiem. Utrzymanie świeżości ryby, w tym dorsza jest problematyczne ponieważ ulega ona procesom rozkładu, spowodowanym wzrostem niepożądanego flory bakteryjnej, które prowadzą do zepsucia dorsza (Cardoso et al. 2009, Cheng et al. 2014). Głównym celem opakowań jest utrzymanie jakości i bezpieczeństwa świeżej żywności, podczas ich przechowywania oraz wydłużenie terminu przydatności do spożycia produktów spożywczych. A przyczynić się do tego można przez ograniczenie wzrostu niepożądanego flory bakteryjnej i produkowanych przez nią toksyn, przez unikanie oddziaływania parametrów zewnętrznych na produkt, substancji chemicznych, światła słonecznego, penetrujących opakowanie gazów takich jak tlen i para wodna (Yildirim et al. 2018, Garavand et al. 2017).

Jednymi z najważniejszych parametrów w ocenie jakości filetów rybnych nie poddawanych obróbce cieplnej jest tekstura i barwa. Na podstawie przeprowadzonych doświadczeń stwierdzono, że ΔE_{lab} filetów z dorsza zależało od materiału opakowaniowego, a najlepsze wyniki uzyskano dla ryby przechowywanej w pudełkach powlekanych powłoką aktywną bądź w pudełkach z wkładem z powłoką aktywną. Wiadomym jest, że filet rybny, który jest miękki

i niewystarczająco spoisty może stwarzać problemy podczas krojenia, może też stwarzać wątpliwości klienta co do jego świeżości. Spoistość jest bardzo ważnym parametrem, determinowanym przez siły utrzymujące produkt w całości, dlatego ważne jest by produkt był spoisty. Z drugiej strony, produkty zbyt gumiate/gumowate nie są akceptowane ponieważ stwarzają duże problemy podczas żucia (Michalczyk et al. 2009, Bahuaud et. al 2010). Przeprowadzone doświadczenia wykazały, że sprężystość i spójność (kohezja) dorsza wzrosły po 144 godzinach jego przechowywania w warunkach chłodniczych, w porównaniu do świeżo zakupionego fileta. Można przypuszczać, że to opakowania wpłynęły na zmianę tekstury produktu. Niestety wzrosła gumowatość dorsza, uważana za wyraźną wadę produktu. Najlepsze wyniki zostały zaobserwowane dla filetów, które były przechowywane w celulozowym pudełku z powlekanym wkładem z folii PE, dla tego bowiem układu odnotowano najniższy wzrost gumowatości. Należy zauważyć, że opakowania z wkładem pokrytym nanocząsteczkami tlenku cynku doprowadziły do utraty mniejszej ilości wody niż pozostałe opakowania. Analizując barwę filetów po okresie przechowywania zauważono, że dorsz przechowywany w opakowaniu z powłoką z nanocząsteczkami był najjaśniejszy, na co wskazywały wartości ΔL . Adhezyjność filetów rybnych, przechowywanych w powlekanym powłokami aktywnymi opakowaniach spadła, w przeciwieństwie do adhezyjności odnotowanej dla dorsza przechowywanego w opakowaniu bez powłoki. Należy wspomnieć także, że większy spadek adhezyjności filetów zaobserwowano dla próbek przechowywanych w pudełku z powłoką zawierającą nanocząsteczki ZnO niż w pudełkach pokrywanych powłoką z polilizyną. Analiza czystości mikrobiologicznej (H.5) dorsza dała interesujące wyniki ponieważ odnotowano, że powłoka MHPC zawierająca nano-ZnO była bardziej aktywna względem mezofilnych i psychrotrofowych bakterii niż powłoka zawierająca polilizynę, zarówno po 72, jak i po 144 godzinach przechowywania. Wiadomym jest, że liczebność bakterii wynosząca 10^7 cfu/g, jest uważana za najwyższą, akceptowaną liczbę żywych komórek mikroorganizmów, jakie mogą znajdować się w rybie, by mogła być spożywana. Oznacza to, że termin przydatności do spożycia filetów z dorsza, przechowywanych w opakowaniach bez aktywnej powłoki powinien być krótszy niż 144 godziny, ponieważ liczebność bakterii po tym czasie wynosiła 6.15×10^8 cfu / g. Natomiast odnotowana dla tego układu liczba drobnoustrojów po 72 h wynosiła 8.51×10^5 cfu / g.

Analizując uzyskane wyniki należy zauważyć, że liczba komórek bakteryjnych, wyizolowanych z filetów rybnych, które były przechowywane w opakowaniach aktywnych (w przeciwieństwie do rezultatów uzyskanych dla ryb przechowywanych w komercyjnych/kontrolnych opakowaniach celulozowych) nie przekroczyła 10^7 cfu / g. To pozwoliło na stwierdzenie, że powłoki aktywne poprawiły jakość filetów, po 144 godzinach ich przechowywania. Należy także wyraźnie podkreślić, że powłoka zawierająca nanocząsteczki ZnO była bardziej aktywna od powłoki zawierającej polilizynę. Może to być związane z wynikami uzyskanymi w poprzednich pracach (H1, H3, H4), które dowiodły, że powłoka zawierająca nanocząstki całkowicie hamowała wzrost bakterii Gram-dodatnich i Gram-ujemnych, podczas gdy powłoka z polilizyną redukowała liczbę tych mikroorganizmów o 6 log. Podobne wyniki uzyskali także inni autorzy (Singh et al. 2018), którzy z sukcesem stosowali w opakowalnictwie pudełka z wkładami z folii polipropylenowej, zawierającej w matrycy substancję aktywną $AgSiO_2$. Reasumując, chciałabym podkreślić, że otrzymane w ramach pracy (H5) pudełka celulozowe z wkładem z folii powlekaną powłoką z nano-ZnO umożliwiły przechowywanie filetów dorsza bałtyckiego co najmniej 144 godziny, w warunkach tlenowych, w temp. 5°C. Zatem mogą zostać wykorzystane do pakowania świeżej żywności.

Streszczenie

Cykl publikacji, stanowiący przedstawione do oceny osiągnięcie pod tytułem: „Opracowanie materiałów opakowaniowych pokrytych aktywnymi powłokami, odpornymi na promieniowanie UV oraz badanie wpływu uzyskanych powłok na okres przydatności do spożycia filetów z dorsza (*Gadus morhua*)”, zawiera wyniki eksperymentów opisujące możliwości wykorzystania materiałów pokrywanych powłokami aktywnymi do pakowania świeżej żywności. Powlekanie materiałów opakowaniowych może nadawać opakowaniom nowe cechy użytkowe takie jak właściwości antymikrobiologiczne – w tym przypadku wprowadzenie do powłoki nanocząstek tlenku cynku doprowadziło do zahamowania wzrostu mikroorganizmów, a w testach przechowalniczych pozwoliło utrzymać świeżość zapakowanego produktu dłużej niż opakowanie bez powłoki. Powlekanie materiałów opakowaniowych może poprawiać także ich właściwości mechaniczne lub barierowe, co także zostało potwierdzone w tych pracach.

Na przykładzie nanocząsteczek tlenku cynku wykazałam, że wprowadzenie substancji aktywnej takiej jak nanocząstki tlenku cynku, może przedłużyć trwałość nie tylko zapakowanego produktu, ale także samego opakowania, jeśli znajdzie się ono w miejscu narażonym na promieniowanie UV. Otrzymane w ramach prac opakowanie miało docelowo wydłużyć termin przydatności do spożycia zapakowanej, świeżej żywności. Jako modelowy produkt spożywczy wybrałam filety z dorsza ponieważ produkty rybne szybko ulegają zepsuciu, dlatego częściej przechowywane są w mroźni niż w warunkach chłodniczych. Zepsucie ryb powodowane jest głównie wzrostem mikroorganizmów dlatego zastosowanie opakowania aktywnego wydawało się być najlepszym rozwiązaniem do przedłużenia trwałości filetów rybnych, gdy będą one przechowywane w 5°C. Przeprowadzone doświadczenia pozwoliły stwierdzić, że filety z dorsza nie powinny być przechowywane w celulozowych pudełkach w czasie dłuższym niż 72 godziny, zaś opakowania zawierające nanocząsteczki tlenku cynku dały możliwość przechowywania ryby co najmniej 144 godziny. W kolejnym etapie doświadczeń filety z dorsza powinny być przechowywane dłużej niż 144 godziny, celem wyznaczenia dokładnego okresu jego przechowywania, w tym konkretnym opakowaniu, w warunkach chłodniczych. Przeprowadzone doświadczenia, prezentowane w wymienionych pracach dowodzą, że otrzymane pudełka celulozowe z wkładami z folii, pokrywanej powłoką aktywną mogą zostać wykorzystane do pakowania innych produktów spożywczych.

Literatura

1. Akbar A., Anal A.K. 2014, Zinc oxide nanoparticles loaded active packaging, a challenge study against *Salmonella typhimurium* and *Staphylococcus aureus* in ready-to-eat poultry meat. Food Control, 38, 88–95.
2. Ampola V.G., Keller C.L. 1985, Shelf Life Extension of Drawn Whole Atlantic Cod, *Gadus morhua*, and Cod Fillets by Treatment With Potassium Sorbate, Mar. Fish. Rev., 47 (3), 26–29.
3. Azizi S., Ahmad M.B., Hussein M.Z., Ibrahim N.A. 2013, Synthesis, Antibacterial and Thermal Studies of Cellulose Nanocrystal Stabilized ZnO-Ag Heterostructure Nanoparticles. Molecules, 18, 6269–6280.
4. Bahuaud D., Gaarder M., Veiseth-Kent E., Thomassen, M. 2010, Fillet texture and protease activities in different families of farmed Atlantic salmon (*Salmo salar L.*), Aquaculture, 310, 213–220.
5. Bartkowiak A., Lisiecki S., Mizieleńska M., Chodzyńska I., Jotko M. Kompozycja do wytwarzania ekologicznych i biodegradowalnych kształtek opakowań lub naczyń jednorazowego użytku oraz sposób wytwarzania tych opakowań lub naczyń. 2015, Polish patent: PL230439 B1.
6. Bartkowiak A., Mizieleńska M., Sumińska P., Romanowska-Osuch A., Lisiecki S. Innovations in food packaging materials. In Emerging and Traditional Technologies for Safe,

- Healthy and Quality Food; Nedovic, V., Raspor, P., Lević, J., Tumbas, V., Barbosa-Canovas, G.V., Eds.; Springer: Berlin, Germany, 2016.
7. Bisi-Johnson M.A., Obi C.L., Hattori T., Oshima Y. Li. S., Kambizi L., Eloff J.N., Vasaikar S.D. 2011, Evaluation of the antibacterial and anticancer activities of some South African medicinal plants. *Complement. Altern. Med.*, 11–14.
 8. Brodnjak U.V. 2017, Influence of ultrasonic treatment on properties of bio-based coated paper, *Prog. Org. Coat.*, 103, 93-100.
 9. Cardoso C.M.L., Mendes R., Nunes M.L. 2009, Instrumental Texture and Sensory Characteristics of Cod Frankfurter Sausages. *Int. J. Food Prop.*, 12, 625-643.
 10. Castro-Mayorgaa J.L., Fabraa M.J., Pourrahimib A.M., Olssonb, R.T., Lagarona, J.M. 2017, The impact of zinc oxide particle morphology as an antimicrobial and when incorporated in poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) films for food packaging and food contact surfaces applications. *Food Bioprod. Process.*, 101, 32–44.
 11. Cheng, J.H., Sun D.W., Han Z., Zeng X.A. 2014, Texture and Structure Measurements and Analyses for Evaluation of Fish and Fillet Freshness Quality: A Review. *Compr. Rev. Food Sci. F.*, 13, 52-61.
 12. Chu Z., Zhao T., Li L., Fan J., Qin, Y. 2017, Characterization of Antimicrobial Poly (Lactic Acid)/Nano-Composite Films with Silver and Zinc Oxide Nanoparticles, *Materials*, 10 (6), 659.
 13. Dizaj S.M., Lotfipour F., Barzegar-Jalali M., Zarrintan M.H., Adibkia K. 2014, Antimicrobial activity of the metals and metal oxide nanoparticles. *Mat. Sci. Eng.*, 44, 278–284.
 14. El-Feky O.M., Hassan E.A., Fadel S.M., Hassan M.L. 2014, Use of ZnO nanoparticles for protecting oil paintings on paper support against dirt, fungal attack, and UV aging. *J. Cult. Herit.*, 15, 165–172.
 15. Emamifar A., Kadivar M., Shahedi M., Soleimanzad S. 2010, Evaluation of nanocomposite packaging containing Ag and ZnO on shelf life of fresh orange juice. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 11, 742–748.
 16. Garavand F., Rouhi M., Razavi S.H., Cacciotti I. 2017, Improving the integrity of natural biopolymer films used in food packaging by crosslinking approach: A review, *Int. J. Biol. Macromol.*, 104, 687-707.
 17. Han J., Salmeri S., Le Tien C., Lacroix M. 2010, Improvement of Water Barrier Property of Paperboard by Coating Application with Biodegradable Polymers, *J. Agric. Food Chem.*, 58, 3125–3131.
 18. Jafarzadeh S., Alias A.K., Ariffin F., Mahmud S., Najafi A., Ahmad M. 2017, Fabrication and characterization of novel semolina-based antimicrobial films derived from the combination of ZnO nanorods and nanokaolin. *J. Food Sci. Technol.*, 54, 105–113.
 19. Kairyte K., Kadys A., Luksiene Z. 2013, Antibacterial and antifungal activity of photoactivated ZnO nanoparticles in suspension. *J. Photochem. Photobiol. Biol.*, 128, 78–84.
 20. Kuuliala L., Hage Y.A.I., Ioannidis A.-G., Sader M., Kerckhof F.-M., Vanderroost M., Boon N., De Baets B., De Meulenaer B., Ragaert P., Devlieghere F. 2018, Microbiological, chemical and sensory spoilage analysis of raw Atlantic cod (*Gadus morhua*) stored under modified atmospheres, *Food. Microbiol.*, 70, 232-244.
 21. Kwiatkowski P., Giedrys–Kalemba S., Mizieleńska M., Artur Bartkowiak A. 2015, Antibacterial activity of rosemary caraway and fennel essential oils, *Herba Pol.*, 61 (4), 31-39.
 22. Kwiatkowski P., Giedrys–Kalemba S., Mizieleńska M., Artur Bartkowiak A. 2016, Modification of PLA foil surface by ethylcellulose and essential oils, *J. Microbiol. Biotechnol. and Food Sci.*, 5 (5), 440-444.
 23. Li W., Li L., Zhang H., Yuan M., Qin Y. 2018, Evaluation of PLA nanocomposite films on physicochemical and microbiological properties of refrigerated cottage cheese. *J. Food Process. Preserv.* 42, 13362
 24. Li W., Zhang C., Chi H., Li L., Lan T., Han P., Chen H., Qin Y. 2017, Development of Antimicrobial Packaging Film Made from Poly(Lactic Acid) Incorporating Titanium Dioxide and Silver Nanoparticles. *Molecules*, 22, 1170.
 25. Li X., Li W., Jiang Y., Ding Y., Yun J., Yao T., Zhang P. 2011, Effect of nano-ZnO-coated active packaging on quality of fresh-cut ‘Fuji’ apple. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 46, 1947–1955. (20) *Nanomat*
 26. Marra A., Rollo G., Cimmino S., Silvestre C. 2017, Assessment on the Effects of ZnO and Coated ZnO Particles on iPP and PLA Properties for Application in Food Packaging.

- Coatings, 7 (2), 29.
27. Marvizadeh M.M., Oladzadabbasabadi N., Nafchi A.M., Jokar M. 2017, Preparation and characterization of bionanocomposite film based on tapioca starch/bovine gelatin/nanorod zinc oxide. *Int. J. Biol. Macromol.*, 99, 1–7.
 28. Michalczyk M., Surówka K. 2009, Microstructure and instrumentally measured textural changes of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) gravads during production and storage, *J. Sci. Food Agric.*, 89, 1942–1949.
 29. Mireles DeWitt C.A., Oliveira A.C.M. 2016, Modified Atmosphere Systems and Shelf Life Extension of Fish and Fishery Products, *Foods*, 5, 48.
 30. Mizielińska M., Kowalska U., Jarosz M., Sumińska P. 2018 a, A comparison of the effects of packaging containing nano ZnO or polylysine on the microbial purity and texture of cod (*Gadus morhua*) fillets, *Nanomaterials*, 8, 158.
 31. Mizielińska M., Kowalska U., Jarosz M., Sobecka K., Sumińska P. 2018 b. Coated packaging paper. Part I. The mechanical and antimicrobial properties. *Przem. Chem.*, 97 (4), 648-652.
 32. Mizielińska M., Kowalska U., Pankowski J., Bieńkiewicz G., Malka M., Lisiecki S. 2017 a, Coating the polyethylene films to generate the antibacterial properties, *Przem. Chem.*, 96 (6), 1317-1321.
 33. Mizielińska M., Lisiecki S. 2015 a, Coating of polylactide films to generate their antimicrobial properties. *Przem. Chem.*, 94 (5), 752-755.
 34. Mizielińska M., Lisiecki S., Jędra F., Kowalska U., Tomczak A. 2015 b, The barrier and the antimicrobial properties of polylactide films covered with exopolysaccharide layers synthesized by *Arthrobacter viscosus*. *Przem. Chem.*, 94 (5), 748-751.
 35. Mizielińska M., Lisiecki S., Jotko M., Chodzyńska I., Bartkowiak A. 2015 c, The antimicrobial properties of polylactide films covered with ZnO nanoparticles-containing layers. *Przem. Chem.*, 94, 1000–1003.
 36. Mizielińska M., Kowalska U., Salachna P., Łopusiewicz Ł., Jarosz M. 2018 c. The Influence of Accelerated UV-A and Q-SUN Irradiation on the Antibacterial Properties of Hydrophobic Coatings Containing *Eucomis comosa* Extract, *Polymers*, 10, 421.
 37. Mizielińska M., Łopusiewicz Ł., Mężyńska M., Bartkowiak A. 2017 b, The influence of accelerated UV-A and Q-SUN irradiation on the antimicrobial properties of coatings containing ZnO nanoparticles, *Molecules*, 22 (9), 1556-1566.
 38. Mizielińska M., Ordon M., Pankowski J., Bieńkiewicz G., Malka M., Lisiecki S., Bartkowiak A. 2017 c, Estimation of the antimicrobial properties of the coatings from industrial trials, *Przem. Chem.*, 96 (6), 1322-24.
 39. Mizielińska M., Salachna P., Ordon M., Łopusiewicz Ł. 2017 d, Antimicrobial activity of water and acetone extracts of some *Eucomis taxa*, *Asian. Pac. J. Trop. Med.*, 10 (9), 892-895.
 40. Motsei M.L., Lindsey K.L., van Staden J., Jäger A.K. 2003, Screening of traditionally used South African plants for antifungal activity against *Candida albicans*. *J Ethnopharmacol.*, 86, 235–241.
 41. Musil J. 2017, Flexible antibacterial coatings, *Molecules*, 22, 813-823.
 42. Nguyena T.V., Dao P.H., Khanh Linh Duong K.L., Duong Q.H., Vu Q.T., Nguyena A.H., Mac V.P., Lea, T.L. 2017, Effect of R-TiO₂ and ZnO nanoparticles on the UV-shielding efficiency of water-borne acrylic coating. *Prog. Org. Coat.*, 110, 114–121.
 43. Noshirvani N., Ghanbarzadeh B., Mokarram R.R., Hashemi M. 2017, Novel active packaging based on carboxymethyl cellulose-chitosan-ZnO NPs nanocomposite for increasing the shelf life of bread. *Food Packag. Shelf Life*, 11, 106–114.
 44. Oprea A.E., Pandel L.M., Dumitrescu A.M., Andronescu E., Grumezescu V., Chifiriuc M.C., Mogoantă L., Bălșeanu T.-A., Mogoșanu G.D., Socol G. 2016, Bioactive ZnO Coatings Deposited by MAPLE—An Appropriate Strategy to Produce Efficient Anti-Biofilm Surfaces. *Molecules*, 21, 220–231.
 45. Rahman P.M., Mujeeb V.M.A., Muraleedharan K. 2017, Flexible chitosan-nano ZnO antimicrobial pouches as a new material for extending the shelf life of raw meat. *Int. J. Biol. Macromol.*, 97, 382–391.
 46. Salachna P., Grzeszczuk M., Wilas J. 2015, Total phenolic content, phenolic content, photosynthetic pigment concentration and antioxidant activity of leaves and bulbs of selected *Eucomis L'Hér. taxa*. *Fresen. Environ. Bull.*, 24 (11c), 4220–4225.
 47. Salachna P., Mizielińska M., Soból M. 2018, Exopolysaccharide Gellan Gum and Derived Oligo-Gellan Enhance Growth and Antimicrobial Activity in *Eucomis* Plants, *Polymers*, 10, 242.
 48. Sánchez Aldana D., Duarte Villa E., De Dios Hernández M., Guillermo González Sánchez

- G., Rascón Cruz Q., Flores Gallardo S., Hilda Piñon Castillo H., Ballinas Casarrubias L. 2014, Barrier Properties of Polylactic Acid in Cellulose Based Packages Using Montmorillonite as Filler, *Polymers*, 6, 2386-2403.
49. Silvestre C., Duraccio D., Marra A., Strongone V., Cimmino S. 2016, Development of antimicrobial composite films based on isotactic polypropylene and coated ZnO particles for active food packaging, *Coatings*, 6 (1), 4.
50. Singh S., Lee M., Gaikwad K.K., Lee Y.S. 2018, Antibacterial and amine scavenging properties of silver-silica composite for post-harvest storage of fresh fish, *Food Bioprod. Process.*, 107, 61-69.
51. Siracusa V., Rosa M.D., Iordanskii A.L. 2017, Performance of Poly(lactic acid) Surface Modified Films for Food Packaging Application, *Materials*, 10, 850-872.
52. Sivertsvik M. 2007, The optimized modified atmosphere for packaging of pre-rigor filleted farmed cod (*Gadus morhua*) is 63ml/100 ml oxygen and 37ml/100 ml carbon dioxide, *LWT*, 40, 430–438.
53. Taylor J.L.S., Van Staden J. 2011, The effect of age, season and growth conditions on anti-inflammatory activity in *Eucomis autumnalis* (Mill) Chitt. plant extracts. *Plant. Growth. Reg.*, 34, 39–47.
54. Torres-Moreno M., Torrescasana E., Salas-Salvadó J., Blanch C. 2015, Nutritional composition and fatty acids profile in cocoa beans and chocolates with different geographical origin and processing conditions, *Food Chem.*, 166, 125–132.
55. Ünalán I.U., Uçar K.D.A.U., Arcan I., Korel F., Yemenicioğlu A. 2011, Antimicrobial Potential of Polylysine in Edible Films, *Food Sci. Technol. Res.*, 17 (4), 375 – 380.
56. Wang T., Sveinsdóttir K., Magnússon H., Martinsdóttir 2008, Combined Application of Modified Atmosphere Packaging and Superchilled Storage to Extend the Shelf Life of Fresh Cod (*Gadus morhua*) Loins, *J. Food Sci.*, 73 (1), 11-19.
57. Wang Y., Ma J., Xu Q., Zhang, J. 2017, Fabrication of antibacterial casein-based ZnO nanocomposite for flexible coatings. *Mat. Design.*, 113, 240–245.
58. Yildirim S., Röcker B., Pettersen M.K., Nilsen-Nygaard J., Ayhan Z., Rutkaite R., Radusin T., Suminska P., Marcos B., Coma V. 2018, Active Packaging Applications for Food, *Compr. Rev. Food Sci. F.*, 17, 165-199.
59. Zhang H., Hortal M., Jordá-Beneyto M., Rosa E., Lledo M.L., Lorente I. 2017, ZnO-PLA nanocomposite coated paper for antimicrobial packaging application. *Food Sci. Technol.*, 78, 250–257.
60. Zinoviadou K.G., Koutsoumanis K.P., Biliaderis C.G. 2010, Physical and thermo-mechanical properties of whey protein isolate films containing antimicrobials, and their effect against spoilage flora of fresh beef. *Food. Hydrocolloid.*, 24, 49-59.

Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

Chemia i mikrobiologia to dziedziny, które interesowały mnie od dawna. Ukończyłam Politechnikę Szczecińską, kierunek Technologia i Inżynieria Chemiczna, specjalność Chemia polimerów. Tematem mojej pracy magisterskiej było: „Badanie kinetyki inhibitowanej polimeryzacji metakrylanu metylu wobec makroazoinicjatora w dimetyloformamidzie”. Podczas studiów interesowałam się nie tylko polimerami syntetycznymi, ale także Chemią biopolimerów. Studia ukończyłam w 2000 r. Następnie rozpoczęłam studia doktoranckie na Wydziale Biotechnologii i Hodowli Zwierząt, na Akademii Rolniczej w Szczecinie, ze względu na wykładowcę Prof. dr hab. Antoniego J. Furowicza, wybitnego uczonego w dziedzinie Mikrobiologii i Immunologii. Tematem mojej pracy doktorskiej było

„Badanie wybranych cech biologicznych szczepów *Yersinia pseudotuberculosis* oraz *Escherichia coli* ze specjalnym uwzględnieniem genetycznej determinacji ich właściwości sacharolitycznych”. Analizując szlaki biochemiczne rozkładu laktozy, sacharozy i maltozy szczepów *Y. pseudotuberculosis*, *E. coli* oraz *Y. enterocolitica*, starałam się odpowiedzieć Prof. Furowiczowi na postawione mi pytanie: dlaczego komórki *Y. pseudotuberculosis* nie rozkładają laktozy pomimo, że syntetyzują β -galaktozydazę? Po obronie pracy doktorskiej część wyników została opublikowana (A.I.3.). Równolegle z badaniami prowadzonymi w ramach pracy doktorskiej, w Katedrze Immunologii i Mikrobiologii, wykrywałam i analizowałam geny wirulencji pałeczek *Salmonella* spp. z wykorzystaniem techniki PCR. Doświadczenia te prowadziłam w zespole kierowanym przez wybitnego specjalistę w dziedzinie biologii molekularnej p. dr hab. Pawła Nawrotka. Niejednokrotnie uczestniczyłam także w pracach prowadzonych przez panią dr hab. Danutę Czernomysy-Furowicz Prof. ZUT, która przez wiele lat współpracowała z weterynarzami i hodowcami, ratując zdrowie i życie zwierząt. W trakcie studiów doktoranckich prowadziłam zajęcia dydaktyczne dla 2 kierunków studiów: Biotechnologia i Zootechnika. Realizowałam zajęcia audytoryjne oraz laboratoryjne z przedmiotów: Mikrobiologia, Mikrobiologia środowiska naturalnego, Enzymologia, Inżynieria enzymowa oraz Wirusologia.

Po zakończeniu studiów doktoranckich chciałam połączyć wiedzę z zakresu Chemii z wiedzą z zakresu Mikrobiologii. Umożliwił mi to Prof. dr hab. inż. Artur Bartkowiak, zatrudniając mnie w Zakładzie Opakowalnictwa i Biopolimerów, obecnie Centrum Bioimmobilizacji i Innowacyjnych Materiałów Opakowaniowych (CBIMO).

Odkąd zostałam zatrudniona w CBIMO, skupiłam swoje zainteresowania badawcze na opakowaniach aktywnych, ze szczególnym uwzględnieniem materiałów pokrywanych powłokami aktywnymi o właściwościach przeciwdrobnoustrojowych. Celem takich powłok jest ochrona trwałości i świeżości zapakowanych produktów spożywczych z jednoczesnym zachowaniem wysokiej jakości żywności. Prowadziłam prace badawcze związane z moimi zainteresowaniami dzięki zaangażowaniu w projekty: FLEXPARENEW FP7-NMP-2007; PBS3/B5/46/2015; MNT-ERA.NET; projekty w ramach programu CORNET – o akronimach SmartFlowerPack i ActiPoly.

Interesującą część moich badań stanowiły doświadczenia prowadzone w ramach projektu MNT-ERA.NET o akronimie Bio2Mat. Dzięki temu projektowi przygotowałam jeden z artykułów stanowiących osiągnięcie naukowe (H.3), a także współpracowałam z zespołem naukowców z Uniwersytetu w Karlstad'zie nad badaniem właściwości antymikrobiologicznych materiałów polimerowych, na które nanoszone były nanocząsteczki ZnO o różnym kształcie i wielkości. W ramach tego projektu, uczestniczyłam także w doświadczeniach dotyczących opracowania biodegradowalnych, spienionych materiałów opakowaniowych. Doświadczenia zakończyły się uzyskaniem patentu (P.3.).

Szczególnie interesującymi badaniami, w których uczestniczyłam były eksperymenty prowadzone w ramach międzynarodowego projektu SmartFlowerPack (CORNET). Celem projektu było opracowanie i wdrożenie aktywnych opakowań celulozowych do pakowania ciętych kwiatów ozdobnych. W ramach tego projektu współpracowałam z zespołem z KCPK – Kenniscentrum Papier en Karton z Holandii oraz specjalistą z dziedziny ogrodnictwa dr hab. inż. Piotrem Salachną z Katedry Ogrodnictwa, na Wydziale Kształtowania Środowiska i Rolnictwa, ZUT w Szczecinie. Na szczególną uwagę zasługuje część doświadczeń dotycząca przedłużenia świeżości ciętych gerber, przechowywanych i transportowanych bez wody w opakowaniach kartonowych, pokrytych powłokami zawierającymi nanosrebro. Należy podkreślić, że opakowania zostały dostarczone przez jednego z partnerów przemysłowych znajdujących się w Komitecie użytkowników projektu. Uzyskane wyniki zostały zaprezentowane na międzynarodowej konferencji (K.II.3.). W ramach tego projektu badaliśmy także wpływ nanocząstek srebra na jakość przechowywanych kwiatów ciętych tj.: lilii i róż. Ponadto po raz pierwszy przeprowadziliśmy badania nad wykorzystaniem foliowych opakowań pokrytych powłoką z ekstraktem z *E. comosa* na trwałość ciętych tulipanów.

Ważnym projektem, w którego realizacji uczestniczyłam był projekt CORNET ActiPoly, którego celem było opracowanie wielowarstwowych opakowań, pokrywanych powłokami hydrofobowymi oraz aktywnymi względem Gram-dodatnich oraz Gram-ujemnych szczepów bakteryjnych. Odrębną częścią badań w ramach tego projektu było wykorzystanie aktywnej, biodegradowalnej folii, zawierającej nanocząsteczki tlenku cynku w matrycy polimeru. Doświadczenia prowadzone były we współpracy z partnerami z Materiana (Belgia) i zakończyły się publikacją wyników (A.II.7., A.II.8.).

Bardzo istotny w zdobywaniu doświadczenia zawodowego był projekt PBS3/B5/46/2015 (2015 – 2017), którego celem było opracowanie aktywnych opakowań/folii polimerowych o właściwościach anty-UV oraz antymikrobiologicznych. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że wszystkie doświadczenia realizowane były w ścisłej współpracy z partnerem przemysłowym tj. z firmą Drukpol.Flexo. Sp.z o.o. S.K.A. W pierwszym etapie doświadczeń, razem z zespołem poszukiwaliśmy substancji aktywnych, względem wybranych mikroorganizmów i zarazem posiadających właściwości anty-UV. Wprowadzaliśmy najbardziej aktywne substancje do nośników powłokotwórczych, a następnie analizowaliśmy właściwości antymikrobiologiczne uzyskanych powłok. W kolejnym etapie doświadczeń wybrane substancje zostały wykorzystane przez partnera w próbach przemysłowych (przeskalowanie technologii). Otrzymane od partnera powlekanie folie zostały poddane analizom. Mogliśmy porównać czy pod względem właściwości antymikrobiologicznych folie wykazują taką samą aktywność, jak folie otrzymane w warunkach laboratoryjnych. Wyniki uzyskanych doświadczeń zostały opublikowane (A.II.3. - A.II.5.).

Kolejnym projektem, w którym aktualnie jestem zatrudniona jest projekt CORNET – HumidWRAP pt.: „Aktywne opakowanie regulujące wilgotność i zawartość wody“ (od 2018 – projekt zakończy się w 2020 r.). Przez okres trwania projektu wraz z zespołem współpracuję z partnerami z: Celabor (Belgia), Certech (Belgia), IVV Fraunhofer, LBF Fraunhofer oraz PTS-IZP (Niemcy).

Interesującą częścią moich badań była współpraca z partnerami przemysłowymi, realizacja badań dla tych partnerów, polegająca na analizie dostarczanych przez firmy materiałów lub poszukiwaniu całkiem nowych rozwiązań.

Od 2015 r. do 2016 r. wykonywałam doświadczenia, w dwuosobowym zespole, na zlecenie firmy „nr 1*”. Uzyskałam od firmy materiał opakowaniowy oraz nośnik powłokotwórczy. Do wybranego układu dobrałam „substancję aktywną”. Pokrywałam tym nośnikiem przekazany materiał opakowaniowy, a następnie badałam aktywność antymikrobiologiczną otrzymanych powłok. Po zakończeniu każdego etapu doświadczeń wysyłałam do firmy raporty.

Wykonywałam doświadczenia na zlecenie firmy „nr 2*” od 2016 r. Uzyskałam od firmy nośnik powłokotwórczy zawierający „substancję aktywną na bazie wybranych nanocząsteczek”. Pokrywałam tym nośnikiem folie powszechnie wykorzystywane w przemyśle do pakowania żywności, a następnie badałam

aktywność antymikrobiologiczną pokrytych materiałów. Po zakończonych doświadczeniach wysyłałam do firmy raporty. Przeprowadziłam dla firmy również szereg badań, mających na celu otrzymanie „nowych substancji” o właściwości antymikrobiologicznych, które jeszcze nie są i nigdy nie były wykorzystywane w opakowalnictwie, jako substancje aktywne. Doświadczenia zostały zakończone. Ze względu na ich pozytywne wyniki, w najbliższym czasie zostanie przygotowany wniosek projektowy, dotyczący problematyki badawczej podjętej we współpracy z firmą.

Kolejną firmą, z którą współpracę podjęłam była firma „nr 3*” (2018). Na zlecenie właściciela firmy poszukiwałam substancji aktywnej, która wprowadzona do wybranego przez firmę nośnika powłokotwórczego pozwoliłaby uzyskać powłokę transparentną, aktywną względem mikroorganizmów. Bardzo ważne było aby substancja aktywna była dopuszczona do kontaktu z żywnością. Po uzyskaniu nośnika od firmy przeprowadziłam cykl doświadczeń, który doprowadził do uzyskania powłoki aktywnej, na folii uzyskanej od firmy. Folie wykazywały aktywność względem zarówno bakterii Gram-dodatnich, jak i Gram-ujemnych. Uzyskane wyniki doprowadziły do napisania projektu.

W 2018 r. współpracowałam także z firmą „nr 4*”. Analizowałam materiały opakowaniowe otrzymane od firmy. Analizowałam aktywność tych materiałów względem bakterii Gram-dodatnich oraz Gram-ujemnych. Po zakończonych doświadczeniach wysyłałam firmie raporty, zawierające wyniki i ich omówienie.

W 2018 r. współpracowałam także z firmą „nr 5*”. Na zlecenie firmy poszukiwałam substancji aktywnej/mieszaniny substancji aktywnych, która hamowałaby lub ograniczała wzrost mikroorganizmów. W pierwszym etapie doświadczeń wybrałam nośnik powłokotwórczy na wybrany przez firmę celulozowy materiał opakowaniowy, w kolejnym dobrałam substancję aktywną/mieszaninę substancji aktywnych. Szereg doświadczeń doprowadził do uzyskania powłoki aktywnej, która wykazywała właściwości antymikrobiologiczne. Przygotowałam raport dla firmy, który posłużył do przygotowania wniosku projektowego.

**ze względu na umowę o poufności podpisaną z firmami, nie wymieniono nazw firm.*

Odrębnym wątkiem mojej pracy badawczej były zagadnienia dotyczące immobilizacji komórek bakteryjnych. Kiedy zostałam zatrudniona w Zakładzie Opakowalnictwa i Biopolimerów (od 2010 CBIMO), powierzono mi zadanie

stworzenia laboratorium mikrobiologicznego od podstaw. Pierwszym wnioskiem projektowym, który przygotowałam, a zarazem projektem, który otrzymał dofinansowanie był projekt MNiSW Nr N N305151733 pt: „Opracowanie proekologicznej metody powierzchniowego oczyszczania wody ze związków ropopochodnych za pomocą immobilizowanych, środowiskowych szczepów bakteryjnych”, realizowany od 2007 r. do 2010 r. Byłam odpowiedzialna za sformułowanie problemu badawczego, przeprowadzenie doświadczeń, interpretację uzyskanych wyników oraz przygotowanie raportów okresowych, raportu końcowego oraz publikacji. Celem projektu było opracowanie hydrofilowej kapsułki, która zawierałaby środowiskowe szczepy bakteryjne, zdolne do rozkładu związków ropopochodnych. Po rozłożeniu związków ropopochodnych kapsułka miałaby ulegać biodegradacji. Aby umożliwić wchłanianie związków ropopochodnych przez kapsułkę, do biopolimeru, z którego ją otrzymywano wprowadzano substancje posiadające zdolność fizycznego wiązania związków ropopochodnych. Alternatywą było też otrzymywanie kapsułek z rdzeniem umożliwiającym wchłanianie węglowodorów z większą wydajnością. Wyniki uzyskane w ramach projektu zostały opublikowane (D.III.5., D.III.29.).

Doświadczenie zdobyte podczas realizacji projektu MNiSW Nr N N305151733 ułatwiło mi współpracę z firmą Instytut Biotechnologii Surowic i Szczepionek BIOMED Spółka Akcyjna. Z prowadzonych przez Firmę IBSS Biomed SA obserwacji rynkowych wynikało, że większość produktów zawierających bakterie probiotyczne wymagała przechowywania w warunkach chłodniczych. Na rynku można było w tamtym czasie znaleźć produkty przechowywane w temperaturze pokojowej, jednak wielokrotnie dowiedziono, że liczebność drobnoustrojów znajdujących się w takich preparatach była dużo niższa, niż liczba żywych komórek bakterii, deklarowana przez producentów. Celem podjętych na zlecenie firmy doświadczeń (od 2009 r.) było opracowanie możliwej do wdrożenia technologii mikrokapsułkowania, liofilizowanych szczepów bakteryjnych, które zachowywałyby wysoką liczebność po dwuletnim ich przechowywaniu w warunkach pokojowych. Cel miał zostać osiągnięty poprzez utworzenie skutecznej bariery, w postaci mikrokapsułki chroniącej znajdujące się wewnątrz wrażliwe, liofilizowane bakterie.

W wyniku realizacji doświadczeń produkty zawierające bakterie probiotyczne mogłyby być przechowywane w zdecydowanie bardziej korzystnych dla konsumenta

warunkach. Zamiast w warunkach chłodniczych przechowywane byłyby w temp. pokojowej. Byłaby to kluczowa zmiana dla całego ciągu dystrybucji produktów – począwszy od magazynu zbytu producenta, poprzez hurtownie, aż do aptek. Ponadto probiotyk stabilny w temp. pokojowej stwarzałby możliwości opracowania nowych postaci produktów, szczególnie przeznaczonych do spożycia przez dzieci; stwarzałby możliwość wprowadzenia na rynek produktów, zawierających nowe szczepy. W ramach współpracy, zaproponowana została firmie nowatorska metoda otrzymywania powlekanych, lipidowych mikrokapsulek, chroniących mikroorganizmy przed dostępem wody, pary wodnej i tlenu. Metoda zasługiwała na szczególną uwagę ze względu na jej skuteczność oraz innowacyjność. Wyniki doświadczeń uzyskanych w okresie współpracy z firmą, były na tyle satysfakcjonujące, że wraz z pracownikiem firmy przygotowałam wniosek projektowy. Projekt PBS nr 178807 pt.: „Innowacyjne metody mikroenkapsulacji szczepów bakteryjnych w produkcji preparatów probiotycznych linii pediatrycznych i ginekologicznych” był realizowany w latach 2012-2016 (w tym, w latach 2012-2015 z firmą IBSS Biomed SA, natomiast w ostatnim okresie 2015-2016 z „grupą Maspex”). Podczas realizacji projektu byłam odpowiedzialna za utworzenie zespołu badawczego, stworzenie koncepcji badawczej, współrealizację doświadczeń, interpretację otrzymanych wyników. Muszę podkreślić, że w pierwszym etapie doświadczeń, realizowanym z firmą IBSS Biomed SA, wraz z zespołem optymalizowaliśmy metodę kapsułkowania liofilizowanych bakterii probiotycznych. W kolejnym etapie wykonaliśmy doświadczenia dla „grupy MASPEX”. Bakterie probiotyczne były immobilizowane z wykorzystaniem procesu suszenia rozpyłowego. Wyniki uzyskane w tym etapie zostały wykorzystane do przygotowania publikacji oraz zgłoszenia patentowego (D.III.22., D.III.30., D.III.32., D.III.35.). Przeprowadzone eksperymenty i zdobyte w tym czasie doświadczenie, pozwoliło mi nawiązać kontakt z kolejną dużą firmą „nr 6*”. Przygotowałam wraz z firmą projekt, który otrzymał finansowanie. Począwszy od 01 lutego 2019 r. (termin podpisania umowy) prowadzone są doświadczenia związane z kapsułkowaniem bakterii probiotycznych. Będę odpowiedzialna za opracowanie technologii do produkcji kapsulek.

Inną problematyką moich zainteresowań badawczych był projekt POIG.01.01.02-00-074/09: pt.: „Biotechnologiczna konwersja glicerolu do polioli i kwasów dikarboksylowych” (2010-2014), w którym wykorzystywano odpadową

glicerynę do produkcji 1,3-propanodiolu przez wyizolowane przez partnerów szczepy bakteryjne. Zespół, z którym pracowałam odpowiedzialny był głównie za immobilizację drobnoustrojów na mineralnym nośniku stałym, piance poliuretanowej oraz w kapsułkach hydrożelowych. Immobilizowane mikroorganizmy wykorzystywaliśmy w hodowlach stacjonarnych i ciągłych, analizowaliśmy wydajność produkcji 1,3-propanodiolu oraz zużycia gliceryny przez komórki *Citrobacter freundii*. Wyniki doświadczeń, przeprowadzonych w ramach projektu zostały opublikowane (D.III.15., D.III.25., D.III.28., D.III.29., D.III.36.).

Kolejnym, odrębnym tematem w obrębie moich zainteresowań badawczych było prowadzenie procesów biokonwersji odpadów przemysłowych celem otrzymania biopolimerów. W tym celu wykorzystywałam hodowle pojedynczych szczepów oraz konsorcjum bakteryjne. Badania te prowadziłam w dwuosobowym zespole, w ramach dwóch projektów (6 i 9 miesięcznego), realizowanych na zamówienie firmy „nr 7*” (w latach 2016 i 2017). W pierwszym etapie prowadziłam procesy biokonwersji w dwulitrowym bioreaktorze. Istotna była optymalizacja procesu, aby wydajność konwersji była jak najwyższa. W kolejnym etapie prowadzona była próba zwiększenia skali biokonwersji z dwóch do 30 litrów. Raporty ze wszystkich etapów doświadczeń zostały wysłane do zamawiającego.

Podsumowując moją pracę badawczą chciałabym podkreślić, że realizowałam doświadczenia w zakresie:

- otrzymywania opakowań aktywnych do żywności,
- mikrokapsułkowania bakterii probiotycznych,
- mikrokapsułkowania bakterii do powierzchniowego oczyszczania wody ze związków ropopochodnych,
- procesów biokonwersji odpadów przemysłowych do substancji użytkowych z wykorzystaniem wolnych oraz immobilizowanych szczepów bakteryjnych.

Brałam udział w badaniach zespołowych, w ramach polskich oraz międzynarodowych projektów. Byłam członkiem międzynarodowych zespołów badawczych. Istotne było dla mnie aby moje prace miały charakter aplikacyjny, co umożliwiło mi wieloletnią i/lub wielomiesięczną współpracę z partnerami przemysłowymi, a także pracę w ramach prac badawczych, na zlecenie partnerów

przemysłowych. Wiązało się to z koniecznością podpisania klauzuli o poufności. Zatem część z uzyskanych wyników nie była przeznaczona do upublicznienia w tym do publikacji.

Byłam poproszona o przeprowadzenie recenzji 9 publikacji dla zagranicznych czasopism naukowych indeksowanych w JCR, w tym dla następujących czasopism: *Molecules*, *Polymers*, *Sustainability*, *Energies*, *Foods* oraz *Journal of Antibiotic Research*.

W okresie od uzyskania stopnia doktora, byłam promotorem 2 prac inżynierskich oraz 22 prac magisterskich. Jedną z prac magisterskich tj. praca pani mgr inż. Anny Tomczak pt. „Poprawa barierowości oraz właściwości antimikrobiologicznych folii PLA egzopolisacharydem syntetyzowanym przez *Arthrobacter viscosus*”, została wyróżniona w IV edycji konkursu na najlepszą pracę dyplomową, organizowanego przez Regionalne Centrum Innowacji i Transferu Technologii ZUT w Szczecinie, przy wsparciu Polskiej Fundacji Przedsiębiorczości. Aktualnie jestem promotorem jednej pracy magisterskiej. Prowadziłam wykłady i ćwiczenia laboratoryjne dla kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka z przedmiotów: Chemia nieorganiczna, Chemia organiczna. Prowadziłam i prowadzę zajęcia audytoryjne z przedmiotów Biotechnologia w produkcji biopolimerów oraz Podstawy projektowania linii biotechnologicznych, w tym grafika inżynierska dla kierunku Biotechnologia. Prowadziłam i prowadzę zajęcia laboratoryjne z przedmiotów Biochemia, Chemia żywności, Enzymologia, Opakowania biodegradowalne i bioaktywne, Podstawy kompostowania w przemyśle i Bioimmobilizacja dla kierunków: Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka, Zarządzanie Bezpieczeństwem i Jakością Żywności, Towaroznawstwo, Mikrobiologia stosowana i Rybactwo. Przygotowywałam sylabusy do wszystkich prowadzonych przeze mnie przedmiotów. Opracowywałam ćwiczenia, w tym przygotowywałam instrukcje lub prezentacje do przedmiotów: Biochemia, Bioimmobilizacja, Podstawy projektowania linii biotechnologicznych oraz Biotechnologia w produkcji biopolimerów. Od 2013r. regularnie byłam członkiem komisji egzaminacyjnej (II nauczycielem akademickim) oraz przewodniczącym komisji egzaminacyjnej podczas egzaminów inżynierskich dla kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka oraz Mikrobiologia stosowana. W latach 2013-2017, byłam opiekunem roku dla kierunku Technologia Żywności i Żywnienie

Człowieka, dla studiów niestacjonarnych. Jestem także członkiem rady programowej kierunku Biotechnologia, prowadzonym przy WBiHZ na kadencję 2016-2020.

Mój całkowity dorobek publikacyjny wraz z artykułami dokumentującymi osiągnięcie naukowe obejmuje **92** prace, w których jestem autorem lub współautorem. Są to:

- oryginalne prace twórcze: **60** w tym w języku angielskim **26**
- publikacje zamieszczone w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowej uwzględnionej w Web of Science: **2** w tym w języku angielskim **2**
- recenzowane rozdziały w monografiach naukowych: **1**
- publikacja przeglądowa w języku polskim: **1**
- doniesienia opublikowane w materiałach konferencyjnych: **16**
- artykuły popularno-naukowe: **0**

Spośród wszystkich oryginalnych prac twórczych **18** opublikowano w recenzowanych czasopismach naukowych z listy JCR (w tym **7** prac w czasopismach zagranicznych, a **11** w czasopismach krajowych).

W **3** oryginalnych publikacjach jestem jedynym, w **32** pracach pierwszym autorem, natomiast w pozostałych kolejnym autorem.

Sumaryczny IF (włącznie z osiągnięciem naukowym) wynosi **23,088**

Indeks Hirscha wg bazy Web of Science Core Collection = **3**; wg bazy Scopus = **3**;

Indeks Hirscha w Google Scholar na podstawie obliczeń Publish or Perish = **6**

Liczba cytowań ogółem wg bazy Web of Science Core Collection = **39** (**12** bez autocytowań); wg bazy Scopus = **26** (**11** bez autocytowań); wg Google Scholar na podstawie obliczeń Publish or Perish = **112**.

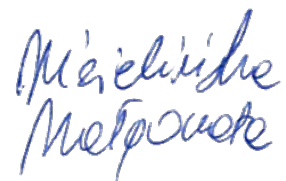
Sumaryczne zestawienie informacji na temat dorobku naukowo-badawczego oraz wskaźników dokonań naukowych ujęto w formie tabelarycznej (Tabela 1). Sumaryczny Impact Factor (IF) wg bazy Journal Citation Reports (JCR) podano zgodnie z rokiem ukazania się pracy; w przypadku braku danych (2018 r.) podano aktualny sumaryczny 5 – letni Impact Factor (IF). Liczbę punktów za publikację podano wg roku opublikowania na podstawie wykazu czasopism naukowych MNiSW; w przypadku braku danych (lata 2017 i 2018) podano liczbę punktów wg

listy MNiSW „Ujednolicony wykaz czasopism naukowych za lata 2013-2016” z dnia 26 stycznia 2017 r.

Tabela 1. Zestawienie całkowitego dorobku naukowego, z uwzględnieniem osiągnięcia naukowego będącym podstawą ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego

Kategoria / czasopismo	Liczba publikacji	IF	Punkty wg MNiSW
<i>Artykuły oryginalne wyróżnione w Journal Citation Report</i>			
Przemysł Chemiczny	3	1,101	45
	5	1,995	75
Asian Pacific Journal of Tropical Medicine	1	1,634	20
Nanomaterials	1	3,504	35
International Journal of Environmental Research and Public Health	1	2,145	25
Medycyna Weterynaryjna	3	0,806	21
Molecules	1	3,098	30
Polymers	3	8,805	120
Łącznie (w tym dla osiągnięcia)	18 (5)	23,088 (10,303)	371 (135)
<i>Pozostałe artykuły w recenzowanych czasopismach</i>			
Medycyna Doświadczalna i Mikrobiologia	2	-	10
Advances in Clinical and Experimental Medicine	2	-	10
Polish Journal of Veterinary Sciences	1	-	2
Advances in Agricultural Sciences	1	-	2
World Scientific News	8	-	48
Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis	1	-	4
Medycyna Weterynaryjna	1	-	6
Opakowanie	15	-	77
Przemysł Spożywczy	4	-	48
Kosmos	1	-	12
Herba Polonica	1	-	14
Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences	1	-	0
Proceedings of ECOpole	1	-	6
Żywność Nauka Technologia Jakość	1	-	13
Journal of Biotechnology and Biomaterials	1	-	0
Łącznie (w tym dla osiągnięcia)	41 (0)	-	252 (0)
<i>Artykuły naukowe w recenzowanych materiałach z konferencji naukowych uwzględnionych w bazie Web of Science Core Collection</i>			
Ochrona przed korozją	2	-	4
Young Scientists Towards the Challenges of Modern Technology 2014, International Conference Warsaw	2	-	4
<i>Monografie naukowe</i>			
Rozdziały w monografiach naukowych	1	-	4

<i>Inne opracowania</i>			
Doniesienia z konferencji	16	-	-
Ekspertyzy, raporty z przebiegu badań dla partnera przemysłowego	9	-	-
Patenty	3	-	90
Łącznie	92	23,088	725 (bez patentów 635)



Szczecin, 09.04.2019 r.