

Załącznik nr 3

AUTOREFERAT

kandydatki do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

dr inż. Sabina Lachowicz-Wiśniewska

Akademia Kaliska im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego

Wydział Nauk o Zdrowiu

Międzywydziałowa Katedra Żywności i Żywnienia

Kalisz, 2022

Spis treści

I.	Dane osobowe.....	3
II.	Posiadane dyplomy, tytuły, stopnie naukowe.....	3
III.	Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	4
IV.	Osiągnięcie naukowe będące podstawą do wszczęcia procedury o nadanie stopnia doktora habilitowanego	4
A)	Tytuł osiągnięcia naukowego	4
B)	Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego	4
C)	Omówienie celu naukowego cyklu publikacji i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	7
1.	<i>Wprowadzenie do zagadnienia i uzasadnienie podjęcia badań.....</i>	7
2.	<i>Cel naukowy.....</i>	10
3.	<i>Hipotezy badawcze</i>	11
4.	<i>Omówienie wyników przeprowadzonych badań.....</i>	12
5.	<i>Podsumowanie.....</i>	28
6.	<i>Piśmiennictwo.....</i>	30
V.	Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych, dydaktycznych, organizacyjnych i popularyzatorskich.....	33
VI.	Zestawienie dorobku.....	47

I. Dane osobowe

Imię i nazwisko: Sabina Lachowicz-Wiśniewska

Miejsce pracy: Akademia Kaliska im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego
Wydział Nauk o Zdrowiu
Międzywydziałowa Katedra Żywności i Żywienia
ul. Nowy Świat 4, 62-800 Kalisz
Email: s.lachowicz-wisniewska@akademiakaliska.edu.pl

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
Wydział Kształtowania Środowiska
Katedra Ogrodnictwa
al. Piastów 17, 70-310 Szczecin
Email: slachowiczwisniewska@zut.edu.pl

Numer ORCID: 0000-0001-6182-0211

Numer Scopus Author: 56880152400

Numer Researcher: AAK-5221-2020

II. Posiadane dyplomy, tytuły, stopnie naukowe

2018 r. Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu (UPWr)
Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności
doktor nauk rolniczych w zakresie technologii żywności i żywienia człowieka
Praca doktorska pt. „Usprawnienie technologii produkcji soku z aronii o wysokiej zawartości związków biologicznie czynnych z ograniczoną tendencją do tworzenia się osadów i zmętnień”, realizowana w katedrze Technologii Owoców, Warzyw i Nutraceutyków Roślinnych pod kierunkiem prof. dra hab. Jana Oszmiańskiego i promotora pomocniczego dr hab. inż. Joanny Kolniak-Ostek, prof. UPWr

2014 r. Uniwersytet Rzeszowski (UR)
Instytut Technologii Żywności i Żywienia
kierunek: Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka
magister inżynier
Praca magisterska pt. „Charakterystyka wybranych roślin z rodzaju *Allium* oraz ich przetworów pod kątem występowania związków fenolowych” realizowana w Katedrze Technologii Żywności i Żywienia Człowieka pod kierunkiem dr hab. Ireneusza Kapusty, prof. UR

2013 r. Uniwersytet Rzeszowski
Instytut Technologii Żywności i Żywienia
kierunek: Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka
inżynier

Praca inżynierska pt. „Występowanie związków fenolowych w cebuli zwyczajnej (*Allium cepa* L.)” realizowana w Katedrze Technologii Żywności i Żywienia Człowieka pod kierunkiem dr hab. Ireneusza Kapusty, prof. UR

III. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

10.2021 r. – obecnie Adiunkt

Międzywydziałowa Katedra Żywności i Żywienia
Wydział Nauk o Zdrowiu
Akademia Kaliska im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego

10.2021 r. – obecnie Adiunkt

Katedra Ogrodnictwa
Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

11.2018 – 08.2021 r. Adiunkt

Katedra Technologii Fermentacji i Zbóż
Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

01.2020 – 05.2020 r. Visiting Assistant Professor

Faculty of Food and Land Systems
The University of British Columbia (UBC) Vancouver w Kanadzie

IV. Osiągnięcie naukowe będące podstawą do wszczęcia procedury o nadanie stopnia doktora habilitowanego

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. 2016 r. poz. 882 ze zm. W Dz. U. z 2016 r. poz. 1311)

A) Tytuł osiągnięcia naukowego

Osiągnięcie naukowe obejmuje wspólny tematycznie cykl 6 publikacji naukowych pod tytułem:

Identyfikacja, określenie stabilności oraz biodostępności związków bioaktywnych w produktach funkcjonalnych o ukierunkowanych właściwościach prozdrowotnych

B) Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

B1. **Lachowicz S.**, Seliga Ł., Pluta S. (2020). Distribution of phytochemicals and antioxidative potency in fruit peel, flesh, and seeds of Saskatoon berry. *Food Chemistry*, 305, 125430; DOI:10.1016/j.foodchem.2019.125430.

IF: 7,514*; 7,341**; MEiN: 200, liczba cytowań wg WoS: 13, Scopus: 14; autor korespondencyjny.

Mój wkład: autorstwo hipotez, określenie koncepcji badań, opracowanie metodyki badań, zdobycie finansowania na realizację badań, nadzór nad wykonywanymi analizami, wykonanie większości doświadczeń analitycznych, analiza, opracowanie, interpretacja dyskusji wyników, sformułowaniu głównych wniosków, przygotowanie manuskryptu artykułu, przygotowanie recenzji artykułu. Swój udział szacuję na 90%.

- B2. **Lachowicz S.**, Wiśniewski R., Ochmian I., Pluta S., Drzymała K. (2019). Anti-microbiological, anti-hyperglycemic and anti-obesity potency of natural antioxidants in Saskatoon berry. *Antioxidants*, 8(9), 397; DOI:10.3390/antiox8090397.

IF: 5,013*; 6,649**; MEiN: 100; liczba cytowań wg WoS: 8, Scopus: 8; autor korespondencyjny.

Mój wkład: autorstwo hipotez, określenie koncepcji badań, opracowanie metodyki badań, zdobycie finansowania na realizację badań, nadzór nad wykonywanymi analizami, wykonanie większości doświadczeń analitycznych, analiza, opracowanie, interpretacja dyskusji wyników, sformułowanie głównych wniosków, przygotowanie manuskryptu artykułu, przygotowanie recenzji artykułu. Swój udział szacuję na 75%.

- B3. **Lachowicz S.**, Michalska, A., Lech, K., Majerska J., Oszmiański J., Figiel, A. (2019). Comparison of the effect of four drying methods on polyphenols in saskatoon berry. *LWT – Food Science and Technology*, 111, 727-736; DOI:10.1016/j.lwt.2019.05.054.

IF: 4,006*; 4,991**; MEiN: 100; liczba cytowań wg WoS: 15, Scopus: 14; autor korespondencyjny.

Mój wkład: autorstwo hipotez, określenie koncepcji badań, opracowanie metodyki badań, zdobycie finansowania na realizację badań, nadzór nad wykonywanymi analizami, wykonanie większości doświadczeń analitycznych, analiza, opracowanie, interpretacja dyskusji wyników, sformułowanie głównych wniosków, przygotowanie manuskryptu artykułu, przygotowanie recenzji artykułu. Swój udział szacuję na 40%.

- B4. **Lachowicz S.**, Michalska-Ciechanowska A., Oszmiański J. (2020). The impact of maltodextrin and inulin on the protection of polyphenolic compounds and their antioxidant potency on the fruit, juice, and pomace of Saskatoon berry powders as functional food ingredients. *Molecules*, 25(8), 1805; DOI:10.3390/molecules25081805.

IF: 4,412*; 4,588**; MEiN: 140; liczba cytowań wg WoS: 7, Scopus: 8; autor korespondencyjny.

Mój wkład: autorstwo hipotez, określenie koncepcji badań, opracowanie metodyki badań, zdobycie finansowania na realizację badań, nadzór nad wykonywanymi analizami, wykonanie większości doświadczeń analitycznych, analiza, opracowanie, interpretacja dyskusji wyników, przygotowanie manuskryptu artykułu, przygotowanie recenzji artykułu. Swój udział szacuję na 80%.

- B5. **Lachowicz S.**, Świeca M., Pejcz E. (2021). Biological activity, phytochemical parameters, and potential bioaccessibility of wheat bread enriched with powder and microcapsules made from Saskatoon berry. *Food Chemistry*, 338, 128026; DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128026.

IF: 9,231*, 7,341**; MEiN: 200; liczba cytowań wg WoS: 8, Scopus: 7; autor korespondencyjny.

Mój wkład: autorstwo hipotez, określenie koncepcji badań, opracowanie metodyki badań, zdobycie finansowania na realizację badań, nadzór nad wykonywanymi analizami, wykonanie doświadczeń technologicznych i większości doświadczeń analitycznych, analiza, opracowanie, interpretacja dyskusji wyników, sformułowanie głównych wniosków, przygotowanie manuskryptu artykułu, przygotowanie recenzji artykułu. Swój udział szacuję na 80%.

B6. **Lachowicz S.**, Świeca M., Pejcz E. (2020). Improvement of health-promoting functionality of rye bread by fortification with free and microencapsulated powders from *Amelanchier alnifolia* Nutt. *Antioxidants*, 9(7), 614; DOI: 10.3390/antiox9070614.

IF: 6,313*; 6,649**; MEiN: 100; liczba cytowań wg WoS: 6, Scopus: 6; autor korespondencyjny.

Mój wkład: autorstwo hipotez, określenie koncepcji badań, opracowanie metodyki badań, zdobycie finansowania na realizację badań, nadzór nad wykonywanymi analizami, wykonanie doświadczeń technologicznych i większości doświadczeń analitycznych, analiza, opracowanie, interpretacja dyskusji wyników, sformułowanie głównych wniosków, przygotowanie manuskryptu artykułu, przygotowanie recenzji artykułu. Swój udział szacuję na 80%.

Łącznie:

Impact Factor – 36,489¹; 37,559²

Punkty MEiN – 840

liczba cytowań wg bazy Web of Science: 55

liczba cytowań wg bazy Scopus: 56

Prace dokumentujące osiągnięcie naukowe zamieszczono w **Załączniku 4**. Oświadczenia współautorów w wyżej wymienionych publikacjach z określeniem ich procentowego udziału w powstaniu prac zamieszczono w **Załączniku 5** do wniosku habilitacyjnego.

Badania wchodzące w skład osiągnięcia naukowego powstały w ramach realizacji projektów:

1. Kierownik projektu nt.: *Wpływ owoców świdosiwy na jakość i wartość prozdrowotną pieczywa pszennego*. Projekt był finansowany z działalności statutowej celowej Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (UPWr; 01.2019-12.2019 r.; dotacja 7 398 zł, **Zał. 6. II.5.5; Zał. 8.5**);

2. Kierownik projektu „Innowacyjny naukowiec” nt.: *Wzbogacanie chleba żytniego w owoce świdosiwy jako dodatek funkcjonalny w postaci suszu i mikrokapsulek*. Projekt był finansowany z środków wewnętrznych UPWr (01.2020 – 08.2021; wartość projektu 60 tys. zł; **Zał. 6. II.5.7; Zał. 8.7**).

¹ Impact Factor obowiązujący w roku wydania publikacji

² średni pięcioletni Impact Factor

C) Omówienie celu naukowego cyklu publikacji i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

1. WPROWADZENIE DO ZAGADNIENIA I UZASADNIENIE PODJĘCIA BADAŃ

Obecny stan wiedzy wskazuje, że czynniki środowiskowe i styl życia prowadzony przez wielu ludzi, cechujący się nieodpowiednio zbilansowaną dietą, narażeniem na silny i długotrwały stres (będący w dzisiejszej dobie stanem niemal permanentnym), przyczyniają się do zaburzeń jakościowych i ilościowych mikrobioty jelitowej zwiększając przepuszczalność nabłonka jelitowego, która może być czynnikiem predysponującym do rozwoju wielu jednostek chorobowych, między innymi stanów zapalnych w obrębie przewodu pokarmowego czy utajonych nadwrażliwości pokarmowych. Czynniki te sprzyjają również powstawaniu nadmiaru wolnych rodników i produkcji nadtlenków, które nieustannie oddziałują na organizm człowieka, powodując zaburzenia homeostazy redoks, czyli zaburzenia równowagi między powstawaniem reaktywnych form tlenu, a stężeniem substancji przeciwutleniających. W konsekwencji prowadzą do pogorszenia się stanu zdrowia publicznego. W tym miejscu należy zwrócić szczególną uwagę na stres oksydacyjny powstający głównie przez nadmierne wytwarzanie reaktywnych form tlenu, które nie zostały wyeliminowane przez naturalne mechanizmy naprawcze organizmu. Krótkotrwały szok tlenowy jest przeważnie tolerowany przez komórki i w takim przypadku dochodzi do zwiększonej aktywności reakcji obronnych. W wyniku nasilonego lub długotrwałego stanu stresu oksydacyjnego może dochodzić do uszkodzeń oksydacyjnych kwasów nukleinowych, lipidów, węglowodanów i białek wpływając na modyfikację ich struktur i zaburzeń funkcji. Istotną rolę odgrywa on w patogenezie wielu chorób przewlekłych, określanych często mianem chorób cywilizacyjnych, jak choroby zespołu metabolicznego, choroby układu krążenia, choroby neurodegeneracyjne czy nowotwory. Chorobom tym często towarzyszy przewlekły stan zapalny odpowiadający za patologiczne zmiany w organizmie dotykających światową populację [1]. Do tego dochodzą rosnące koszty opieki zdrowotnej, zatem niezbędne jest zadbanie o odpowiednią profilaktykę wspomagając naturalne mechanizmy naprawcze w organizmie oraz przeciwdziałając niekorzystnym zmian wywołanym stresem oksydacyjnym i przewlekłymi stanami zapalnymi. Z kolei z raportów WHO (World Health Organization) wynika, że jeżeli profilaktyka w tym kierunku się nie poprawi, to do 2030 roku przewlekłe choroby niezakaźne będą powodem śmierci około 52 mln ludzi rocznie [2,3]. W celu ograniczenia rosnącej liczby zachorowań i przedwczesnych zgonów zaleca się poprawę prowadzonego stylu życia zaczynając od odpowiedniej dietoterapii z wykorzystaniem produktów zasobnych w fitozwiązki o działaniu przeciwutleniającym i przeciwzapalnym. Stąd też uważa się, że przy planowaniu diety szczególnie istotne jest uwzględnienie dużej podaży surowców i produktów pochodzenia roślinnego, które zawierają w swoim składzie szereg antyoksydantów egzogennych, w tym związków polifenolowych o udokumentowanym pożądanym działaniu tj. działaniu przeciwutleniającym i przeciwzapalnym. Liczne opracowania naukowe oparte na badaniach medycznych wskazują na występowanie silnej, dodatniej korelacji pomiędzy wpływem spożywanych produktów bogatych w związki polifenolowe, a stanem zdrowia organizmu i samopoczucia człowieka, co prowadzi m.in. do obniżenia ryzyka rozwoju nowotworów [4] i daje podstawy do wykorzystania tej grupy związków. Polifenole należą do wtórnych metabolitów roślinnych, zaliczanych do organicznych związków chemicznych z grupy fenoli szeroko rozpowszechnionych w świecie roślin biorących udział w ich obronie przed stresem wodnym, mechanicznym i cieplnym. Powszechnie uważane są za związki bioaktywne naturalnie występujące w owocach, warzywach, ziołach, zbożach, nasionach czy kawie i herbacie. Polifenole składają się z co najmniej dwóch grup hydroksylowych

połączonych jednym lub wieloma pierścieniami aromatycznymi. W zależności od budowy chemicznej i sposobu ich połączenia, dzielą się one na flawonoidy, fenolokwasy, lignany i stilbeny. Kwasy fenolowe zawierają w swojej budowie grupę karboksylową i hydroksylową i są pochodnymi kwasu cynamonowego do którego zaliczymy kwas sinapowy, ferulowy, kawowy, *p*-kumarowy oraz kwasu benzoowego, w tym kwas galusowy, protokatechowy i *p*-hydroksybenzoowy [5]. W roślinach występują one głównie w postaci estrów lub glikozydów. Z kolei, wśród flawonoidów wyróżniamy następujące klasy: antocyjany (m.in. delfinidyna, cyjanidyna), flawanony (m.in. hesperydyna), flawanole (m.in. katechina i epikatechina), flawony (m.in. luteolina, apigenina), flawonole (m.in. kempferol, kwercytyna), oraz izoflawony (m.in. genisteina, daidzeina). Związki te w świecie roślin występują zarówno w postaci aglikonów jak i glikozydów, czyli w postaci związanej z cząsteczkami cukrów [6-8]. Badania naukowe i medyczne potwierdzają ich aktywność biologiczną, m.in. wzmacniają i kształtują układ odpornościowy, przeciwnowotworowo m.in. na komórki nabłonka jelit, przeciwdziałają nadmiernej ilości reaktywnych form tlenu w organizmie oraz wykazują właściwości prebiotyczne, które przyczyniają się jednocześnie do utrzymania stanu eubiozy mikroflory jelitowej [9]. Mechanizm przeciwutleniający polega głównie na redukcji wolnych rodników poprzez oddanie jednego atomu wodoru lub elektronu tworząc rodnik fenolowy stabilizowany przez obecność w budowie pierścienia aromatycznego reaguje z wolnymi rodnikami hamując reakcje wolnorodnikowe. Ich działanie związane jest również z takimi mechanizmami jak chelatowanie jonów metali przejściowych, wygaszanie tlenu singletowego, hamowanie aktywności enzymów prooksydacyjnych [10].

Stąd też w krajach wysoko rozwiniętych pojawia się duże zainteresowanie żywnością o specjalnym przeznaczeniu, tzw. żywnością funkcjonalną, w produkcji której wykorzystuje się związki bioaktywne, w tym związki polifenolowe ze względu na ich udokumentowane właściwości [11,12]. Żywność ta oprócz podstawowych właściwości odżywczych, reguluje i modyfikuje fizjologiczne i metaboliczne procesy w organizmie człowieka wykazując wysoką wartość prozdrowotną.

Bogate doświadczenie naukowe w zakresie analizy związków bioaktywnych z surowców pochodzenia roślinnego, głównie owoców, pozwoliły mi na wytypowanie gatunków szczególnie przydatnych przy komponowaniu żywności funkcjonalnej ze względu na ilość i jakość związków bioaktywnych oraz łatwość przetwarzania. Przeprowadzone badania koncentrowały się na możliwym potencjalnym korzystnym oddziaływaniu badanej matrycy roślinnej na organizm. Wykazano, że szczególnie interesujące pod tym względem są owoce świdosiwy olcholistnej. Owoce te są cennym, nowym i atrakcyjnym materiałem łączącym w sobie cechy aronii i borówki. Charakteryzują się wysoką zawartością makro- i mikroelementów, pektyn, witamin, kwasów organicznych oraz związków antyoksydacyjnych, w tym związków polifenolowych, które wykazują szerokie spektrum działania prozdrowotnego m.in. działanie antykancerogenne, przeciwmiażdżycowe i immunomodulujące, przeciwutleniające i przeciwzapalne [13]. Badanie przeprowadzone przez Zhao i wsp. [14] potwierdziło, że susze z owoców świdosiwy mogą łagodzić hiperlipidemię, hiperglikemię i zapalenie naczyń krwionośnych wywołane dietą bogatą w sacharozę i tłuszcze. Według Juricovej i wsp. [15], owoce świdosiwy są dodatkowo odpowiedzialne za działanie przeciwzapalne i chemochronne. Właściwości tego surowca wskazują, że może on stanowić doskonały funkcjonalny dodatek wykorzystywany w żywności. Jego pożądaną cechą jest również aspekt ekonomiczny cechujący się łatwością uprawy w naszym klimacie i odpornością na choroby czy szkodniki. Natomiast słodki smak owoców świdosiwy może również przyczynić się do poprawy walorów smakowych wzbogaconej żywności.

Należy jednak pamiętać, że związki bioaktywne ulegają degradacji pod wpływem m.in. niekorzystnych warunków środowiskowych, działania wysokiej temperatury w procesach technologicznych i kulinarnych, podczas przechowywania, czy podczas trawienia [16], co w konsekwencji prowadzi do ograniczenia ich biodostępności i bioprzyswajalności w organizmie człowieka. W świetle powyższych informacji niezbędne jest wykorzystywanie technik, które będą zabezpieczały cenne dla organizmu człowieka naturalne związki bioaktywne. Jednym z rozwiązań wykorzystywanym do utrwalania surowców roślinnych w postaci proszków i ochrony związków bioaktywnych jest wykorzystywanie różnych metod suszenia poprzez odpowiedni dobór tych techniki i ich parametrów w warunkach kontrolowanych [17]. Jednakże metody te nie dają w pełni zadowalających wyników. Dlatego w dalszym ciągu prowadzone są badania nad opracowaniem odpowiednich systemów, które w większym stopniu będą chroniły związki bioaktywne. Za technikę spełniającą wskazane kryteria można uznać enkapsulację [18]. Enkapsulacja to proces polegający na zamknięciu substancji czynnych bądź powlekanii ich materiałem nośnikowym aby uzyskać cząstki w skali mikrometrycznej. Proces ten jest szeroko wykorzystywany w przemyśle farmaceutycznym czy spożywczym do zabezpieczania przed niekorzystnym działaniem tlenu, światła, odczynu pH, wilgoci itd. związków bioaktywnych, takich jak polifenole, makro i mikroelementy, witaminy, czy nawet do niwelowania nieprzyjemnych smaków i zapachów w żywności funkcjonalnej. Oprócz tworzenia powłoki ochronnej kapsułkowanie oddziałuje również na trwałość, stabilność i biodostępność zamykanych związków, umożliwiając ich kontrolowane uwalnianie w celu precyzyjnego działania [B4]. Ponadto enkapsulacja materiału roślinnego i dodatek mikrokapsułkowanych preparatów do żywności nie komplikuje procesu produkcyjnego, ale może przyczynić się do zwiększenia stabilności związków polifenolowych i zmniejszenia ich potencjalnego negatywnego wpływu na właściwości sensoryczne gotowych produktów lub niekorzystne interakcje np. między składnikami matrycy żywności a dodatkami wzbogacającymi [17]. Może to być interesujące zwłaszcza w przypadku projektowania żywności funkcjonalnej, kiedy kluczowe jest zwrócenie uwagi na wszystkie aspekty żywieniowe i technologiczne [19]. Należy jednak zauważyć, że dotychczas brak jest informacji na temat stabilności związków bioaktywnych podczas otrzymywania suszu z owoców świdoliwy, a także wykorzystania dodatkowej ich ochrony przy zastosowaniu procesu kapsułkowania. Fakt ten wskazuje na zasadność prowadzenia badań w tym zakresie. Z kolei w procesie badawczym kluczowa jest kwestia wyboru odpowiedniego materiału do ochrony związków polifenolowych, niezbędnego do uzyskania najwyższej jakości preparatu. Z punktu widzenia zdrowia takie środki muszą być uznane za bezpieczne i ulegać biodegradacji [20]. W związku z tym, w prowadzonych badaniach skupiono się na wykorzystaniu naturalnych biopolimerów, takich jak polisacharydy, w tym powszechnie wykorzystywane inulina i maltodekstryna.

W kontekście możliwości otrzymania żywności funkcjonalnej wzbogaconej w związki polifenolowe istotnym czynnikiem jest również wybór odpowiedniej „bazy głównej”, ponieważ preparaty powinny być regularnie spożywane dla uzyskania zamierzonych efektów zdrowotnych. Dlatego powinien to być produkt, który jest powszechnie spożywany przez populację, zalecany przez dietetyków, względnie ekonomiczny, przetwarzany przemysłowo. Uwzględniając powyższe kryteria zaproponowano produkty zbożowe, które stanowią nieodzowny element diety człowieka ze względu na podaż węglowodanów. Stanowią one również doskonałe źródło błonnika pokarmowego wykazującego wiele cennych właściwości prozdrowotnych [21]. Do najważniejszej grupy produktów zbożowych zaliczamy pieczywo. Pieczywo należy do produktów wysokoskrobiowych, cechuje je dobra zawartość witamin głównie z grupy B i E, kwasów fenolowych, związków mineralnych w tym magnezu, cynku, manganu, seleniu oraz pentozanów (rozpuszczalne w wodzie nieskrobiowe polisacharydy, polimery arabinozy i ksylozy) i glukanów

[22]. Produkty te ze względu na swoje właściwości można wzbogacić różnymi składnikami odżywczymi i związkami bioaktywnymi [23] w celu podwyższenia ich wartości prozdrowotnej. Interesującą alternatywą dla dostępnych na rynku produktów zbożowych, przy rosnącym zapotrzebowaniu na żywność o właściwościach prozdrowotnych, może być pieczywo wzbogacone matrycą roślinną bogatą w związki polifenolowe [19,24,25]. Dostępna literatura naukowa w ograniczony sposób porusza zagadnienia związane z ograniczeniem strat związków polifenolowych pochodzących z materiału roślinnego jako dodatku funkcjonalnego przy wypieku chleba.

Ponadto, biologiczne właściwości związków polifenolowych zawartych zarówno w materiale roślinnym i dodatkach, jak i w żywności funkcjonalnej zależą od ich biodostępności oraz szybkości wchłaniania do układu krążenia. Skład jakościowy i ilościowy profilu polifenoli określony w gotowym produkcie zazwyczaj różni się od składu polifenoli biodostępnych na co wskazują raporty naukowe [26,27]. Co więcej, przewód pokarmowy działa na zasadzie skutecznego ekstraktora powodując uwalnianie związków bioaktywnych z kompleksów utworzonych ze składnikami matrycy żywności wspomaganym działaniem enzymów trawiennych. Natomiast zakres uwalniania składników, ich zmiany strukturalne, strawność, czy potencjał biologiczny ocenia się na zasadzie zastosowania prostych i powszechnie wykorzystywanych modeli trawiennych *in vitro* symulujący pasaż żołądkowo-jelitowy [28,29]. Dodatkowo zastosowanie różnych technik powlekańcych w celu wytworzenia bariery ochronnej ograniczającej działanie czynników niekorzystnych wpływających na związki prozdrowotne może skutkować interakcjami pomiędzy substancjami zabezpieczającymi materiał biologiczny, a związkami polifenolowymi. W świetle podanych informacji wartość, jakość oraz bezpieczeństwo badanego materiału wymaga bezwzględnego zestawienia wyników zarówno z przeprowadzonych analiz fitochemicznych oraz właściwości biologicznych, jak i ich potencjalnej biodostępności [31,32]. Skuteczność działania związków bioaktywnych może być osiągnięta, kiedy badane składniki z matrycy żywności funkcjonalnej są biodostępne. Dlatego niezbędne i uzasadnione jest przeprowadzanie analiz biodostępności nowych produktów funkcjonalnych wykorzystując symulowane trawienie w modelowych układach *in vitro* w celu weryfikacji ich skuteczności w promowaniu efektów zdrowotnych [33,34].

Poruszana przeze mnie problematyka badawcza dotyka niezwykle ważnych zagadnień z zakresu dyscypliny Nauk o Zdrowiu dotyczących podaży związków bioaktywnych z produktu funkcjonalnego z zachowaniem ich wysokiej biodostępności. Wyniki z uzyskanych badań wzbogaciły i uzupełniły obecny stan wiedzy na temat stabilności związków polifenolowych w produktach funkcjonalnych mogących mieć zastosowanie w prewencji stresu oksydacyjnego i stanów zapalnych. Ponieważ aspekt ten jest nadal bardzo słabo zbadany, temat ten należy traktować jako innowacyjne podejście badawcze wykorzystujące najnowsze rozwiązania w komponowaniu żywności i określaniu jej rzeczywistej wartości prozdrowotnej z wykorzystaniem symulowanego trawienia *in vitro*.

2. CEL NAUKOWY

Głównym celem osiągnięcia będącego podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego była analiza jakościowa i ilościowa związków polifenolowych owoców świdrośliwy olcholistej (*Amelanchier alnifolia* Nutt.) oraz określenie kluczowych czynników determinujących ich wysoką stabilność i biodostępność jako dodatku funkcjonalnego w innowacyjnej żywności wykazującej właściwości antyoksydacyjne oraz przeciwzapalne. Badania przeprowadziłam przy zastosowaniu nowoczesnych technik analitycznych, metod spektrofotometrycznych oraz symulowanego układu trawiennego *in vitro*.

3. HIPOTEZY BADAWCZE

- Hipoteza 1.** Owoce świdosiłwy olcholistnej są cennym źródłem związków bioaktywnych, szczególnie związków polifenolowych o wysokiej wartości prozdrowotnej.
- Hipoteza 2.** Sposób przygotowania proszku owocowego istotnie wpływa na zawartość związków polifenolowych i ich właściwości prozdrowotne.
- Hipoteza 3.** Odpowiednio dobrane parametry procesu enkapsulacji przyczyniają się do uzyskania wysokiej stabilności związków polifenolowych i ich właściwości prozdrowotnych.
- Hipoteza 4.** Wybór odpowiedniego stężenia i rodzaju dodatku determinuje stabilność i zawartość związków biologicznie aktywnych i ich wartości prozdrowotne w pieczywie pszennym i żytnim.
- Hipoteza 5.** Rodzaj fortifikatu determinuje biodostępność związków polifenolowych i ich właściwości prozdrowotne oraz strawność składników odżywczych podczas trawienia żołądkowo-jelitowego w modelowym układzie *in vitro*.

Realizację głównego celu badań oraz weryfikację wskazanych hipotez przeprowadziłam w oparciu o następujące etapy badań:

- Etap 1.** Wielokierunkowa ocena składu chemicznego i właściwości prozdrowotnych w układzie *in vitro* wybranych odmian owoców świdosiłwy olcholistnej oraz wskazanie alternatywnego źródła związków prozdrowotnych (**Publikacja B1 i B2**).
- Etap 2.** Dobór odpowiedniej metody i parametrów suszenia oraz ocena przydatności odmian owoców świdosiłwy olcholistnej do otrzymania proszków o najwyższej zawartości związków polifenolowych i właściwości prozdrowotnych (**Publikacja B3**).
- Etap 3.** Wpływ rodzaju i stężenia materiałów powlekających oraz wybór metod i parametrów suszenia do otrzymania proszków skutecznie zabezpieczających związki w nich zawarte w zależności od zastosowanej matrycy (**Publikacja B4**).
- Etap 4.** Wybór odpowiedniego stężenia i rodzaju dodatku do otrzymania pszenno-żytniego pieczywa o wysokiej biodostępności substancji biologicznie aktywnych i wartości prozdrowotnych podczas symulowanego trawienia żołądkowo-jelitowego w modelowym układzie *in vitro* oraz strawności składników odżywczych (**Publikacja B5 i B6**).

4. OMÓWIENIE WYNIKÓW PRZEPROWADZONYCH BADAŃ

Etap 1. Wielokierunkowa ocena składu chemicznego i właściwości prozdrowotnych w układzie *in vitro* wybranych odmian owoców świdosiłwy olcholistnej oraz wskazanie alternatywnego źródła związków prozdrowotnych

Publikacja:

- B1.** Lachowicz S., Seliga Ł., Pluta S. (2020). Distribution of phytochemicals and antioxidative potency in fruit peel, flesh, and seeds of Saskatoon berry. *Food Chemistry*, 305, 125430; DOI:10.1016/j.foodchem.2019.125430.
- B2.** Lachowicz S., Wiśniewski R., Ochmian I., Pluta S., Drzymała K. (2019). Anti-microbiological, anti-hyperglycemic and anti-obesity potency of natural antioxidants in Saskatoon berry. *Antioxidants*, 8(9), 397; DOI:10.3390/antiox8090397.

Pierwszy etap przeprowadzonych badań w ramach cyklu publikacyjnego dostarcza nowych danych dotyczących szczegółowego składu chemicznego, w tym substancji biologicznie czynnych oraz wartości prozdrowotnych z jednoczesnym wskazaniem ich akumulacji w różnych częściach owoców świdosiłwy olcholistnej (*Amelanchier alnifolia* Nutt.). Informacje te wskazują na wysoką wartość nutraceutyczną analizowanych owoców, które mogą zostać wykorzystane m.in. jako fortyfikant wzbogacający żywność. Dostępna literatura potwierdza skuteczność stosowania zbilansowanej diety, bogatej w owoce i warzywa, jako cennego źródła związków bioaktywnych i składników regulujących, w zmniejszaniu ryzyka pojawienia się tzw. chorób cywilizacyjnych [35]. Dodatkowo, niezwykle cennym surowcem stanowiącym produkt uboczny przemysłu spożywczego są wytłoki owocowe, których integralną częścią są skórka i pestki. Mogą stanowić alternatywne źródło związków o działaniu prozdrowotnym, a ich zagospodarowanie jako produktu ubocznego wpisuje się w zrównoważoną praktykę produkcyjną prowadzącą do maksymalizowania zysków ekonomicznych przy zachowaniu wysokiego poziomu ochrony ekosystemów. Szczegółowa analiza chemiczna obejmowała 7 genotypów owoców świdosiłwy olcholistnej pod kątem zawartości związków polifenolowych, triterpenoidów, tetraterpenoidów, aminokwasów, nukleotydów monofosforanowych, kwasów organicznych. Kolejną kwestią poruszoną w niniejszym cyklu była ocena wielokierunkowej wartości biologicznej tj. właściwości przeciwutleniających, przeciwcukrzycowych, przeciwotyłościowych, przeciwbakteryjnych w owocach, pestkach, skórce i mięszu. Otrzymane wyniki zostały przedstawione w **publikacji B1 i B2**.

Wykorzystanie techniki ultrasprawnej chromatografii cieczowej połączonej z detektorem mas (UPLC-PDA-ESI-QToF-MS/MS) pozwoliło na szczegółową identyfikację 37 związków polifenolowych, 3 triterpenoidów, 12 tetraterpenoidów, 23 aminokwasów, 7 nukleotydów monofosforanowych. Wśród określonych związków polifenolowych wskazano obecność substancji należących do kwasów fenolowych (9), oraz flawonoidów (28), w tym antocyjanów (7), flawan-3-oli (10), oraz flawonoli (11), których zawartość istotnie zależała ($p < 0,05$) od odmiany. Średnia zawartość analizowanych związków w 7 genotypach wynosiła 3073 mg/100 g suchej masy i wahała się w zakresie od 5131 mg/100 g suchej masy (odmiana 'Thiessen') do 1424 mg/100 g suchej masy (odmiana 'Pembina'). Wśród badanych części owoców tj. mięszu, skórki i nasion (tabela 2, **publikacja B1**), najwyższa średnia zawartość substancji polifenolowych wynosiła od 3740 mg/100 g suchej masy w skórce do 1385 mg/100 g suchej masy w mięszu i również warunkowana była odmianą. Dominującą grupą związków polifenolowych były flawan-3-ole zarówno monomery, oligomery jak i polimery, które stanowiły 59% związków, w tym spolimeryzowane formy stanowiły 53% i głównie występowały w skórce i nasionach. Związki te są kluczowe z punktu widzenia wartości biologicznej, ponieważ wykazują silne

właściwości przeciwutleniające oraz wpływają na metabolizm lipidów i poziom glukozy we krwi [36]. Prostsze formy, monomeryczne i oligomeryczne w szczególności obecne były w miąższu owoców. Kolejną grupę stanowiły antocyjany, których zawartość również determinowana była cechą odmianową i wahała się w zakresie od 572 mg/100 g suchej masy w odmianie 'Pembina' do 1663 mg/100 g suchej masy w odmianie 'Thiessen'. Dodatkowo związki te niezależnie od analizowanego genotypu głównie zlokalizowane były w skórcie owoców, których średnia zawartość wyniosła 1231 mg/100 g suchej masy. Antocyjany, jako naturalne barwniki odpowiadają za ciemno czerwono-fioletową barwę owoców, wpływały również na ich wartość biologiczną wykazując działanie antyoksydacyjne i przeciwzapalne oraz hamowanie aktywności TNF- α , cytokiny, która odgrywa decydującą rolę w wyzwalaniu zapalenia, głównie przez uszkodzenie tkanek za pośrednictwem limfocytów T [37]. Następną grupą substancji bioaktywnych były kwasy fenolowe, które stanowiły od 11 do 27% wszystkich związków w zależności od analizowanego genotypu. Z kolei, ich stężenie wahało się do 202 mg/100 g suchej masy w 'klonie typu 5/6' do 1169 mg/100 g suchej masy w odmianie 'Thiessen', i głównie zależało od zawartości kwasu chlorogenowego ([M-H]⁻ przy *m/z* 353) należącego do kwasów hydroksycynamonowych. Kwas ten średnio stanowił 53% zawartości wszystkich kwasów. Fenolokwasy również w nierównomierny sposób rozmieszczone były w owocach występując głównie w skórcie, następnie w miąższu oraz w niewielkich ilościach w pestkach. W przypadku glukozydu kwasu kawowego ([M-H]⁻ przy *m/z* 341) oraz kwasu 4-*O*-kawoilochinowego ([M-H]⁻ przy *m/z* 353) ich obecność wykryto głównie w miąższu. Warto nadmienić, że obecność kwasów fenolowych w żywności jest kluczowa, głównie kwasu chlorogenowego, który oprócz tego, że jest prekursorem smaku i zapachu, wykazuje działania przeciwutleniające, przeciwnowotworowe oraz inhibuje uszkodzenia DNA [38]. Ostatnią zidentyfikowaną klasą związków były flawonole, które stanowiły jedynie 3-16% w zależności od testowanego genotypu, a zawartość wahała się od 97 do 583 mg/100 g suchej masy odpowiednio dla 'klonu typu S' i odmiany 'Smoky'. Związki te głównie zlokalizowane były w miąższu owoców, gdzie średnia zawartość wynosiła 339 mg/100 g suchej masy. Natomiast związkiem dominującym w owocach był 3-*O*-galaktozyd kwercetyny ([M-H]⁻ przy *m/z* 463). Potwierdzili to również inni autorzy wskazując jednocześnie na jego silne właściwości przeciwutleniające, przeciwnowotworowe, oraz hamowanie wysokiego ryzyka występowania chorób sercowo-naczyniowych [39]. Powyższe wyniki badań wskazują, że owoce świdosiwy olcholistnej są cennym źródłem poszczególnych grup związków polifenolowych. Określono także różnice w zawartościach polifenoli w poszczególnych genotypach, w celu wytypowania najkorzystniejszej odmiany jako dodatku funkcjonalnego. Optymalne właściwości wykazywały odmiany 'Thiessen' oraz 'Smoky', w których koncentracja badanych składników była najwyższa. Alternatywnie, do produkcji żywności funkcjonalnej z powodzeniem można wykorzystywać wytloki jako produkty uboczne przemysłu spożywczego, których znaczącą część stanowią skórki i pestki owoców. W przypadku tych części owoców także cechy odmianowe determinowały zawartość polifenoli.

Analizowane owoce świdosiwy olcholistnej i ich części cechują się również wysoką koncentracją triterpenów i tetraterpenów. Ogólna zawartość triterpenoidów zależała od genotypu i wahała się od 31,7 do 71,7 mg/kg suchej masy odpowiednio w odmianie 'Pembina' i 'Thiessen'. Wśród zidentyfikowanych kwasów to kwas ursolowy ([M-H]⁻ przy *m/z* 455) występował w dominujących ilościach stanowiąc od 40 do 57% wszystkich kwasów, a następnie kwas oleanolowy i betulinowy. Natomiast z analizy różnych części owoców wynika, że kwasy te głównie zlokalizowane były w skórcie, następnie w nasionach, zaś w miąższu oznaczono śladowe ich ilości. Potwierdzają to również inni autorzy wskazując, że związki te występują głównie w woskowej warstwie roślin i wykazują działanie przeciwutleniające, przeciwzapalne, przeciwgrzybicze oraz przeciwnowotworowe [40,41]. Z kolei analiza tetraterpenów wskazała

obecność 7 karotenoidów oraz 5 chlorofili, które pośrednio wywierały wpływ na zabarwienie owoców. Stężenie karotenoidów wahało się w zakresie od 262 do 517 mg/kg suchej masy odpowiednio dla odmiany 'Pembina' i 'klonu typu N' i było zależne od czynnika odmianowego. Natomiast związkami o najwyższej koncentracji była all-*trans*-luteina ([M-H]⁺ przy *m/z* 568] i β-karoten ([M-H]⁺ przy *m/z* 537), czyli prowitamina A. Obecność tych związków w diecie może warunkować poprawę odporności organizmu, zmniejszać ryzyko wystąpienia m.in. chorób kości, skóry i oczu oraz chorób układu krążenia [42]. Z kolei wśród badanych elementów wyłoków najwyższą koncentrację tych związków odnotowano w skórce, a następnie w pestkach, co wskazuje na możliwość wykorzystania tych produktów ubocznych jako cennego składnika żywności wzbogacanej. Średnia zawartość chlorofili w badanych próbach wynosiła 70,4 mg/kg suchej masy co wskazywało na odpowiednią dojrzałość owoców [43]. Związki te w głównej mierze zlokalizowane były w skórce owoców co wynika z metabolizmu tych związków w roślinie [43] a zawartość była ściśle zależna od badanego genotypu.

W owocach oznaczono również nukleotydy monofosforanowe, które wcześniej nie były określane dla tych owoców, a ich zawartość zależała od odmiany i wahała się od 24,6 mg/100 g suchej masy w 'klonie typu S' do 34,8 mg/100 g suchej masy w odmianie 'Pembina'. Ich stężenie kształtowało się następująco: 5'-monofosforan ksantozyny stanowiący od 30-35% wszystkich związków > 5'-monofosforan cytydyny stanowiący od 27-31% > 5'-monofosforan urydyny stanowiący od 16-25% > 5'-monofosforan tymidyny stanowiący od 5 do 15% > 5'-monofosforan adenozyne stanowiący od 4-8% > poniżej 3% stanowiły 5'-monofosforan inozyny i 5'-monofosforan guanozyne. Otrzymane wyniki wskazały również, że nukleotydy monofosforanowe przede wszystkim zlokalizowane były w skórce owoców, natomiast wyjątek stanowiły 5'-monofosforan ksantozyny i 5'-monofosforan cytydyny, których dominujące stężenie odnotowane było w miększu. Powyższą zależność potwierdzono także przez innych autorów, którzy dodatkowo podkreślili istotną funkcję nukleotydów kształtującą smak umami w kolejności od 5'-monofosforan guanozyne przez 5'-monofosforan inozyny > 5'-monofosforan ksantozyny > 5'-monofosforan adenozyne, a interakcje z aminokwasami wpływają na intensyfikację doznań smakowych [44-46].

W prezentowanym głównym osiągnięciu naukowym owoce świdoliwy olcholistnej przeanalizowano również pod kątem zawartości wolnych aminokwasów (tabela 3 i 4, **publikacja B2**). W 7 genotypach zidentyfikowano 23 związki, których zawartość wahała się od 34,7 mg/100 g suchej masy w 'klon nr 6' do 62,4 mg/100 g suchej masy w odmianie 'Martin'. Lokalizacja aminokwasów była zróżnicowana, chociaż pestki wskazywały stosunkowo wyższe stężenie w porównaniu do miększu i skórki.

Materiał poza określeniem składu chemicznego oceniony został pod kątem aktywności biologicznej tj. aktywności przeciwbakteryjnej, przeciwcukrzycowej, przeciwotyłociowej oraz przeciwoksydacyjnej. Najwyższą wartość potencjału przeciwutleniającego, niezależnie od zastosowanej techniki analitycznej, odnotowano w odmianach 'Thiessen' i 'Smoky' *de facto* o najwyższej zawartości związków polifenolowych. Natomiast najniższą pojemność przeciwutleniającą wskazano w genotypie 'klon nr 5/6'. Z przeprowadzonych badań wynika, że dobrym materiałem zamiennym mogą być również wyłoki zawierające skórki owoców, które charakteryzowały się wysokim potencjałem przeciwutleniającym. Statystyczne opracowanie wyników wykazało, że zarówno łączna zawartość związków polifenolowych oraz pojedyncze ich grupy wskazują silną korelację Pearsona z potencjałem przeciwutleniającym niezależnie od zastosowanej metody. Szczególnie silną korelację aktywności przeciwutleniającej odnotowano z polimerami procyjanidyn, antocyjanami oraz kwasami fenolowymi, natomiast

słabszą z flawan-3-olami i flawonolami. Dodatnią korelację, na poziomie ok. 0.6, wskazano także w przypadku triterpenoidów i karotenoidów.

W ramach pracy badawczej przeprowadzono także badania przeciwbakteryjne, których wyniki wskazywały na odporność owoców świdosiwy olcholistnej na działanie bakterii *Enterococcus hirae* (ATCC 10542), która naturalnie występuje w jelitach, jamie ustnej, narządach płciowych i skórze, a odpowiada głównie za stany zapalne błony śluzowej odbytnicy [47]. Szczególnie silne właściwości hamujące wzrostu tej bakterii wykazywały odmiany 'Smoky' i 'Thiessen' oraz biotyp 'klon typu S'. Otrzymane wyniki wskazują, że silne właściwości przeciwbakteryjne były dodatnio skorelowane z zawartością związków polifenolowych, nukleotydów monofosforanowych i wolnych aminokwasów (odpowiednio $R^2 = 0,525$, $R^2 = 0,696$ i $R^2 = 0,651$).

W materiale badawczym oznaczono zdolności do hamowania *in vitro* aktywności enzymów istotnych przy cukrzycy typu 2 (α -amylaza, α -glukozydazy; jako aktywność przeciwcukrzycowa) i enzymów istotnych przy otyłości (lipaza trzustkowa; jako aktywność przeciwootyłościowa). Enzymy trawienne – α -amylaza trzustkowa i α -glukozydaza jelitowa – hydrolizują w organizmie węglowodany, rozkładając dwucukry i oligomery węglowodanowe do monosacharydów. Dlatego wykorzystywanie naturalnych substancji spowalniających wchłanianie glukozy do krwiobiegu jest wskazane – takie działanie potwierdzono dla związków polifenolowych ze względu na ich wysoki potencjał przeciwutleniający [48]. Natomiast lipaza trzustkowa odpowiada za zdolność do hydrolizy trójglicerydów do wolnych kwasów tłuszczowych oraz monoacylogliceroli. Zahamowanie działania tego enzymu może zmniejszyć wchłanianie lipidów [49].

Wyniki badań poddane opracowaniu statystycznemu wykazały istotne różnice ($p < 0,05$) w hamowaniu aktywności enzymów trawiennych – α -amylaza i α -glukozydaza – dla analizowanych owoców. Wskazano, że zdolność do hamowania aktywności α -amylazy wahała się 18,3 a 31,7 IC_{50} [mg/mL], natomiast w przypadku hamowania α -glukozydazy wynosiła od 27,8 do 42,2 IC_{50} [mg/mL]. Działanie hamujące wobec aktywności α -glukozydazy w dużym stopniu determinowała obecność w owocach polimerów procyjanidyn, na co wskazał współczynnik korelacji wynosząc odpowiednio $R^2 = 0,685$. Z uzyskanych danych wynika, że owoce z świdosiwy olcholistnej, niezależnie od badanej odmiany, wykazywały silniejszą zdolność do hamowania aktywności α -amylazy niż α -glukozydazy. Układ, kiedy silniejsze działanie inhibicyjne wykazuje tylko jeden enzym jest wręcz wskazany, ponieważ wysokie hamowanie obu enzymów trawiennych mogłyby wpłynąć na nieprawidłowe działanie układu trawiennego przez zakłócanie fermentacji bakteryjnej w okrężnicy pozostawiając niestrawione węglowodany [50,51]. W przypadku zdolności do hamowania aktywności lipazy trzustkowej także odnotowano istotne różnice ($p < 0,05$) w zależności od analizowanego biotypu i odmiany owoców. Działanie hamujące wobec tego enzymu mieściło się w przedziale między 81,9 do 132,6 IC_{50} [mg/mL]. Zdolność do inhibicji była determinowana przez obecność związków polifenolowych w tym antocyjanów i kwasów fenolowych, co potwierdzone zostało dodatnim współczynnikiem korelacji Pearsona wynoszącym odpowiednio $R^2=0,625$, $R^2=0,683$ i $0,882$. Badany materiał o bogatym składzie chemicznym, ze względu na występowanie związków polifenolowych wykazywał potencjalną zdolność do inhibicji analizowanych enzymów trawiennych.

Realizacja etapu I pozwoliła na pozytywną weryfikację pierwszej hipotezy (**H1**) wskazując na wysoką wartość owoców świdosiwy olcholistnej pod kątem zawartości związków bioaktywnych oraz ich wartości prozdrowotnej tj. aktywności przeciwbakteryjnej, przeciwcukrzycowej, przeciwootyłościowej i przeciwutleniającej. Dlatego z powodzeniem owoce

mogą stanowić dodatek do żywności zwiększając jej wartość prozdrowotną. Ponadto, związki przeciwutleniające tych owoców mogą być skutecznie wykorzystane w kontekście wspomagania naturalnych mechanizmów naprawczych organizmu, w celu niwelowania nadmiaru reaktywnych form tlenu indukujących stres oksydacyjny odgrywający istotną rolę w etiologii tzw. chorób cywilizacyjnych.

Etap 2. Dobór odpowiedniej metody i parametrów suszenia oraz ocena przydatności odmian owoców świdosiwy olcholistnej do otrzymania proszków o najwyższej zawartości związków polifenolowych i właściwości prozdrowotnych.

Publikacja:

- B3.** Lachowicz, S., Michalska, A., Lech, K., Majerska J., Oszmiański J., Figiel, A. (2019). Comparison of the effect of four drying methods on polyphenols in saskatoon berry. *LWT – Food Science and Technology*, 111, 727-736; DOI:10.1016/j.lwt.2019.05.054.

Na podstawie szczegółowej analizy chemicznej różnych genotypów owoców świdosiwy olcholistnej wytypowano trzy odmiany do dalszych prac badawczych, w taki sposób, aby określić wpływ zastosowanej metody suszenia na wybrane parametry jakościowe. Warto nadmienić, że owoce są surowcem sezonowym przez co ich dostępność na rynku jest ograniczona. Może to prowadzić do zmniejszenia spożycia żywności bogatą w naturalne składniki o udokumentowanych właściwościach prozdrowotnych. Według opracowań naukowych materiał roślinny utrwalony metodą suszenia zachowuje w największym stopniu cechy surowca świeżego, w tym zawartość związków bioaktywnych i właściwości prozdrowotnych. Skuteczność suszenia zależy w głównej mierze od zastosowanej metody, parametrów samego procesu oraz jakości surowca i stopnia jego rozdrobnienia [52]. W dostępnej literaturze naukowej wielokrotnie poruszano problematykę wpływu różnych metod suszenia na profil i stężenie związków polifenolowych zawartych w owocach i produktach na ich bazie [52,53]. W przypadku owoców świdosiwy nie prowadzono dotychczas badań o takim charakterze, przez co uzyskane wyniki są wartościowe – wnoszą nowe informacje i uzupełniają dotychczasową wiedzę na ten temat. W celu uzyskania proszków owocowych wykorzystano trzy odmiany owoców świdosiwy: 'Smoky', 'Martin' i 'Honeywood', które poddano suszeniu konwekcyjnemu (CD) o temperaturze 70°C, suszeniu mikrofalowo-próżniowemu (MVD) o mocy początkowej 480 W zmniejszając ją do 120 W, połączeniu wstępnego suszenia konwekcyjnego i końcowego suszenia mikrofalowo-próżniowego (CD-MVD), oraz suszeniu sublimacyjnemu (liofilizacji; FD) (**B3**). Odnotowano, że kinetyka suszenia była identyczna dla wszystkich analizowanych odmian. Na podstawie kinetyki suszenia konwekcyjnego prowadzonego w temperaturze 70°C, ustalono czas suszenia wynoszący 780 min dla wszystkich próbek, niezależnie od odmiany. Podczas, gdy suszenie MVD przy 480 W/120 W skróciło prawie 10-krotnie czas trwania procesu w porównaniu z suszeniem konwekcyjnym, suszenie łączone składające się z CPD i MVFD, niezależnie od odmiany, wskazało 3,7 razy dłuższy czas suszenia w porównaniu z suszeniem MVD. W przypadku liofilizacji czas suszenia był stały i wynosił 24 godz. dla wszystkich prób ze względu na specyfikę procesu.

Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej wykazano, że zarówno odmiany owoców, jak i rodzaj metody suszenia miały statystycznie istotny wpływ na zmiany w profilu i zawartości badanych metabolitów wtórnych. Najwyższą zawartością związków polifenolowych w próbkach poddanych suszeniu FD charakteryzowała się odmiana 'Smoky' i była o 31 i 14% wyższa w odniesieniu do odmiany 'Martin' i 'Honeywood'. Suma zidentyfikowanych związków

polifenolowych wahała się od 21,4 g/kg suchej masy do 66,3 g/kg suchej masy odpowiednio dla proszków otrzymanych metodą CD i produktów uzyskanych za pomocą FD (**publikacja B3**, Tabela 2). Najwyższą degradację związków polifenolowych, prawie dwukrotną w porównaniu do próby kontrolnej, czyli suszenia FD, odnotowano po zastosowaniu CD. Prawdopodobnie przyczyną tak dużej straty związków bioaktywnych był długi czas trwania suszenia przy wysokiej temperaturze, podczas którego doszło do nieodwracalnych przemian wywołanych utlenianiem oddziałując negatywnie na termolabilne substancje biologicznie aktywne zidentyfikowane w owocach świdosiwi olcholistnej. Natomiast najwyższą ilość tych związków niezależnie od analizowanej odmiany odnotowano dla prób poddanych suszeniu MVD. Podobne prawidłowości dla metody CD wykazano dla borówek [54], a w przypadku metody MVD dla śliwek [52]. Główną frakcją związków polifenolowych zidentyfikowaną metodą UPLC-PDA-ESI-QToF-MS/MS były flawan-3-ole, których zawartość stanowiła od 27 do 43% wszystkich związków polifenolowych (**publikacja B3**, Tabela 2). Wśród nich dominującą formą były spolimeryzowane związki, stanowiące od 19 do 36%. Najwyższą zawartość tych związków stwierdzono w odmianie 'Smoky' i była ona odpowiednio o 12 i 46% wyższa w stosunku do odmian 'Honeywood' i 'Martin'. Natomiast najwyższą zawartość flawon-3-oli oznaczono w proszkach po zastosowaniu metody MVD, a wartości były nieznacznie wyższe w przypadku odmiany 'Martin' w porównaniu z metodą FD. Zatem, wykorzystanie do suszenia metody MVD przy 480 W/120 W może stanowić alternatywę dla metody liofilizacji wobec wyższej ilości spolimeryzowanych frakcji flawan-3-oli owoców. Po zastosowaniu metody CD wykorzystując temperaturę 70°C odnotowano największą degradację polimerów procyjanidyn, a uzyskana wartość była o ok. 53% niższa w odniesieniu do suszenia mikrofalowo-próżniowego, niezależnie od odmiany owoców. Zawartość monomerycznych flawan-3-oli uzależniona była od zastosowanej metody suszenia oraz odmiany w przeciwieństwie do suszenia śliwek [52] – najwyższą zawartość odnotowano dla prób odmiany 'Smoky' po zastosowaniu FD, natomiast w przypadku odmiany 'Martin' i 'Honeywood' po zastosowaniu metody MVD 480 W/120 W. Drugą grupą związków pod względem występowania były antocyjany, które stanowiły od 19 – 41% wszystkich związków polifenolowych w zależności od zastosowanej odmiany owoców. Wśród zidentyfikowanych 7 związków, 3-O-galaktozyd cyjanidyny występował w największych ilościach. Istotnie wyższą zawartością antocyjanów cechowała się odmiana 'Honeywood' po FD w porównaniu do pozostałych odmian. Jednakże relatywnie wysoką zawartość antocyjanów uzyskano również wykorzystując metodę MVD przy 480 W/120 W. Największą degradację tych związków, niezależnie od odmiany ok. 57%, odnotowano w proszkach po zastosowaniu suszenia konwekcyjnego w temperaturze 70°C. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że zarówno liofilizacja oraz suszenie mikrofalowo-próżniowe może być wykorzystywane do zabezpieczania antocyjanów występujących w surowcach roślinnych. Natomiast wysoka degradacja tych związków w suszach otrzymanych metody CD może wynikać z połączenia zastosowania wysokiej temperatury z dostępem suchego powietrza w trakcie suszenia [55,56]. Kolejną ważną grupą związków polifenolowych były kwasy fenolowe, których zawartość wynosiła od 7,36 do 16,98 g/kg suchej masy, stanowiąc od 19 do 30% wszystkich zidentyfikowanych związków polifenolowych. W tej grupie dominującymi związkami były kwasy: 5-O-kawoilochinowy (kwas chlorogenowy), 4-O-kawoilochinowy (kwas kryptochlorogenowy) i 3-O-kawoilochinowy (kwas neochlorogenowy), których zawartość wynosiła odpowiednio 66, 19 i 15% wszystkich fenolokwasów. Największą ilość kwasów fenolowych odnotowano w proszkach otrzymanych z owoców odmiany 'Martin' i 'Honeywood' po wykorzystaniu suszenia FD. Z kolei najwyższą koncentrację tych związków uzyskano w proszkach odmiany 'Smoky' poddanych łączonej metodzie suszenia CD/MVD. Podobne zależności dowiedziono podczas suszenia śliwek [52]. Najsilniejszą degradację określono po zastosowaniu metody CD, a w porównaniu z suszeniem sublimacyjnym, zawartości

kwasów fenolowych były o 19, 32 i 44% niższe odpowiednio dla odmiany 'Smoky', 'Honeywood' i 'Martin'. Zatem, w przypadku zachowania wysokiej ilości kwasów fenolowych alternatywną metodą suszenia obok metody FD może być metoda łączona suszenia konwekcyjnego i mikrofalowo-próżniowego. Wśród badanych związków najmniejszą grupę stanowiły flawonole (od 5-8% wszystkich związków polifenolowych), a związkiem o najwyższej zawartości był 3-O-galaktozyd kwercetyny. Wykorzystane do otrzymania proszków z owoców świdosiwy olcholistnej metody suszenia miały istotnie statystyczny wpływ na zawartość tej grupy związków. Najwyższą ilość flawonoli odnotowano po zastosowaniu FD dla odmiany 'Honeywood'; w przypadku odmiany 'Smoky' w suszach otrzymanych za pomocą metody CD/MVD; dla odmiany 'Martin' w proszkach po przeprowadzeniu suszenia metodą MVD przy mocy 480 W z redukcją do mocy 120 W. W przypadku odmian 'Smoky' i 'Martin' użycie metody MVD przy mocy 480 W/120 W skutkowało wyższą zawartością tych związków w porównaniu do odmiany 'Honeywood'. Podobnie jak w przypadku zawartości flawonoli i kwasów fenolowych, metoda MVD oraz metoda łączona CD/MVD mogą stanowić alternatywę dla suszenia sublimacyjnego. Nieznaczące różnice pomiędzy cechami odmianowymi mogą determinować zawartość związków polifenolowych w suszach owocowych. Dlatego dobór odpowiedniej odmiany owoców świdosiwy olcholistnej do uzyskania proszków przeznaczonych jako dodatek funkcjonalny, powinien być szczególnie staranny i poprzedzony analizą poszczególnych związków polifenolowych zarówno w świeżym surowcu oraz otrzymanych suszach.

Kolejnym aspektem poruszonym w publikacji była ocena wpływu wybranych metod suszenia i odmiany badanych owoców na potencjał przeciwutleniający oceniony metodami opartymi na mechanizmie przeniesienia pojedynczego elektronu jak ABTS, DPPH i FRAP. Zarówno odmiany owoców jak i sposoby suszenia istotnie ($p < 0,05$) wpłynęły na potencjał antyoksydacyjny badanych suszy. Spośród analizowanych odmian najsilniejszą zdolność przeciwrodnikową i potencjał redukujący Fe^{3+} ekstraktów wskazano w odmianie 'Honeywood', a następnie w odmianie 'Smoky' i 'Martin'. Liofilizacja, niezależnie od analizowanej odmiany, wpłynęła na najwyższą zawartość związków zdolnych do wymiatania wolnych rodników $ABTS^{\bullet}$ i $DPPH^{\bullet}$ oraz redukcji Fe^{3+} do Fe^{2+} . Niewiele niższą pojemność przeciwutleniającą w porównaniu do FD otrzymano po suszeniu MVD przy wykorzystaniu mocy 480 W z redukcją do mocy 120 W. Natomiast najniższą pojemnością przeciwutleniającą charakteryzowały się susze uzyskane metodą CD i były one odpowiednio 1,3; 1,5 i 1,6 razy niższa dla analizowanych odmian w porównaniu do suszenia FD. W etapie tym określono również zależności pomiędzy zawartością związków polifenolowych, a aktywnością przeciwutleniającą otrzymując następujące współczynniki determinacji: $R^2=0,855$ (ABTS), $0,801$ (DPPH) i $0,848$ (FRAP). Na podstawie uzyskanych danych można stwierdzić, że metoda MVD przy wykorzystaniu początkowej mocy 480 W i redukcji do 120 W utrzymuje wysoką zawartość związków wykazujących działanie antyoksydacyjne oraz może być stosowana do otrzymywania suszy zamiast suszenia sublimacyjnego. Podobne zależności wykazali również Mitra i wsp. [57]. Otrzymane wyniki wskazują, że aktywność przeciwutleniająca owoców świdosiwy olcholistnej istotnie zależała także od analizowanej odmiany, determinowanej głównie początkowym profilem związków bioaktywnych [58]. Dodatkowo określono dodatnią korelację między pojemnością przeciwutleniającą otrzymanych proszków, niezależnie od wykorzystanej metody suszenia, a polimerami procyjanidyn $R^2=0,830$, antocyjanami $R^2=0,832$ oraz monomerycznymi i oligomerycznymi flawan-3-olami $R^2=0,871$. Dowodzi to, że podczas otrzymywania suszy z owoców świdosiwy olcholistnej o zaplanowanych właściwościach należy wziąć pod uwagę skład chemiczny, czyli udział poszczególnych związków polifenolowych oraz ich siłę przeciwutleniającą, które można kształtować metodami suszenia. Otrzymane wyniki potwierdziły

ślusznosc **hipotezy H2**, że sposób przygotowania proszku owocowego istotnie wpływa na zawartość związków bioaktywnych i ich właściwości prozdrowotne.

Na tym etapie oceniono również kinetykę suszenia oraz właściwości fizyczne uzyskanych suszy w zależności od techniki suszenia i zastosowanej odmiany analizowanych owoców. Odnotowano, że zawartość wody otrzymanych suszy z owoców świdosiwy olcholistnej wynosiła od 0,022 do 0,066 kg/kg suchej masy i zależała ona ściśle od wybranego sposobu suszenia i czasu jego trwania. Dodatkowo wskazano, że uzyskana wilgotność silnie korelowała z aktywnością wody i niezależnie od sposobu suszenia to susze uzyskane z owoców odmiany 'Martin' wykazywały najniższą aktywność wody na poziomie ok. 0,2. Uwarunkowane to było zawartością wody w końcowym produkcie oraz początkowym składzie chemicznym owoców. Niezależnie od odmiany i metody suszenia, wszystkie susze cechowały się aktywnością wody poniżej poziomu krytycznego tj. 0,60 co oznacza, że produkty te były stabilne mikrobiologicznie i przydatne do spożycia. Natomiast wartość powyżej 0,60 może wpływać na pogorszenie stabilności mikrobiologicznej gotowego produktu i sprzyjać rozwojowi bakterii i pleśni [60]. Analiza parametrów barwy w systemie CIE L*a*b* wykazała, że wartości współrzędnej a*, odpowiedzialnej za zmianę barwy czerwonej, zależała od zastosowanego sposobu suszenia. Najniższe wartości odnotowano w suszach uzyskanych po suszeniu konwekcyjnym z użyciem temperatury 70°C, niezależnie od zastosowanej odmiany. Świadczy to o utlenianiu antocyjanów i ich degradację jako termolabilnych związków w połączeniu z długim czasem prowadzenia suszenia [61].

Etap 3. Wpływ rodzaju i stężenia materiałów powlekających oraz wybranych metod i parametrów suszenia do otrzymania proszków skutecznie zabezpieczających związki w nich zawarte w zależności od zastosowanej matrycy

Publikacja

- B4.** Lachowicz S., Michalska-Ciechanowska A., Oszmiański J. (2020). The impact of maltodextrin and inulin on the protection of polyphenolic compounds and their antioxidant potency on the fruit, juice, and pomace of Saskatoon berry powders as functional food ingredients. *Molecules*, 25(8), 1805; DOI:10.3390/molecules25081805.

Inny ważny aspekt badań przedstawiony w następnej publikacji dotyczył doboru nośników i ich stężenia przy jednoczesnej ocenie wpływu wybranych sposobów suszenia na profil i zawartość związków bioaktywnych owoców świdosiwy olcholistnej mogących stanowić doskonały dodatek funkcjonalny. Dodatkowo wskazano możliwość wykorzystania techniki enkapsulacji wobec soków i wycieków sporządzonych na bazie owoców świdosiwy olcholistnej. Należy jednak pamiętać, że związki te pod wpływem zarówno różnych czynników środowiskowych oraz zabiegów technologicznych są niestabilne i łatwo ulegają degradacji. Dlatego w III etapie wykorzystano metodę mikroenkapsulacji powlekania, jako dodatkowej ochrony i ograniczenia strat ww. związków. Celem tego etapu była ocena doboru nośników i ich stężenia na profil i zawartość związków polifenolowych oraz aktywność antyoksydacyjną owoców, soków i wycieków odmiany 'Smoky' otrzymanych poprzez liofilizację (FD) i suszenie próżniowe z zastosowaniem 50 °C (VD50) i 60 °C (VD60). Odmiana 'Smoky' została wyselekcjonowana na podstawie analiz wstępnych przeprowadzonych w ramach II etapu badań monotematycznego cyklu publikacji ze względu na właściwości pożądane przy projektowaniu dodatku funkcjonalnego żywności. Szczegółowe wyniki etapu III zostały umieszczone w **publikacji B4**.

Technika chromatograficzna UPLC-PDA-ESI-QToF-MS/MS wykorzystana do identyfikacji związków polifenolowych pozwoliła na zidentyfikowanie 42 związków, w tym 9 kwasów fenolowych i 33 flawonoidy (6 antocyjanów, 13 flawonoli, 14 flawan-3-oli). Średnia całkowita zawartość tych związków wynosiła 6535 mg/100 g suchej masy w suszach z wyłoków i była 1,4 i 1,7 krotnie wyższa niż dla owoców i soków. Podobną tendencję odnotowano w przypadku zdolności do wymiatania wolnych rodników (ABTS) oraz potencjału redukującego jony żelaza (III) (FRAP). Wynika to z nierównomiernej akumulacji związków polifenolowych w materiale roślinnym tj. antocyjany i flawonole występują głównie w skórce, która jest integralną częścią wyłoków, zaś flawan-3-ole (monomery, oligomery, polimery) oraz fenolokwasy występują zarówno w skórce jak i miąższu owoców (**publikacja B1**).

W przeprowadzonych badaniach wskazano, że zastosowany rodzaj nośników miał statystycznie istotny wpływ ($p < 0,05$) na zawartość związków polifenolowych i zdolność przeciwutleniającą, zarówno w proszkach z owoców jak i alternatywnie w proszkach z wyłoków i soku z owoców. Zastosowanie inuliny jako nośnika do zabezpieczenia związków zawartych w proszkach z owoców wskazało działanie ochronne na grupę związków należących do monomerów i oligomerów flawan-3-oli, szczególnie (+)-katechiny, dimeru i tetrameru procyanidyny typu B, dimery procyanidyny typu A; na związki należące do fenolokwasów, szczególnie kwasu 3-O-kawoilochinowego, kwasu 4-O-kawoilochinowego, kwas dikawoilochinowego; oraz 3-O-arabinozydu cyjanidyny należący do antocyjanów. Z kolei, użycie maltodekstryny wpłynęło na wyższą zawartość pozostałych związków należących do antocyjanów, kwasów fenolowych, flawonoli oraz na grupę spolimeryzowanych flawan-3-oli. Maltodekstryna oddziaływała również na wyższą pojemność przeciwutleniającą, szczególnie zdolność do redukcji Fe^{3+} do Fe^{2+} (metoda FRAP) (rysunek 1, **publikacja B4**). Wyższa aktywność przeciwutleniająca oceniona metodą FRAP i ABTS w proszkach po zastosowaniu maltodekstryny może wynikać z wyższej zawartości spolimeryzowanych form flawan-3-oli, na co wskazuje również dodatni współczynnik korelacji Pearsona wynoszący odpowiednio $R^2=0,997$ i $R^2=0,430$. Natomiast w przypadku alternatywnych kapsułkowanych źródeł związków bioaktywnych jak soki i wyłoki, wyższy potencjał przeciwutleniający, niezależnie od zastosowanej metody, odnotowano po zastosowaniu inuliny. Spowodowane to było również wyższą koncentracją w tych produktach związków spolimeryzowanych należących do flawan-3-oli, a współczynnik korelacji wynosił odpowiednio dla wyłoków $R^2_{FRAP}=0,995$ i $R^2_{ABTS}=0,998$, dla soków $R^2_{FRAP}=0,997$ i $R^2_{ABTS}=0,998$. Należy również zwrócić uwagę, że niezależnie od badanej matrycy maltodekstryna skutecznie wpływała na wzrost i ochronę antocyjanów, związków szczególnie termolabilnych, wykazujących jednocześnie silne właściwości prozdrowotne [61]. Stąd też wybór nośnika do otrzymania kapsułkowanych proszków funkcjonalnych w dużej mierze będzie zależał od pożądanego składu związków bioaktywnych wykazujących szczególnie działanie przeciwutleniające.

Przy opracowywaniu wyników wykazano również istotny statystycznie ($p < 0,05$) wpływ stężenia wykorzystanych nośników w procesie enkapsulacji na zawartość związków polifenolowych oraz zdolność do zmiatania wolnych rodników $ABTS^{•+}$ i do redukcji jonów żelaza w proszkach z owoców świdliwy olcholistnej oraz alternatywnie w proszkach z wyłoków i soku z owoców. Stężenie nośnika miało najwyższy wpływ na zawartość związków polifenolowych w porównaniu do rodzaju nośnika i sposobu suszenia. Odnotowano, że dodatek nośnika w ilości 30%, niezależnie od jego rodzaju, najkorzystniej wpłynął na ochronę związków polifenolowych i pojemność przeciwutleniającą w porównaniu do 40 i 50% udziału nośnika w badanych próbach (**rysunek 2, publikacja B4**). Zawartość związków bioaktywnych była odpowiednio o 20 i 37% wyższa, co również wpłynęło na wyższą o 29 i 47% aktywność przeciwutleniającą, niezależnie

od zastosowanego testu. Prawdopodobnie na uzyskane wyniki badanych składników miał wpływ efekt rozcieńczenia przez większą zawartość nośników sugerując, że wyższe stężenie nośników było odwrotnie proporcjonalne do zawartości badanych związków i ich aktywności przeciwutleniającej. Podobne wnioski wysnuli inni autorzy [62] wskazując, że stężenie nośników miało wpływ na zawartość związków bioaktywnych w końcowym produkcie. Najwyższe stężenie wykorzystanego nośnika, niezależnie od jego rodzaju, wpłynęło jednocześnie na największą degradację antocyjanów zarówno w proszkach z owoców jak i alternatywnie wytlóków i soków wynoszącą odpowiednio 43, 40 i 38%. Z kolei, w produktach z 40% stężeniem nośników odnotowano najniższą degradację fenolokwasów i flawonoli wynoszącą ok. 15 i 12%. Prawdopodobnie wysoka ich stabilność może wynikać z obecności związków polisacharydowych ściany komórkowej produktu, np. pektyny, czy niższą aktywnością wody [II.4.20], bądź skuteczniejszego procesu enkapsulacji w tych produktach [62]. W przypadku 3-*O*-arabinozydu cyjanidyny zawartego w proszku owocowym odnotowano jego większą ochronę przy 40% stężeniu nośników niż przy 30 i 50%. Przy zastosowaniu tego samego stężenia nośnika dla soku wykazano wyższą zawartość takich związków jak 3-*O*-robinobiozyd kwercetyny, 3-*O*-arabinozyd kwercetyny, 3-*O*-glukozyd kwercetyny oraz kwas protokatechowy. Może to świadczyć o uwolnieniu związków z bardziej spolimeryzowanych struktur [62,63]. Najlepsze rezultaty spośród zastosowanych dodatków polisacharydowych otrzymano dla prób z 30% udziałem nośnika. Dodatkowo otrzymane wartości wskazują na ok. 2-krotnie wyższą ochronę związków polifenolowych i aktywności przeciwutleniającej w stosunku do analizowanych proszków z owoców świdośliwy olcholistnej bez zastosowania nośników [**publikacja B3**].

Na podstawie uzyskanych wyników określono również wpływ metody suszenia na końcową zawartość analizowanych metabolitów wtórnych i wartość antyoksydacyjną (**rysunek 3, publikacja B4**). Wykazano, że metoda FD okazała się najskuteczniejszą metodą suszenia z zachowaniem wysokiej zawartości związków polifenolowych zarówno w przypadku uzyskanych proszków z owoców, jak i alternatywnie wytlóków i soków. Potencjał przeciwutleniający był ściśle skorelowany z oznaczonymi związkami bioaktywnymi, które nie uległy rozkładowi podczas łagodnych warunków suszenia FD. Z kolei przeprowadzone suszenie próżniowe w temp. 50°C dla otrzymania kapsułkowanego proszku z owoców, wpłynęło na zwiększenie ilości kwasu protokatechowego i kwasu kawowego oraz wzrost zawartości aglikonów kwercetyny, kwasu 3-*O*-kawoilochinowego, kwasu 4-*O*-kawoilochinowego, kwasu dikawoilochinowego oraz dimeru i tetrameru procyanidyny typu B po zwiększeniu temperatury suszenia do 60°C. Kontrolowane uwalnianie związków polifenolowych ze struktur spolimeryzowanych może przyczynić się do otrzymania produktu o pożądanej zawartości związków bioaktywnych. W przypadku wytlóków i soków wyższe temperatury suszenia wpływały na zwiększenie zawartości wolnych aglikonów kwercetyny i cyjanidyny oraz monomerów i oligomerów należących do grupy flawan-3-oli. Wyższa zawartość aglikonu cyjanidyny prawdopodobnie wynikała z inaktywacji oksydazy polifenolowej [61], natomiast aglikonu kwercetyny prawdopodobnie spowodowana deglikozylacją glikozydów flawonoli do aglikonów [64]. W badaniach wykazano, że najbardziej termolabilnymi związkami były antocyjany, ich zawartość uległa obniżeniu o 45% po zastosowaniu temp. 50°C w porównaniu z suszeniem sublimacyjnym. Stosowanie niższych temperatur suszenia ogranicza degradację związków bioaktywnych i aktywności przeciwutleniającej. Dlatego wybór metody suszenia pod względem wzrostu zawartości i ochrony analizowanych metabolitów wtórnych i ich wartości prozdrowotnych ma kluczowe znaczenie w przygotowaniu kapsułkowanych proszków z świdośliwy olcholistnej.

Realizacja etapu III pozwoliła na weryfikację hipotezy **H3** zakładającej, że poprawnie przeprowadzony proces enkapsulacji, poprzez dobór odpowiedniego stężenia i rodzaju substancji powlekających i metody suszenia, prowadzi do ochrony substancji biologicznie czynnych i ich właściwości prozdrowotnych w gotowym produkcie.

Etap 4. Dobór odpowiedniego stężenia i rodzaju dodatku do otrzymania pszennego i żytniego pieczywa o wysokiej biodostępności substancji biologicznie aktywnych i wartości prozdrowotnych podczas symulowanego trawienia żołądkowo-jelitowego w modelowym układzie *in vitro* oraz strawności składników odżywczych

Publikacja

- B5.** Lachowicz S., Świeca M., Pejcz E. (2021). Biological activity, phytochemical parameters, and potential bioaccessibility of wheat bread enriched with powder and microcapsules made from Saskatoon berry. *Food Chemistry*, 338, 128026; DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128026
- B6.** Lachowicz S., Świeca M., Pejcz E. (2020). Improvement of health-promoting functionality of rye bread by fortification with free and microencapsulated powders from *Amelanchier alnifolia* Nutt. *Antioxidants*, 9(7), 614; DOI: 10.3390/antiox9070614.

Dobór odmiany owoców, rodzaju i stężenia materiałów powlekających oraz określenie metody i parametrów suszenia pozwoliły na uzyskanie sproszkowanych i mikrokapsułkowanych dodatków funkcjonalnych celem otrzymania produktów charakteryzujących się wysoką wartością prozdrowotną. Przedstawione wyniki zamieszczone w **publikacji B5 i B6** dotyczyły opracowania wzbogaconych produktów zbożowych, tj. pieczywa pszennego i żytniego, w sproszkowane i mikrokapsułkowane dodatki charakteryzujące się wysoką zawartością związków bioaktywnych i właściwości prozdrowotnych. Szczególną uwagę zwrócono na wyniki analiz biodostępności związków polifenolowych i wartości prozdrowotnej przeprowadzonych w symulowanych warunkach trawienia żołądkowo-jelitowego oraz strawności składników odżywczych produktów o najkorzystniejszym ilościowo dodatku funkcjonalnym. Dostępna literatura naukowa w niewielkim stopniu porusza zagadnienia dotyczące wykorzystania proszku owocowego, a zwłaszcza mikrokapsułkowanego suszu, do wzbogacania pieczywa. Ponadto proszek z owoców świdoliwy olcholistnej nie był wcześniej stosowany jako element kształtujący jakość żywności funkcjonalnej. Dlatego też w etapie IV skupiłam się na opracowaniu nowych produktów funkcjonalnych na bazie zbóż, które mogą wykazywać prozdrowotne działanie w profilaktyce stresu oksydacyjnego i stanów zapalnych. W **publikacji B5** przedstawiono proces przygotowania pieczywa pszennego z dodatkiem zarówno proszków z owoców świdoliwy olcholistnej, jak i mikrokapsułek z powlekającymi nośnikami: maltodekstryną i inuliną (wraz ze związkami polifenolowymi mogącą wykazywać działanie prebiotyczne) w ilości od 1 do 6% celem wybrania optymalnej ilości dodatku. Badania wykonane w końcowych produktach wykazały szereg zmiennych kluczowych przy komponowaniu nowej żywności funkcjonalnej. Odnotowano, że rodzaj zastosowanego dodatku oraz jego ilość miała statystycznie istotny ($p < 0,05$) wpływ na zwiększenie zawartości substancji biologicznie czynnych. Analiza związków polifenolowych z użyciem techniki UPLC-PDA-ESI-QToF-MS/MS wykazała obecność w pieczywie pszennym 4 antocyjanów: 3-*O*-galaktozyd cyjanidyny ([M-H]⁻ przy *m/z* 449), 3-*O*-glukozyd cyjanidyny ([M-H]⁻ przy *m/z* 449), 3-*O*-arabinozyd cyjanidyny ([M-H]⁻ przy *m/z* 419), 3-*O*-ksylozyd cyjanidyny ([M-H]⁻ przy *m/z* 419) oraz 4 flawonoli: 3-*O*-galaktozyd kwercetyny ([M-H]⁻ przy *m/z* 463), 3-*O*-glukozyd kwercetyny ([M-H]⁻ przy *m/z* 463), 3-*O*-arabinobiozyd kwercetyny ([M-H]⁻ przy *m/z* 433), 3-*O*-(6''-acetylo)glukozyd kwercetyny ([M-H]⁻ przy *m/z* 505). Znaczące wzbogacenie pieczywa

pszennego zarówno w antocyjany jak i flawonole jest pożądane ze względu na ich właściwości prozdrowotne. Zawartość związków polifenolowych w pieczywie pszennym fortyfikowanym 6% dodatkiem suszu była 10,7 razy wyższa w porównaniu do pieczywa bez dodatku. Hayta i wsp. [65] wzbogacając pieczywo pszenne 5% udziałem proszku winogronowego uzyskali 2-krotny wzrost związków polifenolowych, a łączna wartość była nadal 3 krotnie niższa w porównaniu do dodatku proszku z owoców świdoliwy olcholistnej. Zastosowanie dodatku mikrokapsułkowanych owoców, niezależnie od materiału powlekającego, spowodowało wzrost zawartości substancji bioaktywnych o 13,8 razy względem próby kontrolnej. Dodatkowo użycie mikrokapsułek z maltodekstryną i inuliną ochroniło o 27 i 28% więcej związków polifenolowych przed degradacją niż susze bez wykorzystania nośnika. Jedynie w przypadku dodatku funkcjonalnego sporządzonego z mikrokapsułkowanego materiału stwierdzono zależność liniową pomiędzy zawartości związków fenolowych. Podobne spostrzeżenia dotyczące ochrony związków bioaktywnych przed degradacją uzyskano wzbogacając pieczywo pszenne w kapsułkowane ekstrakty z zielonej herbaty oceniając ogólną zawartość związków polifenolowych metodą Folina-Ciocalteu [66]. Natomiast Mogol i wsp. [67] wykazali działanie ochronne techniki kapsułkowania na termolabilną sylimarynę, czyli kompleks flawonolignanów, pochodnych flawonoidów zawierających układ zbliżony budową do lignanów, w ostropeście plamistym podczas wypieku pieczywa pszennego. Biorąc pod uwagę powyższe informacje, wykonywane badania wskazują słuszność wykorzystywania mikrokapsułkowanych dodatków dla ochrony i podniesienia zawartości związków polifenolowych do fortyfikacji pieczywa pszennego. Dzięki zastosowaniu techniki kapsułkowania zachowano 2-krotnie wyższą ilość związków polifenolowych w porównaniu z zastosowaniem suszy bez nośnika, co potwierdziło zasadność tej metody przy fortyfikacji pieczywa. Kluczową analizą dla lepszej oceny skuteczności, efektywności i rzeczywistej wartości wzbogacania pieczywa pszennego w susze z nośnikiem i bez nośnika była ocena frakcji potencjalnie biodostępnej w symulowanym układzie trawiennym w warunkach *in vitro*. Badania przeprowadzono na pieczywie z 3% dodatkiem ww. suszy, ponieważ przeprowadzone analizy wykazały najkorzystniejsze działanie ochronne i zachowanie parametrów jakościowych pieczywa (opis poniżej), natomiast wyższe stężenie nie przyniosło zamierzonych rezultatów. Stwierdzono, że trawienie *in vitro* skutecznie uwalniało związki bioaktywne z matrycy wzbogaconego pieczywa pszennego. Potencjalna biodostępność *in vitro* fortyfikowanego pieczywa pszennego, niezależnie od rodzaju dodatku, była ok. 1,4 razy wyższa niż w pieczywie niewzbogacanym. W przypadku fortyfikacji zwykłego pieczywa w proszki powlekane nośnikami inuliną i maltodekstryną wykazano dobrą biodostępność *in vitro* dla kwasów fenolowych, antocyjanów i flawan-3-oli w przeciwieństwie do wykorzystanego suszu bez nośników. Prawdopodobnie zastosowane nośniki przyczyniły się do skutecznego uwalniania powyższych grup związków w symulowanym trawieniu żołądkowo-jelitowym *in vitro* jednocześnie zapobiegając ich biotransformacji [19]. Jednakże, niezależnie od analizowanego dodatku, w przypadku frakcji flawonoli odnotowano niską biodostępność *in vitro*, co prawdopodobnie może być spowodowane tworzeniem się nierozpuszczalnych kompleksów badanych związków ze składnikami matrycy pieczywa podczas trawienia [19,68].

Poza przeprowadzeniem szczegółowej identyfikacji związków polifenolowych oraz określeniem ich biodostępności *in vitro* badano również aktywność prozdrowotną tj. aktywność przeciwutleniającą metodami FRAP, ABTS i DPPH, aktywność przeciwzapalną jako zdolność do hamowania aktywności lipooksygenazy (LOX) i cyklooksygenazy 1 i 2 (COX-1 i COX-2) zarówno w ekstraktach chemicznych (dla wszystkich dodatków) jak i w frakcji potencjalnie biodostępnej *in vitro* (dla 3% dodatku). Pojemność antyoksydacyjna fortyfikowanego pieczywa pszennego, niezależnie od rodzaju dodatku, była 2-krotnie wyższa niż pieczywa bez dodatku. Związane jest to z wykorzystaniem dodatku o wyższej zawartości związków wykazujących silne

działanie przeciwutleniające. Efektywniejszym fortyfikatem był susz dodatkowo zabezpieczony inuliną i maltodekstryną uzyskując wyższą wartość związków zdolnych do wymiatania wolnych rodników ABTS^{•+} i DPPH[•] oraz redukcji Fe³⁺ do Fe²⁺ ok. 30%. Wyższa aktywność przeciwutleniająca w produktach wzbogacanych dodatkami kapsułkowanymi można przypisać dodatkowej ochronie termolabilnych związków biologicznie aktywnych podczas wypieku pieczywa [24,69]. Na podstawie powyższych wyników oraz dostępnych danych wskazano na silną korelację potencjału przeciwutleniającego ze związkami bioaktywnymi zasadne jest testowanie różnych fortyfikatów dla podniesienia wartości prozdrowotnej pieczywa pszenne i wykorzystywania w prewencji wybranych chorób cywilizacyjnych. Analiza frakcji potencjalnie biodostępnej *in vitro* wykazała, że niezależnie od zastosowanej metody aktywność przeciwutleniająca była ok. 1,5-krotnie wyższa w przypadku suszy z owoców świdosiwy olcholistnej odmiany 'Smoky' dodatkowo zabezpieczonych substancjami powlekającymi tj. inuliną i maltodekstryną, niż dla produktu z dodatkiem suszy bez nośników. Zatem, zastosowanie nośników w procesie enkapsulacji prawdopodobnie wpłynęło na zahamowanie powstawania kompleksów nieulegających trawieniu oraz mogło ułatwić dyfuzję substancji biologicznie czynnych wykazujących aktywność przeciwutleniającą przez błonę półprzepuszczalną [19].

Obok aktywności przeciwutleniającej istotnym czynnikiem była ocena aktywności przeciwzapalnej w warunkach *in vitro*. Zastosowane dodatki funkcjonalne wykazały wysoką zdolność do hamowania aktywności LOX. Przeprowadzone symulowane trawienie żołądkowo-jelitowe wskazało wysoką potencjalną biodostępność *in vitro* pieczywa wzbogacanego. Symulowane trawienie *in vitro* zwiększa zdolność do inhibicji aktywności LOX. Inaktywowanie metabolizmu kwasu arachidonowego jest kluczowe w szlaku lipooksygenazy, gdyż prowadzi do inhibicji nadmiaru reaktywnych form tlenu, a w konsekwencji do hamowania tworzenia się stanów zapalnych w przewodzie pokarmowym, które mogą wpłynąć na powstawanie zmian nowotworowych [70]. Zatem, wyniki przeprowadzonych badań dowiodły skuteczność fortyfikacji pieczywa pszenne w susze owocowe bez nośników i susze z inuliną. Trawienie w układzie *in vitro* prawdopodobnie efektywnie ekstrahowało związki działające hamująco wobec LOX, a tym samym produkty te mogą zapobiegać powstawaniu nadmiaru reaktywnych form tlenu podczas trawienia. Dodatkowo wyniki badań dowiodły, że pieczywo pszenne wzbogacane w susze z owoców świdosiwy olcholistnej z i bez nośnika, wykazało również potencjał do ograniczenia aktywności COX-1 i COX-2. Jednak skuteczniejszymi inhibitorami były zastosowane dodatki na bazie polisacharydów. Po przeprowadzeniu trawienia w układzie *in vitro* stwierdzono, że pieczywo pszenne bez dodatku i z suszem bez nośnika inaktywowało aktywność COX-1, podczas gdy wyłącznie pieczywo z kapsułkowanymi dodatkami hamowało resztkową aktywność tego enzymu. Działanie przeciwzapalne zgodnie z dostępną wiedzą [70] przypisuje się zawartości związków bioaktywnych, w tym związków polifenolowych. Otrzymane wyniki wskazują na silną dodatnią korelację związków polifenolowych z działaniem przeciwzapalnym wobec COX-1 ($R^2=0,937$) i COX-2 ($R^2=0,933$). Wyniki potwierdziły następującą zależność – im wyższa ochrona związków bioaktywnych, tym wyższa aktywność przeciwzapalna badanego produktu. Zatem, wykorzystanie dodatków kapsułkowanych stanowi lepszą alternatywę fortyfikacji pieczywa pszenne niż zastosowanie zwykłych suszy, wpływając jednocześnie na aktywność biologiczną pieczywa.

Podczas powyższych badań oceniono również wpływ fortyfikacji na dostępność głównych składników odżywczych podczas spożycia pieczywa pszenne (skrobi i białka). Strawność skrobi dla produktów wzbogacanych w kapsułkowane susze owocowe była nieznacznie niższa do pieczywa bez dodatków. Z kolei, wykorzystanie do wzbogacania

pieczywa suszy bez nośników może niekorzystnie wpłynąć na strawność skrobi według oceny przeprowadzonej w układzie *in vitro*, co może być związane z wysokim potencjałem hamowania aktywności α -amylazy i α -glukozydazy i/lub lipazy trzustkowej [71]. Warto wspomnieć, że spożycie produktów zbożowych zasobnych w garbniki, fenole, kwasy fitynowe może hamować hydrolizę skrobi do cukrów prostych wpływając jednocześnie na ograniczenie strawności skrobi [71]. W przypadku oceny strawności białek najefektywniejsze okazały się dodatki powlekanie inuliną gdyż nieznaczny sposób obniżały ich strawność. Natomiast dodatki mikrokapsułkowane maltodekstryną i zwykle susze obniżyły strawność białek o 10% co może być związane z tworzącymi się kompleksami białkowo-polifenolowymi [26]. Tego typu kompleksy mogą jednocześnie wpływać na obniżenie strawności skrobi, a związki fenolowe mogą również inhibować aktywność proteaz trawiennych [72].

Ostatnimi wyróżnikami, które oceniono w fortyfikowanych produktach pszennych, a które jednocześnie determinowały wybór optymalnej ilości dodatku, były parametry barwy i wstępna ocena akceptowalności konsumenckiej. Odnotowano, że im wyższy dodatek suszu bez nośnika, tym wartość parametru L^* , a^* i b^* była niższa, czyli pieczywo ciemniało oraz zwiększało udział barwy czerwonej, determinowanej głównie przez występujące antocyjany. Zastosowanie dodatków kapsułkowanych umożliwiło zmniejszenie intensywności zabarwienia fortyfikatu, co pozwoliło na uzyskanie produktu zbliżonego do naturalnego pieczywa. Oznaczone parametry barwy wskazują, że dodatki tj. 3% dla zwykłego suszu oraz 3 i 4% dla mikrokapsułkowanego proszku z powodzeniem można wykorzystać dla poprawienia wartości prozdrowotnej pieczywa przy jednoczesnym uwzględnieniu preferencji konsumenckich. Badania wstępnej akceptowalności konsumenckiej fortyfikowanego pieczywa pszennego w susze owocowe, niezależnie od formy dodatku, wykazały że dodatek suszu bez nośnika w ilości 4, 5 i 6% oraz mikrokapsułkowanego suszu w ilości 5 i 6% wpłynęły na pogorszenie wyglądu, porowatości, barwy, smaku i zapachu w porównaniu do pieczywa bez dodatku. Pod względem ogólnej akceptowalności produkty te zostały również najniżej ocenione. Pogorszenie walorów smakowych mogło wynikać z obecności związków polifenolowych, które mogą przyczyniać się do pojawienia się cierpkiego i gorzkiego posmaku. Natomiast zastosowanie nośników w dodatkach funkcjonalnych zapobiegało pogorszeniu właściwości sensorycznych wynikających z obecności związków polifenolowych [24]. Analiza konsumencka pieczywa z 3% dodatkiem była zbliżona do pieczywa kontrolnego.

W **publikacji B6** przedstawiono proces przygotowania pieczywa żytniego również z dodatkiem proszków z owoców świdoliwy olcholistnej odmiany 'Smoky' oraz mikrokapsułek z nośnikami: maltodekstryna i inulina w ilości od 1 do 6% celem wybrania optymalnej ilości dodatku. Badania wykonane w otrzymanych produktach wykazały szereg czynników warunkujących projektowanie żywności funkcjonalnej na bazie pieczywa żytniego. Jednakże, kluczowe znaczenie w niniejszych badaniach miała ocena biodostępności związków prozdrowotnych podczas symulowanego trawienia w układzie *in vitro* celem wskazania rzeczywistej wartości i efektywności fortyfikacji produktu. Ze względu na nieliczne doniesienia dotyczące podnoszenia wartości prozdrowotnej pieczywa żytniego, tym bardziej brak informacji dotyczących wykorzystania dodatków mikrokapsułkowanych, otrzymane wyniki wnoszą nowe rozwiązania w kwestii poszerzenia asortymentu pieczywa stanowiącego element codziennej diety o wartości przeciwutleniające i przeciwzapalne. Odnotowano, że podobnie jak w pieczywie pszenным, rodzaj zastosowanego dodatku oraz jego ilość miała statystycznie istotny ($p < 0,05$) wpływ na wzrost zawartości substancji biologicznie czynnych. Analizy, w których wykorzystano technikę UPLC-PDA-ESI-QToF-MS/MS, wskazały na obecność kwasów fenolowych (8 związków) i flawonoidów (19 związków – antocyjanów (4), flawonoli (10) oraz flawan-3-oli (5),

w tym fortyfikację pieczywa w 4 nowe związki tj. 3-*O*-galaktozyd cyjanidyny ([M-H]⁻ przy *m/z* 449), 3-*O*-glukozyd cyjanidyny ([M-H]⁻ przy *m/z* 449), 3-*O*-arabinozyd cyjanidyny ([M-H]⁻ przy *m/z* 419), 3-*O*-ksylozyd cyjanidyny ([M-H]⁻ przy *m/z* 419). Zawartość wspomnianych metabolitów wtórnych roślin w otrzymanych produktach była determinowana użytym dodatkiem. Ilość tych związków w pieczywie bez dodatków kształtowała się na poziomie 127 mg/100 g suchej masy, natomiast dodatek suszu bez nośników wpłynął na 3-krotny wzrost związków przy 1% dodatku do 13-krotnego przy 6% dodatku. Podobne zależności potwierdzono we wcześniejszych badaniach, które zostały przedstawione w **publikacji B6**. Wykorzystanie suszu z nośnikami skutecznie zabezpieczyło od 10 do 12% więcej analizowanych związków w porównaniu do suszy niepowlekanych. Badania przeprowadzone w etapie IV wskazują na skuteczne ochronne działanie zastosowanych substancji powlekających przed degradacją substancji biologicznie czynnych podczas działania wysokiej temperatury wypieku przyczyniając się do znaczącego podniesienia wartości prozdrowotnej pieczywa. W szczególności nośniki te chroniły antocyjany oraz fenolokwasy, które są wyjątkowo nietrwałe podczas stosowania wysokich temperatur [**Publikacja B3**], których zawartość była o 11 i 8% (w przypadku maltodekstryny) oraz o 8 i 15% (w przypadku inuliny) wyższa niż w produktach zawierających susz bez nośników. W celu określenia rzeczywistej wartości wzbogacania pieczywa wykorzystano produkty z 3% dodatkiem, które uzyskały najwyższą wstępną ocenę konsumencką i poddano je analizie biodostępności w symulowanym układzie pokarmowym *in vitro*. Uzyskane wyniki wskazały statystycznie istotnie ($p < 0,05$) wyższe zawartości związków polifenolowych po symulowanym trawieniu *in vitro*, gdzie w przypadku pieczywa kontrolnego odnotowano 1,3 krotnie wyższą ich zawartość, zaś w przypadku pieczywa z dodatkiem suszu bez substancji powlekających 1,4 krotnie większą ich ilość w porównaniu do wyników otrzymanych dla próbek przed trawieniem. Natomiast 2-krotnie większy wzrost odnotowano dla pieczywa z dodatkiem mikro kapsułkowanego suszu, niezależnie od zastosowanego nośnika. Zastosowanie samego suszu obniżyło zawartość kwasów fenolowych, flawonoli i flawan-3-oli, w przypadku użycia inuliny odnotowano straty flawonoli związków próbkach po symulowanym trawieniu *in vitro*, co może wskazywać na interakcje tych związków z matrycą pieczywa, bądź enzymami trawiennymi [73]. Ponadto najwyższy względny wskaźnik biodostępności *in vitro* oszacowano dla produktów z dodatkiem suszu z maltodekstryną, następnie z inuliną, które przyczyniły się do większego uwalniania związków polifenolowych podczas symulowanego trawienia *in vitro*. Wśród badanych grup związków, antocyjany wskazywały najwyższą potencjalną biodostępność wynoszącą odpowiednio 6,1 i 6,4 a następnie flawonole > fenolokwasy > flawan-3-ole. Wyniki te można wytłumaczyć skuteczniejszą ochroną substancji biologicznie czynnych podczas wypieku. Biorąc powyższe pod uwagę, wykorzystanie w szczególności kapsułkowanego dodatku funkcjonalnego z owoców świdoliwy olcholistnej odmiany 'Smoky' przyczyniło się do wzbogacenia pieczywa żytniego w związki polifenolowe o wysokiej biodostępności, co świadczy o skuteczności fortyfikacji pieczywa żytniego. Może to wynikać z ochronnego działania materiałów powlekających na związki polifenolowe przed tworzeniem się interakcji ze składnikami odżywczymi pieczywa, wpływając na ich uwalnianie w przewodzie pokarmowym [19].

Fortyfikowane pieczywo żytnie poddano również badaniom aktywności przeciwutleniającej, za pomocą testów ABTS, DPPH oraz FRAP, aktywności przeciwzapalnej, jak hamowanie aktywności lipooksygenazy (LOX) i cyklooksygenazy 1 i 2 (COX-1 i COX-2) w ekstraktach chemicznych i we frakcji potencjalnie biodostępnej *in vitro*. Odnotowano, że wartości aktywności przeciwutleniającej, niezależnie od zastosowanego testu, w istotny sposób ($p < 0,05$) zależała od rodzaju i ilości wykorzystanego dodatku do fortyfikacji pieczywa żytniego. Wzbogacanie pieczywa skutkowało uzyskaniem wyższego potencjału przeciwutleniającego o ok. 6%

dla dodatku w ilości 1% do ok. 45% dla dodatku w ilości 6% w przypadku zastosowania proszku bez nośników powlekających. Na uzyskanie wyższych wartości oprócz zastosowania dodatku funkcjonalnego mógł mieć także wpływ rodzaju fermentacji ciasta oraz proces wypieku i zachodzące w nim reakcje Maillarda [74, 75]. Natomiast dodatki zabezpieczone przez inulinę i maltodekstrynę wpłynęły na otrzymanie wyższego o ok. 10% potencjału przeciwutleniającego w odniesieniu do produktów z dodatkiem funkcjonalnym bez nośnika. Zastosowanie różnych nośników nie wpłynęło istotnie ($p < 0,05$) na oznaczony potencjał. Wskazano również, że wyższa aktywność przeciwrodnikowa wobec rodnika ABTS^{•+} i DPPH[•] oraz redukująca jony żelaza była silnie skorelowana z zawartością związków polifenolowych wskazując na wartość korelacji odpowiednio $R^2=0,928$, $R^2=0,929$ oraz $R^2=0,892$. Podobne zależności uzyskano w innych badaniach zaprezentowanych w **publikacji B6**. Wykorzystanie nośników skutecznie ograniczyło destrukcję związków polifenolowych wykazujących silną aktywność antyoksydacyjną podczas wypieku, determinując wyższą jej wartość. Ponadto, symulowane trawienie *in vitro* wpłynęło na skuteczniejsze uwalnianie związków polifenolowych z matrycy pieczywa po zastosowaniu dodatków mikrokapsułkowanych, zwłaszcza inuliny, prowadząc jednocześnie do wzrostu aktywności przeciwutleniającej. Powyższy efekt mógł być determinowany działaniem ochronnym nośników na tworzenie się kompleksów z składnikami pieczywa. Wyniki te wskazały na wyższą potencjalną biodostępność *in vitro* tych produktów, w porównaniu do kontrolnego pieczywa żytniego. Prawdopodobnie na skutek występowania interakcji składników bioaktywnych z matrycą kontrolnego pieczywa żytniego ograniczając uwalnianie tych związków, wpływając jednocześnie na niższą aktywność antyoksydacyjną.

Badane produkty wykazywały wyższą efektywność wobec hamowania aktywności LOX i COX-2 a niżeli COX-1, zarówno w ekstraktach chemicznych jak i frakcji potencjalnie biodostępnej. W przypadku aktywności LOX rodzaj dodatku nie miał istotnego wpływu ($p < 0,05$), w porównaniu do pieczywa bez dodatku, wszystkie produkty wzbogacone wskazywały na wysoką zdolność do hamowania aktywności LOX. Jednak najwyższą skuteczność odnotowano po symulowanym trawieniu żołądkowo-jelitowym *in vitro*. Może to wynikać z faktu, że trawienie wpływa na uwalnianie i rozkład związków wykazujących wysoką zdolność do hamowania aktywności enzymów odpowiedzialnych za indukcję stanów zapalnych [73,76]. Ponadto zastosowane dodatki owocowe mogły skutecznie ograniczać wytwarzanie reaktywnych form tlenu na szlakach lipooksygenazy [77]. Odnosząc się do pieczywa pszennego hamowanie aktywności COX-1 wykazał jedynie dodatek bez nośnika, zwłaszcza po trawieniu *in vitro*, co może świadczyć o dużych różnicach pomiędzy rodzajem zastosowanego zboża do produkcji pieczywa oraz sposobem prowadzenia fermentacji. Z kolei wzbogacenie pieczywa żytniego w mikrokapsułkowane dodatki skutkowało 2-krotnie wyższym potencjałem przeciwzapalnym wobec hamowania aktywności COX-2 niezależnie od zastosowanego nośnika. Wpływ na to może mieć wyższa zawartość uwolnionych związków polifenolowych w frakcji potencjalnie biodostępnej *in vitro* [69]. Poza tym, ograniczenie działania COX-2 jest istotniejsze ze względu na jego aktywność w reakcjach zapalnych w organizmie [78].

Otrzymane produkty poddano również ocenie względnej strawności wobec skrobi i białek. Odnotowano nieznaczne obniżenie strawności białek oraz 20% obniżenie strawności skrobi w przypadku mikrokapsułkowych dodatków, natomiast dodatek bez nośników wpłynął na 30% obniżenie strawności *in vitro* zarówno białek, jak i skrobi. Obniżenie strawności białek i skrobi w materiale badawczym może wynikać głównie z interakcji matrycy produktu ze związkami bioaktywnymi tworząc kompleksy, które mogą również hamować aktywność enzymów trawiennych w przewodzie pokarmowym [72,74]. Natomiast zastosowanie nośników

do ochrony matrycy polifenolowej mogło w większym stopniu hamować powstawanie interakcji tych związków ze składnikami pieczywa żytniego.

Wyróżnikiem determinującym wybór produktu poddanego symulowanemu trawieniu *in vitro* była wstępna ocena konsumencka, która wskazała, że pieczywo z suszem z owoców świdoli olcholistnej odmiany 'Smoky' bez nośnika w ilości 3% oraz dodatkiem mikrokapsułkowanym w ilości 3 i 4% były w najwyższym stopniu akceptowane pod względem smaku, aromatu, wyglądu, porowatości, elastyczności miękiszu. Wskazano wręcz, że produkty te były bardziej pożądane niż produkt kontrolny (pieczywo żytnie bez dodatków). Odnotowano również, że dodatki te w ww. ilościach łagodziły intensywność kwaśnego smaku pieczywa żytniego na zakwasie wpływając jednocześnie na poprawę smakowości produktu. Wyższa ilość dodatku niż 3% wpływała na pojawienie się gorzkich posmaków, które prawdopodobnie wynikały z obecności polimerów procyjanidyn [24]. Natomiast analizowane parametry barwy wskazały, że dodatki funkcjonalne głównie powlekanym materiałem nośnikowym w ilości 3 i 4% nie wpłynęły na istotne zmiany w produkcie końcowym. Zastosowanie dodatku powyżej 5% skutkowało istotnymi ($p < 0,05$) niekorzystnymi zmianami barwy, szczególnie wobec wskaźnika a^* i L^* . Wyniki jednoznacznie wskazały na skuteczność wykorzystania mikrokapsułkowanych dodatków funkcjonalnych z owoców świdoli olcholistnej do wzbogacania pieczywa żytniego.

Biorąc pod uwagę powyższe wyniki, można stwierdzić, że dobór wyselekcjonowanego rodzaju dodatku funkcjonalnego wpływał odpowiednio na profil i zawartość związków polifenolowych oraz wartość prozdrowotną nie tylko w ekstraktach chemicznych, ale i we frakcji potencjalnie biodostępnej *in vitro*. Badania dostarczyły również kluczowych informacji na temat zmian zachodzących podczas symulowanego trawienia *in vitro* wskazując na rzeczywistą skuteczność fortyfikacji pieczywa żytniego.

Uzyskane wyniki w IV etapie badań wchodzących w skład głównego osiągnięcia naukowego wskazały na zasadność fortyfikacji zarówno pieczywa pszennego i żytniego szczególnie dodatkami mikrokapsułkowymi kształtując wartość prozdrowotną determinowaną zawartością związków polifenolowych. W badaniach potwierdzono wysoką potencjalną biodostępność *in vitro* podczas trawienia produktów z powlekanymi dodatkami suszy owocowych, wykazując tym samym pozytywne oddziaływanie na organizm człowieka, głównie w aspekcie właściwości przeciwutleniających i przeciwzapalnych. Dieta zasobna w tego typu naturalne związki i fortyfikowane nimi produkty może wspomagać naturalne mechanizmy obronne i utrzymywać prawidłową homeostazę redoks niwelując tym samym tworzące się nadmierne ilości reaktywnych form tlenu, które nieusuwane z organizmu mogą wywoływać stres oksydacyjny oraz wpływać na stany zapalne przewodu pokarmowego. Otrzymane wyniki potwierdziły słuszność zarówno **hipotezy H4**, jak i **hipotezy H5**. Pozytywnie zweryfikowana **hipoteza H4** zakładała, że stężenie i rodzaj dodatku wzbogacającego determinuje stabilność i zawartość związków biologicznie aktywnych i ich wartości prozdrowotne w pieczywie pszenным i żytnim. Natomiast **hipoteza H5** wskazywała, że rodzaj fortyfikatu determinuje biodostępność składników biologicznie aktywnych i ich właściwości prozdrowotne podczas trawienia żołądkowo-jelitowego w modelowym układzie *in vitro*.

5. PODSUMOWANIE

Wyniki przedstawione w głównym osiągnięciu stanowiącym cykl 6 publikacji pogłębiają obecny stan wiedzy w zakresie omawianego zagadnienia, a w niektórych obszarach dostarczyły zupełnie

nowych informacji na temat kształtowania właściwości prozdrowotnych pieczywa pszenne i żytniego wzbogaconego związkami bioaktywnymi owoców świdoliwy olcholistnej w aspekcie ich stabilności i biodostępności w modelowym układzie *in vitro* jako strategii w prewencji stresu oksydacyjnego i stanów zapalnych. Przedstawione wyniki wykazują dużą wartość zarówno w obszarze nauk podstawowych, jak i stosowanych, szczególnie w dyscyplinie Nauk o Zdrowiu. Podaż w codziennej diecie produktów wykazujących działanie silnie przeciwutleniające i przeciwzapalne może wspomagać wiele mechanizmów obronnych organizmu w odpowiedzi na pojawiające się w nim stany patologiczne (w tym zapalne), do powstawania których przyczyniają się m.in. nadmierne ilości reaktywnych form tlenu. Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Zawartość składników bioaktywnych i wartość prozdrowotna była istotnie zależna od genotypu owoców. Najcenniejsze pod względem związków prozdrowotnych oraz właściwości przeciw cukrzycowych i przeciwotyłociowych, przeciwutleniających, oraz przeciwbakteryjnych wobec *Enterococcus hirae* były odmiany 'Smoky' i 'Thiessen'.
2. Alternatywnym źródłem analizowanych związków o działaniu prozdrowotnym mogą być wytloki owoców świdoliwy olcholistnej, których integralnym elementem są skórka i nasiona. Części te wykazywały wysoki potencjał przeciwutleniający, były również skutecznymi inhibitorami α -glukozydazy, α -amylazy i lipazy trzustkowej. Zagospodarowanie produktów ubocznych przemysłu może mieć z powodów ekonomicznych zasadnicze znaczenie w rozwoju nowych produktów spożywczych wykazujących istotne właściwości prozdrowotne. Uwzględniając nawyki konsumpcyjne polskiego społeczeństwa, rozpowszechnienie wspomnianych produktów może mieć dużą wagę dla zdrowia publicznego.
3. Suszenie mikrofalowo-próżniowe o mocy początkowej 480 W z redukcją do mocy 120 W może być alternatywą do liofilizacji, które pod względem zawartości związków spolimeryzowanych i flawonoli w końcowych produktach były porównywalne. Technika ta dodatkowo 20-krotnie skróciła czas suszenia względem liofilizacji, co jest ważnym aspektem ekonomicznym. Jakość suszonych produktów z owoców świdoliwy olcholistnej, szczególnie pod względem zawartości związków polifenolowych, można kształtować wykorzystując odpowiednie metody i parametry procesu suszenia.
4. Najistotniejszy wpływ na końcowy skład fitochemiczny i wartość prozdrowotną kapsułkowanych owoców świdoliwy olcholistnej miały stężenie i rodzaj zastosowanych nośników, a następnie metoda suszenia. Jednakże wybór rodzaju nośnika powinien być dobrany indywidualnie, w zależności od zamierzonych efektów ich działania. Maltodekstryna okazała się najlepsza pod względem ochrony związków zawartych w owocach, szczególnie antocyjanów. W przypadku zabezpieczenia związków występujących w wytlókach, korzystniej jest zastosować inulinę. Wykorzystanie suszenia sublimacyjnego do otrzymywania mikrokapsułkowanych suszy owocowych dało najlepsze efekty zachowania substancji bioaktywnych. Tak przygotowane kapsułki z powodzeniem można wykorzystać do otrzymania nowej żywności funkcjonalnej o ukierunkowanych właściwościach prozdrowotnych.
5. Zawartość związków polifenolowych we wzbogaconym pieczywie pszenne i żytnie w istotny sposób zależała od rodzaju zastosowanego dodatku – najskuteczniejsze okazały się dodatki mikrokapsułkowane maltodekstryną i inuliną. Wpłynęły one na znaczącą ochronę i stabilność analizowanych metabolitów wtórnych i ich wartości biologicznej w otrzymanych produktach. Pieczywo pszenne i żytnie z 3% dodatkiem suszy było w pełni akceptowalne pod względem walorów sensorycznych oraz barwy. Z kolei przeprowadzenie symulowanego trawienia *in vitro* wskazało, że antocyjany, flawonole i kwasy fenolowe były wysoce

biodostępne w pieczywie pszenным szczególnie wzbogaconym mikrokapsułkowanymi proszkami. Natomiast w pieczywie żytnim zastosowanie mikrokapsułkowanych dodatków przyczyniło się do najlepszej biodostępności antocyjanów, flawonoli, flawan-3-oli i fenolokwasów. Fortyfikacja pieczywa pszennego zwłaszcza w dodatki zawierające nośnik znacząco wpłynęła na zdolność do hamowania aktywności LOX, oraz COX-1 i -2. Wzbogacenie pieczywa żytniego prowadziło do zwiększenia zdolności hamowania aktywności COX-2. Dodatkowo wykorzystany dodatek wpłynął na nieznaczne obniżenie strawności skrobi i białek, co mogło wynikać z jego wysokiej zdolności do hamowania aktywności enzymów trawiennych. Reasumując, zastosowanie proszków otrzymanych z owoców świdoliwy olcholistej, szczególnie tych poddanych procesowi powlekania, znacząco wpłynęło na poprawę jakości i wartości prozdrowotnej gotowych produktów, szczególnie pod kątem właściwości przeciwutleniających i przeciwzapalnych.

6. PIŚMIENNICTWO

1. Matos, J., Cardoso, C., Bandarra, N. M. [et al.]. Microalgae as healthy ingredients for functional food: a review. *Food and Function*, 2017, 8(8), 2672-2685.
2. World Health Statistics 2018. Monitoring Health for the SDGs. Sustainable Development Goal. World Health Organization, Geneva: World Health Organization; 2018.
3. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO; Główny Urząd Statystyczny (2018) Rocznik Statystyczny Przechospolitej Polskiej. Warszawa.
4. Christensen, K.Y., Naidu, A., Parent, M.É., [et al.] The risk of lung cancer related to dietary intake of flavonoids. *Nutrition Cancer*, 2012; 64(7), 964-974.
5. Gawlik-Dziki, U. Fenolokwasy jako bioaktywne składniki żywności. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.*, 2004; 4(41)S, 29-40.
6. Nash, V., Ranadheera, C.S., Georgousopoulou, E.N., [et al.]. The effects of grape and red wine polyphenols on gut microbiota—A systematic review. *Food Research International*, 2018, 113, 277-287.
7. Christenson, J., Whitby, S.J., Mellor, D., [et al.]. The effects of resveratrol supplementation in overweight and obese humans: a systematic review of randomized trials. *Metabolic Syndrome and Related Disorders*, 2016, 14(7), 323-333.
8. Forester, S.C., Waterhouse, A.L. Metabolites are key to understanding health effects of wine polyphenolics. *The Journal of Nutrition*, 2009, 139(9), 1824S-1831S.
9. Siro, I., Kápolna, E., Kápolna, B. [et al.]. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance—A review. *Appetite*, 2008, 51(3), 456-467.
10. Caroch, M., Ferreira, I.C. A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: natural and synthetic compounds, screening and analysis methodologies and future perspectives. *Food and Chemical Toxicology*, 2013, 51, 15-25.
11. Hamazu, Y., Inno, T., Kume, C., [et al.]. Antioxidant and antiulcerative properties of phenolics from Chinese quince, quince, and apple fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2006, 54(3), 765-772.;
12. Rimm, E.B., Ascherio, A., Giovannucci, E., [et al.]. Vegetable, fruit, and cereal fiber intake and risk of coronary heart disease among men. *Jama*, 1996, 275(6), 447-451.
13. Ahmed, R.G. Developmental thyroid diseases and cholinergic imbalance. *International Journal of Research Studies in Zoology*, 2017, 3(4), 70-72.
14. Zhao, R., Khafipour, E., Sephiri, S., [et al.]. Impact of Saskatoon berry powder on insulin resistance and relationship with intestinal microbiota in high fat-high sucrose diet-induced obese mice. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2019, 69, 130-138.
15. Jurikova, T., Sochor, J., Rop, O., [et al.]. Evaluation of polyphenolic profile and nutritional value of non-traditional fruit species in the Czech Republic—A comparative study. *Molecules*, 2012, 17(8), 8968-8981
16. Ioannou, I., Hafsa, I., Hamdi, S., [et al.]. Review of the effects of food processing and formulation on flavonol and anthocyanin behaviour. *Journal of Food Engineering*, 2012, 111(2), 208-217.
17. Chávez-Santoscoy, R.A., Gutiérrez-Urbe, J.A., Serna-Saldivar, S.O., [et al.]. Production of maize tortillas and cookies from nixtamalized flour enriched with anthocyanins, flavonoids and saponins extracted from black bean (*Phaseolus vulgaris*) seed coats. *Food Chemistry*, 2016, 192, 90-97.
18. Yao, M., Xie, J., Du, H., [et al.]. Progress in microencapsulation of probiotics: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2020, 19(2), 857-874.

19. Vitaglione, P., Barone Lumaga, R., Ferracane, R., [et al.]. Curcumin bioavailability from enriched bread: the effect of microencapsulated ingredients. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(13), 3357-3366.
20. Robin, A.L., Sankhla, D. European legislative framework controlling the use of food additives. *Essential Guide to Food Additives*, 2013, 44.
21. Jarosz, M., Rychlik, E., Stoś, K., [et al.]. Normy żywienia dla populacji Polski. Instytut Żywności i Żywienia, 2017.
22. McKeivith, B. Nutritional aspects of cereals. *Nutrition Bulletin*, 2004, 29(2), 111-142.
23. Lorusso, A., Verni, M., Montemurro, M., [et al.]. Use of fermented quinoa flour for pasta making and evaluation of the technological and nutritional features. *LWT*, 2017, 78, 215-221.
24. Ezhilarasi, P.N., Indrani, D., Jena, B.S., [et al.]. Freeze drying technique for microencapsulation of Garcinia fruit extract and its effect on bread quality. *Journal of Food Engineering*, 2013, 117(4), 513-520.
25. Świeca, M., Gawlik-Dziki, U., Dziki, D., [et al.]. Wheat bread enriched with green coffee-*In vitro* bioaccessibility and bioavailability of phenolics and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 2017, 221, 1451-1457.
26. Świeca, M., Gawlik-Dziki, U., Dziki, D., [et al.]. The influence of protein-flavonoid interactions on protein digestibility *in vitro* and the antioxidant quality of breads enriched with onion skin. *Food Chemistry*, 2013, 141(1), 451-458.
27. Fernández-García, E., Carvajal-Lérida, I., Pérez-Gálvez, A. *In vitro* bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency. *Nutrition Research*, 2009, 29(11), 751-760.
28. Oomen, A.G., Hack, A., Minekus, M., [et al.]. Comparison of five *in vitro* digestion models to study the bioaccessibility of soil contaminants. *Environmental Science and Technology*, 2002, 36(15), 3326-3334.
29. Cardona, F., Andrés-Lacueva, C., Tulipani, S., [et al.]. Benefits of polyphenols on gut microbiota and implications in human health. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 2013, 24(8), 1415-1422.
30. D'Orazio, G., Di Gennaro, P., Boccarusso, M., [et al.]. Microencapsulation of new probiotic formulations for gastrointestinal delivery: *in vitro* study to assess viability and biological properties. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2015, 99(22), 9779-9789.
31. Li, P.H., Lu, W.C., Chan, Y.J., [et al.]. Feasibility of using seaweed (*Gracilaria coronopifolia*) synbiotic as a bioactive material for intestinal health. *Foods*, 2019, 8(12), 623.
32. Pistol, G.C., Marin, D.E., Dragomir, C., [et al.]. Synbiotic combination of prebiotic grape pomace extract and probiotic *Lactobacillus* sp. reduced important intestinal inflammatory markers and in-depth signalling mediators in lipopolysaccharide-treated Caco-2 cells. *British Journal of Nutrition*, 2019, 121(3), 291-305.
33. Fernández-García, E., Carvajal-Lérida, I., Pérez-Gálvez, A. *In vitro* bioaccessibility assessment as a prediction tool of nutritional efficiency. *Nutrition research*, 2009, 29(11), 751-760.
34. Grgić, J., Šelo, G., Planinić, M., [et al.]. Role of the Encapsulation in Bioavailability of Phenolic Compounds. *Antioxidants*, 2020, 9(10), 923.
35. Wolski, T., Dyduch, J. Importance of vegetables and fruit in civilization-related therapy. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska. Sectio EEE Horticultura*, 2000.(Poland).
36. Lavola, A., Karjalainen, R., Julkunen-Tiitto, R. Bioactive polyphenols in leaves, stems, and berries of Saskatoon (*Amelanchier alnifolia* Nutt.) cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2012, 60(4), 1020-1027
37. Juríková, T.; Balla, S.; Sochor, J.; [et al.]. Flavonoid profile of saskatoon berries (*Amelanchier alnifolia* Nutt.) and their health promoting effects. *Molecules* 2013, 18, 12571-12586.
38. Farneti, B., Masuero, D., Costa, F., [et al.]. Is there room for improving the nutraceutical composition of apple?. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2015, 63(10), 2750-2759.
39. Zizkova, P., Stefek, M., Rackova, L., [et al.]. Novel quercetin derivatives: from redox properties to promising treatment of oxidative stress related diseases. *Chemico-Biological Interactions*, 2017, 265, 36-46.
40. Loza-Mejía, M.A., Salazar, J.R. Sterols and triterpenoids as potential anti-inflammatories: Molecular docking studies for binding to some enzymes involved in inflammatory pathways. *Journal of Molecular Graphics and Modelling*, 2015, 62, 18-25.
41. Szakiel, A., Pączkowski, C., Pensec, F., [et al.]. Fruit cuticular waxes as a source of biologically active triterpenoids. *Phytochemistry Reviews*, 2012, 11(2), 263-284.
42. Eggersdorfer, M., Wyss, A. Carotenoids in human nutrition and health. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 2018, 652, 18-26.
43. Pumilia, G., Cichon, M.J., Cooperstone, J.L., [et al.]. Changes in chlorophylls, chlorophyll degradation products and lutein in pistachio kernels (*Pistacia vera* L.) during roasting. *Food Research International*, 2014, 65, 193-198.
44. Ranogajec, A., Beluhan, S., Šmit, Z. Analysis of nucleosides and monophosphate nucleotides from mushrooms with reversed-phase HPLC. *Journal of Separation Science*, 2010, 33(8), 1024-1033.
45. Liu, H., Jiang, Y., Luo, Y., [et al.]. A simple and rapid determination of ATP, ADP and AMP concentrations in pericarp tissue of litchi fruit by high performance liquid chromatography. *Food Technology and Biotechnology*, 2006, 44(4).

46. Kalia, D., Merey, G., Nakayama, S., [2013] Nucleotide, c-di-GMP, c-di-AMP, cGMP, cAMP, (p) ppGpp signaling in bacteria and implications in pathogenesis. *Chemical Society Reviews*, 2013, 42(1), 305-341.
47. Tian, Y., Puganen, A., Alakomi, H.L., [et al.]. Antioxidative and antibacterial activities of aqueous ethanol extracts of berries, leaves, and branches of berry plants. *Food Research International*, 2018, 106, 291-303.
48. Lavelli, V., Harsha, P.S., Ferranti, P., [et al.]. Grape skin phenolics as inhibitors of mammalian α -glucosidase and α -amylase—effect of food matrix and processing on efficacy. *Food and Function*, 2016, 7(3), 1655-1663.
49. Podsedek, A., Majewska, I., Redzyna, M., [et al.]. *In vitro* inhibitory effect on digestive enzymes and antioxidant potential of commonly consumed fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(20), 4610-4617.
50. Unuofin, J.O., Otunola, G.A., Afolayan, A.J. *In vitro* α -amylase, α -glucosidase, lipase inhibitory and cytotoxic activities of tuber extracts of *Kedrostis africana* (L.) Cogn. *Heliyon*, 2018, 4(9), e00810.
51. Boath, A.S., Stewart, D., McDougall, G.J. Berry components inhibit α -glucosidase *in vitro*: Synergies between acarbose and polyphenols from black currant and rowanberry. *Food Chemistry*, 2012, 135(3), 929-936.
52. Michalska, A., Wojdyło, A., Lech, K., [et al.]. Physicochemical properties of whole fruit plum powders obtained using different drying technologies. *Food Chemistry*, 2016, 207, 223-232.
53. Kalt, W., McDonald, J.E., Donner, H. Anthocyanins, phenolics, and antioxidant capacity of processed lowbush blueberry products. *Journal of food science*, 2000, 65(3), 390-393.
54. Zielinska, M., Michalska, A. Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits: Drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture. *Food Chemistry*, 2016, 212, 671-680.
55. Piga, A., Del Caro, A., Corda, G. From plums to prunes: influence of drying parameters on polyphenols and antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003, 51(12), 3675-3681.
56. Tiwari, U., Cummins, E. Factors influencing levels of phytochemicals in selected fruit and vegetables during pre-and post-harvest food processing operations. *Food Research International*, 2013, 50(2), 497-506.
57. Mitra, P., Meda, V., Green, R. Effect of drying techniques on the retention of antioxidant activities of Saskatoon berries. *International Journal of Food Studies*, 2013, 2, 224-237.
58. Bakowska-Barczak, A.M., Kolodziejczyk, P. Evaluation of Saskatoon berry (*Amelanchier alnifolia* Nutt.) cultivars for their polyphenol content, antioxidant properties, and storage stability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2008, 56(21), 9933-9940.
59. Chandran, J., Nisha, P., Singhal, R.S., [et al.]. Degradation of colour in beetroot (*Beta vulgaris* L.): a kinetics study. *Journal of food science and technology*, 2014, 51(10), 2678-2684.
60. Antal, T., Tarek, M., Tarek-Tilistyák, J., Kerekes, B. Comparative effects of three different drying methods on drying kinetics and quality of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 2017, 41(3), e12971.
61. Michalska, A., Wojdyło, A., Brzezowska, J., [et al.]. The influence of inulin on the retention of polyphenolic compounds during the drying of blackcurrant juice. *Molecules*, 2019, 24(22), 4167.
62. Daza, L. D., Fujita, A., Granato, D., [et al.]. Functional properties of encapsulated Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extract. *Food Bioscience*, 2017, 18, 15-21.
63. Michalska, A., Wojdyło, A., Łysiak, G.P., [et al.]. Chemical composition and antioxidant properties of powders obtained from different plum juice formulations. *International Journal of Molecular Sciences*, 2017, 18(1), 176.
64. White, B.L., Howard, L.R., Prior, R.L. Impact of different stages of juice processing on the anthocyanin, flavonol, and procyanidin contents of cranberries. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011, 59(9), 4692-4698.
65. Hayta, S., Polat, R., Selvi, S. Traditional uses of medicinal plants in Elazığ (Turkey). *Journal of Ethnopharmacology*, 2014, 154(3), 613-623.
66. Pasrija, D., Ezhilarasi, P.N., Indrani, D., [et al.]. Microencapsulation of green tea polyphenols and its effect on incorporated bread quality. *LWT-Food Science and Technology*, 2015, 64(1), 289-296.
67. Mogol, E., Gökmen, V., Shimoni, E. Nano-encapsulation improves thermal stability of bioactive compounds Omega fatty acids and silymarin in bread. *Agro Food Industry Hi-Tech*, 2013, 24(3).
68. Świeca, M. Potentially bioaccessible phenolics, antioxidant activity and nutritional quality of young buckwheat sprouts affected by elicitation and elicitation supported by phenylpropanoid pathway precursor feeding. *Food Chemistry*, 2016, 192, 625-632.
69. Moschona, A., Liakopoulou-Kyriakides, M. Encapsulation of biological active phenolic compounds extracted from wine wastes in alginate-chitosan microbeads. *Journal of Microencapsulation*, 2018, 35(3), 229-240.
70. Gawlik-Dziki, U., Świeca, M., Dziki, D., [et al.]. Quality and antioxidant properties of breads enriched with dry onion (*Allium cepa* L.) skin. *Food Chemistry*, 2013, 138(2-3), 1621-1628.
71. Bustos, M.C., Vignola, M.B., Paesani, C., [et al.]. Berry fruits-enriched pasta: effect of processing and *in vitro* digestion on phenolics and its antioxidant activity, bioaccessibility and potential bioavailability. *International Journal of Food Science and Technology*, 2020, 55(5), 2104-2112.
72. Sęczyk, Ł., Świeca, M., Gawlik-Dziki, U. Effect of carob (*Ceratonia siliqua* L.) flour on the antioxidant potential, nutritional quality, and sensory characteristics of fortified durum wheat pasta. *Food Chemistry*, 2016, 194, 637-642.

73. Gawlik-Dziki, U., Świeca, M., Dziki, D., [et al.]. Anticancer and antioxidant activity of bread enriched with broccoli sprouts. *BioMed research international*, 2014.
74. Banu, I., Vasilean, I., Aprodu, I. Effect of lactic fermentation on antioxidant capacity of rye sourdough and bread. *Food Science and Technology Research*, 2010, 16(6), 571-576.
75. Manzocco, L., Calligaris, S., Mastrocola, D., [et al.]. Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in Food Science and Technology*, 2000, 11(9-10), 340-346.
76. Złotek, U., Szychowski, K. A., Świeca, M. Potential *in vitro* antioxidant, anti-inflammatory, antidiabetic, and anticancer effect of arachidonic acid-elicited basil leaves. *Journal of Functional Foods*, 2017, 36, 290-299.
77. Yamamoto, S., Katsukawa, M., Nakano, A., [et al.]. Arachidonate 12-lipoxygenases with reference to their selective inhibitors. *Biochemical and biophysical research communications*, 2005, 338(1), 122-127.
78. Naithani, S., Saracco, S. A., Butler, C. A., [et al.]. Interactions among COX1, COX2, and COX3 mRNA-specific translational activator proteins on the inner surface of the mitochondrial inner membrane of *Saccharomyces cerevisiae*. *Molecular biology of the cell*, 2003, 14(1), 324-333.

V. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych, dydaktycznych, organizacyjnych i popularyzatorskich

Działalność naukowo-badawcza:

Główne obszary mojej działalności naukowej przed uzyskaniem stopnia doktora dotyczyły:

W roku 2009 rozpoczęłam studia I stopnia na kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka na Uniwersytecie Rzeszowskim (UR), które zakończyłam obroną pracy inżynierskiej dotyczącej identyfikacji związków polifenolowych w różnych odmianach gatunku *Allium cepa* L. (Temat pracy: *Występowanie związków fenolowych w cebuli zwyczajnej (Allium cepa L.)*) Chcąc rozwinąć swoje umiejętności analityczne oraz pogłębić dotychczasową wiedzę z zakresu technologii żywności zdecydowałam się na kontynuowanie studiów II stopnia na UR na specjalizacji technologia produktów pochodzenia roślinnego. W trakcie studiów realizowałam pracę dyplomową nt. **Charakterystyka wybranych roślin z rodzaju *Allium* oraz ich przetworów pod kątem występowania związków fenolowych** pod kierunkiem dra hab. Ireneusza Kapusty, prof. UR. Badania te dotyczyły identyfikacji związków polifenolowych dwóch rodzajów cebuli i czosnku, wykazania zmian w zawartości tych związków pod wpływem zastosowanych procesów technologicznych i określenia ich potencjału prozdrowotnego. W surowcu zidentyfikowałam głównie pochodne kwercetyny i izoramnetyny. Badania wykazały, że najwyższą zawartością związków prozdrowotnych i ich wartością przeciwtleniającą cechowały się cebula biała oraz czosnek niedźwiedzi, podczas gdy o 80% mniej związków zidentyfikowałam w cebuli żółtej. Natomiast produkty przygotowane w zalewie octowej wykazywały ok. 20% strat związków polifenolowych. W czasie studiów byłam członkiem Studenckiego Koła Naukowego Technologów Żywności „FERMENT”, gdzie angażowałam się w realizację prac organizacyjnych i badawczych. Moja aktywność naukowa zaowocowała autorstwem 3 prac twórczych i 2 prac przeglądowych oraz 10 komunikatów naukowych zamieszczonych w materiałach krajowych i międzynarodowych studenckich konferencji naukowych. Zarówno praca w studenckim kole naukowym, jak i specyfika prowadzonych badań w ramach pracy dyplomowej poszerzyły moje zainteresowania i ukierunkowały na chęć dalszego rozwoju naukowego. W czerwcu 2014 roku z wyróżnieniem ukończyłam studia II stopnia otrzymując dyplom uznania JM Rektora UR oraz zdobywając I miejsce za wyniki w nauce. Moja działalność została również doceniona przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, który w roku akademickim 2013/2014 przyznał mi stypendium dla najlepszych studentów (**Zał. 10.1**).

W październiku 2014 roku rozpoczęłam studia doktoranckie w Katedrze Technologii Owoców, Warzyw i Nutraceutyków Roślinnych na Wydziale Biotechnologii i Nauk o Żywności Uniwersytetu

Przyrodniczego we Wrocławiu (UPWr) pod kierunkiem prof. dra hab. Jana Oszmiańskiego. Realizowana praca doktorska nt. ***Usprawnienie technologii produkcji soku z aronii o wysokiej zawartości związków biologicznie czynnych z ograniczoną tendencją do tworzenia się osadów i zmętnień*** finansowana była z projektu dotyczącego badań stosowanych (PBS3) przyznanego na lata 2015-2018 przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju o numerze PBS3/B8/21/2015 „Opracowanie napoju, soku i koncentratu z aronii zasobnego w związki bioaktywne o wysokiej aktywności przeciwutleniającej oraz niskim poziomie zmętnień i osadów”, którego byłam wykonawcą. Wspomniany projekt był realizowany we współpracy z sektorem gospodarczym tj. z zakładem produkcyjnym Tymbark MWS Sp. z o.o. (**Zał. 6, II.5.1, III.2.1; Zał. 8.1**). W celu lepszego poznania funkcjonowania przemysłu spożywczego, zapoznania się z zasadami wprowadzania nowych rozwiązań na skalę przemysłową oraz zebrania materiału do badań odbyłam miesięczny staż zawodowy w ww. zakładzie przetwórczym Tymbark (18.08.2016 – 18.09.2016 r.) (**Zał. 6, II.11.1; Zał. 9.1**). Wiedza oraz umiejętności zdobyte podczas stażu bezpośrednio przyczyniły się do osiągnięcia głównego celu realizowanych założeń tj. usprawnienie procesu technologicznego produkcji soków z aronii w zakładzie produkcyjnym Tymbark-MWS Sp. z o.o. S.K.A, dla uzyskania produktów o wysokiej zawartości polifenoli i aktywności przeciwutleniającej z ograniczoną tendencją w tworzeniu osadów i zmętnień w czasie przechowywania. Realizowane badania prowadzone były w 3 etapach: (I) określenie składu chemicznego wybranych odmian owoców aronii oraz ich przydatności do produkcji soków, (II) opracowanie metody obróbki miazgi, celem otrzymania soków o podwyższonej zawartości związków polifenolowych i wysokiej wartości przeciwutleniającej, cechujących się wysoką klarownością oraz stabilnością zmętnień w czasie przechowywania oraz (III) otrzymanie atrakcyjnych dla konsumentów klarownych soków aroniowych o wysokiej wartości prozdrowotnej, poprzez zastosowanie różnych środków klarujących i ich optymalnych dawek oraz wielkości porów membran w procesie mikrofiltracji soku. W trakcie prowadzonych badań wykazałam, że wybrane odmiany aronii miały istotny statystycznie ($p < 0,05$) wpływ na podstawowy skład chemiczny owoców, zawartość związków polifenolowych i aktywność przeciwutleniającą. Najwyższą przydatność technologiczną do produkcji soków aroniowych o wysokiej klarowności, optymalnym składzie chemicznym i aktywności przeciwutleniającej, wykazywała odmiana Galicjanka. Mimo, że odmiana Aron zawierała najwięcej związków polifenolowych, owoce tej odmiany były drobne i mogą sprawiać trudności w zbiorze i w dalszym przetwarzaniu na soki oraz przyczyniać się do występowania większej ilości zmętnień i osadów. Najmniej przydatną z punktu widzenia technologicznego do produkcji soku była odmiana Hugin – charakteryzowała się najniższą zawartością badanych składników. Analiza jakościowa owoców aronii metodą chromatografii cieczowej UPLC-PDA-ESI-QToF-MS/MS pozwoliła na zidentyfikowanie 32 związków polifenolowych należących do grupy: antocyjanów (8 związków), kwasów fenolowych (8 związków), flawonoli (11 związków), flawanonów (1 związek), flawan-3-oli – monomery i oligomery (4 związki), w tym 3 antocyjanów dotąd niezidentyfikowanych w tym surowcu. Dodatkowo zastosowanie świeżego jak i mrożonego surowca w połączeniu z różnymi metodami obróbki wstępnej miazgi przed procesem tłoczenia wpłynęło w istotnym ($p < 0,05$) stopniu na parametry fizykochemiczne oraz właściwości przeciwutleniające soków z aronii. Zastosowanie mrożonych owoców mimo zwiększonej wydajności tłocznia o 16% przyczyniło się do powstawania zmętnień i osadów podczas przechowywania. Uzasadnione jest zatem przerabianie świeżych owoców w celu uzyskania wysokiej jakości soków o stabilnym zmętnieniu i wyższych walorach prozdrowotnych. Natomiast w ocenie wpływu wybranych metod obróbki miazgi i stwierdzono, że najkorzystniejszą metodą w produkcji soków aroniowych była obróbka enzymatyczna preparatami pektynolitycznymi Pectinex BEXXL oraz Pectinex Pro Color w temperaturze 50 °C w czasie 45 min. Z kolei najsłabsze efekty uzyskano po zastosowaniu ultradźwięków. Okres 5-cio miesięcznego

przechowywania soków z aronii w temperaturze 5 °C wpłynął na 12% straty związków polifenolowych, 9% obniżenie aktywności przeciwutleniającej oraz 80% spadek zmętnienia. Ponadto klarowanie soków z aronii tradycyjną metodą w zależności od rodzaju bentonitu, dawki oraz kolejności dodawania środków stabilizujących wykazało istotny wpływ na jakość i właściwości przeciwutleniające klarowanych soków aroniowych. Najbardziej korzystny efekt klarowania tradycyjnymi środkami klarującymi uzyskano stosując kolejno: bentonit –żelatynę – zol krzemionkowy w dawce 166,0:13,4:134,0 g/hl. Po 5-miesięcznym okresie przechowywania soki przygotowane według tego wariantu cechowały się najmniejszym zmętnieniem i ilością osadu, a także wysoką zawartością badanych związków i aktywnością przeciwutleniającą. Zastosowanie polisacharydowych związków klarujących tj. karboksymetyloceluloza, guma ksantanowa, agar-agar w dawce 0,2 g/L przez 16 godzin skutkowało niższym zmętnieniem i tworzeniem się osadów oraz zachowaniem wyższej zawartości związków bioaktywnych. Ponadto soki z tymi dodatkami były stabilniejsze podczas przechowywania przez 5 miesięcy w temperaturze 5 °C. Natomiast dodatek karboksymetylocelulozy, gumy ksantanowej, agar-agaru może stanowić alternatywę dla tradycyjnych środków klarujących. Ich zastosowanie jest skuteczniejsze w procesie klarowania soków z aronii z równoczesnym zachowaniem wysokiej zawartości związków bioaktywnych. Soki te zawierały niższą wartość zmętnienia (średnio 7,3-krotnie), lepkości (średnio o 1,2-krotnie), ilość osadu (średnio 4,13-krotnie), oraz wyższą zawartość związków polifenolowych (średnio 1,2-krotnie) i aktywność przeciwutleniającą (średnio 1,4-krotnie) w stosunku do próbki kontrolnej. W czasie 5-miesięcy przechowywania w temperaturze 5°C klarowanych soków aroniowych z dodatkiem wybranych polisacharydów wystąpiło nieznaczne obniżenie parametrów fizykochemicznych oraz ograniczone tendencje tworzenia się osadów i zmętnień. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość zamiany tradycyjnych środków klarujących na polisacharydy. Proces mikrofiltracji prowadzony z zastosowaniem membrany o średnicy porów 0,8 µm wpłynął najkorzystniej na klarowność soków aroniowych przy zachowaniu wysokiej zawartości związków polifenolowych. Dlatego, zastosowanie odmiany Galicjanka, enzymatycznej metody obróbki miazgi (preparaty enzymatyczne Pectinex BEXXL lub Pectinex Pro Color), maceracji przed procesem tłoczenia (50 °C przez 45 min.), polisacharydowego środka klarującego (CMC, guma ksantanowa lub agar-agaru w ilości 0,2 g/L), procesu mikrofiltracji (membran o średnicy porów 0,8 µm) pozwoliło na uzyskanie soków z aronii o wysokiej klarowności i zawartości związków antyoksydacyjnych. Takie produkty cechowały się ograniczoną tendencją do tworzenia się osadów i zmętnień przed jak i po przechowywaniu w warunkach chłodniczych. Uzyskane wyniki pozwoliły mi na przygotowanie 4 prac naukowych w czasopiśmie z listy JCR (**Zał.6, II.4.21, II.4.31-II.4.33, II.4.38**) oraz wygłoszeniu 11 komunikatów naukowych w postaci prezentacji i posterów (**Zał. 6, II.7.4 - II.7.6, II.7.11, II.7.16, II.7.23, II.7.34, II.7.37 - II.7.40, II.7.44**). Wszystkie nowe rozwiązania technologiczne otrzymane w ramach pracy doktorskiej w produkcji soku aroniowego bez osadów i zmętnień z jednocześnie wysoką zawartością związków prozdrowotnych zostały zaproponowane partnerowi przemysłowemu.

W trakcie studiów doktoranckich podjęłam również próbę opracowania nowych rozwiązań technologicznych i modyfikacji już istniejących przy projektowaniu żywności funkcjonalnej z zastosowaniem nowych surowców o charakterze prozdrowotnym. Na powyższe badania otrzymałam projekty finansowane z działalności statutowej celowej UPWr (**Zał.6, II.5.2, II.5.3**). Tematyka wyżej wspomnianych projektów, których byłam kierownikiem, dotyczyła: (I) usprawniania procesu produkcji win z aronii z wysoką zawartością związków biologicznie czynnych o działaniu przeciwutleniającym (**Zał. 8.2**) oraz (II) wpływu substancji błonnikowych na kształtowanie jakości soków aroniowych (**Zał. 8.3**). Celem tych projektów było nie tylko wprowadzenie usprawnienia technologii i otrzymania atrakcyjnego sensorycznie produktu akceptowanego przez konsumenta, ale również otrzymanie produktu o wysokiej zawartości

związków pozytywnie oddziałujących na organizm człowieka o wysokiej wartości prozdrowotnej. Rezultatem badań było przygotowanie prac naukowych (Zał. 6, II.4.23) oraz ich prezentacja na konferencji o zasięgu międzynarodowym (Zał. 6, II.7.25, II.7.41).

Na drugim roku studiów doktoranckich miałam możliwość wyjazdu w ramach programu Erasmus+ na 3 miesięczny staż zagraniczny do The University of Agriculture w Atenach, Grecja. W trakcie stażu realizowałam temat badawczy dotyczący „Rare earth and trace elements in red wine trough ICP-MS”, gdzie miałam okazję poszerzyć swoje umiejętności z zakresu technik analitycznych. Celem niniejszych badań była ocena pierwiastków śladowych i makroelementów w czerwonym winie z szczepu Mavrotragano. Natomiast otrzymane wyniki zostały wykorzystane przez sektor przemysłu spożywczego w Atenach. Doświadczenie, które zdobyłam w trakcie wyjazdu utwierdziło mnie w przekonaniu, że współpraca z innymi ośrodkami naukowymi, zwłaszcza w środowisku międzynarodowym, jest bardzo ważna w kontekście rozwoju naukowego oraz obserwowania i implementacji dobrych praktyk (Zał. 6, II.11.2, Zał. 9.2).

Kolejnym aspektem badawczym, który poruszałam w okresie studiów doktoranckich było przeprowadzenie wstępnej analizy składu chemicznego owoców świdosiłwy olcholistnej rosnących na terenie Polski w celu określenia możliwości ich wykorzystania w przetwórstwie m.in. jako dodatku funkcjonalnego. W tym celu nawiązałam współpracę z dr hab. Stanisławem Plutą prof. Instytutu z Instytutu Ogrodnictwa w Skierniewicach. Przeanalizowałam również zmienność bioaktywnych składników przy zastosowaniu tych samych warunków agrotechnicznych uprawianych w różnych latach. Natomiast wyniki badań dotyczące identyfikacji materiału badawczego oraz zmienności sezonowej pozwoliły na opracowanie ciekawych prac naukowych opublikowanych w interesujących czasopismach z listy JCR m.in. w Food Chemistry i Molecules (Zał. 6, II.4.22, II.4.24, II.4.41, II.7.48).

Równolegle byłam zaangażowana w prace nad zagospodarowaniem produktów ubocznych przemysłu spożywczego, głównie wyłoków, oraz wykorzystania niekonwencjonalnych surowców do produkcji żywności prozdrowotnej, takich jak liście drzew owocowych. Zaproponowane rozwiązania analizowałam badając m.in. owoce aronii, żurawiny, jagody kamczackiej, które charakteryzują się wysoką zawartością związków biologicznie czynnych. Prace te były realizowane we współpracy z Uniwersytetem Rzeszowskim, a badania zostały przeprowadzone w ramach programu Krajowego Naukowego Centrum Wiodącego (KNOW). Otrzymane w ramach powyższych badań wyniki wskazują, że wyłoki, analizowanych surowców, otrzymane z rozdrobnionego surowca przed tłoczeniem soków, wykazują znacznie niższą zawartość cukrów oraz wysoką zawartość związków biologicznie aktywnych. Badania wykazały, że wyłoki z rozdrobnionego materiału są atrakcyjniejszym materiałem do produkcji suszu bogatego w związki bioaktywne niż wyłoki pozyskiwane z całych jagód. Parametry proszków otrzymanych z wyłoków żurawiny, aronii i jagody kamczackiej wskazują na możliwości ich wykorzystania m.in. do produkcji bioaktywnej żywności o wysokich właściwościach prozdrowotnych, jako nutraceutyczny preparat w postaci proszku bądź tabletek. Dodatkowo soki uzyskane z surowca rozdrabnianego przed tłoczeniem również wskazywały relatywnie wyższą wartość prozdrowotną w porównaniu do produktów uzyskanych z nierozdrobnionego materiału. W przypadku soku z aronii osiągnięta niższa zawartość związków polifenolowych, głównie polimerów proantocyjanidynowych i glukuronidu eriodiktiolu, prawdopodobnie przyczyniła się do złagodzenia cierpkiego i gorzkiego smaku wytwarzanego soku. Ostatnim aspektem testowanym w niniejszych badaniach była ocena potencjału prozdrowotnego liści wobec owoców i przetworów żurawiny. Jak wskazują wyniki badań, liście żurawiny były nie tylko cennym źródłem wyselekcjonowanych antyoksydantów, ale zawierały znacznie więcej polifenoli niż owoce, soki i wyłoki. Liście zawierały od 21 549,7 do 38 894,3 mg/100 g suchej masy polifenoli, czyli istotnie więcej niż wyłoki (13 348,9 do 16 847,0 mg/100 g suchej masy) ≥ owoce

(od 9110,8 do 13 744,6 mg/100 g suchej masy) >> sok (z 1052,1 do 1331,0 mg/100 g suchej masy polifenoli). Dlatego sok z żurawiny o niskiej zawartości związków fenolowych należy wzbogacać wytlókami lub innymi alternatywnymi źródłami związków fenolowych, takimi jak liście. Wyniki wskazują, że wykorzystanie liści żurawiny stanowi obiecującą alternatywę technologiczną do produkcji nowych napojów lub drinków, ponieważ są one dobrym źródłem naturalnych związków bioaktywnych w codziennej diecie. Dodatkowo zarówno wykorzystanie liści oraz produktów ubocznych, jak wytlóki, może przyczynić się do rozwoju profilaktyki i leczenia chorób, takich jak choroby układu krążenia czy cukrzyca. Efektem zwieńczającym moje badania było opublikowanie otrzymanych wyników w wielu renomowanych czasopismach naukowych z listy JCR, jak *Industrial Crops and Products*, *LWT*, *Journal of Functional Food*, *Molecules* (**Zał. 6, II.4.16 - II.4.18**) oraz przedstawienie postulowanych rozwiązań podczas krajowych i międzynarodowych konferencji naukowych (**Zał. 6, II.7.8, II.7.10, II.7.17, II.7.21**).

Ponadto, w trakcie studiów byłam również zaangażowana w wiele inicjatyw naukowych dotyczących praktycznego wymiaru badań prowadzonych w ramach programu Krajowe Naukowe Centrum Wiodące (KNOW) na lata 2014-2018. Były to prace dotyczące m.in. projektowania nowych soków gruszkowych z zastosowaniem kaliny, oceny wpływu czynników biotycznych i abiotycznych na zawartość związków prozdrowotnych obecnych w owocach, szczegółowej identyfikacji związków bioaktywnych m.in. owoców żurawiny, starych odmian jabłek, czosnku niedźwiedziego, rdestu. Badania pozwoliły m.in. na promocję rodzimego surowca przez wykorzystanie go do rozwoju sekcji jaką jest żywność wzbogacona, żywność funkcjonalna oraz do przedstawienia kilku cennych pod kątem aktywności biologicznej surowców jako dodatku do żywności, nutraceutyków, w profilaktyce chorób cywilizacyjnych. Zaproponowane rozwiązania zostały przedstawione w postaci licznych prac naukowych (**Zał. 6, II.4.19, II.4.26 - II.4.29, II.4.30, II.4.39**).

Moja aktywność naukowa w czasie studiów została doceniona i wyróżniona przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, który dwukrotnie przyznał mi stypendium za wybitne osiągnięcia na rok akademicki 2016/2017 i 2017/2018 (**Zał. 6, VI.1.1, VI.1.4, VI.1.6; Zał. 10.2, 10.4**). W roku 2017 od JM Rektora UPWr otrzymałam również stypendium *Santanders Universidades* za wyróżniające się osiągnięcia w dziedzinie naukowej uzyskane w roku akademickim 2016/2017 w szczególności za autorstwo lub współautorstwo w publikacjach wyróżnionych współczynnikiem Impact Factor (**Zał. 6, VI.1.5; Zał. 10.3**), zaś Dolnośląski Klub Kapitału we Wrocławiu uhonorował mnie nagrodą „Młode Talenty 2018” za wybitny sukces w działalności naukowej (**Zał. 6, VI.1.7; Zał. 10.5**). Działając skutecznie na rzecz Nauki Polskiej przez cały okres studiów doktoranckich otrzymywałam stypendium dla najlepszych doktorantów oraz stypendium z dotacji projakościowej za wyróżniające wyniki naukowe. Kilukrotnie zostałam także nagrodzona za wygłoszone referaty i postery na konferencjach o zasięgu międzynarodowym i krajowym m.in. w ramach VIII Ogólnopolską Konferencję Naukową Technologów Przetwórstwa Owoców i Warzyw „Owoce i warzywa-od świtu do zmierzchu” (2015 rok) (**Zał. 6, II.7.65**), 5th International Session of Young Scientific Staff: Food Today and Tomorrow (2017 rok) (**Zał. 6, II.7.68**).

Stopień doktora nauk rolniczych w dyscyplinie technologia żywności i żywienia został mi nadany w dniu 16 października 2018 roku uchwałą Rady Wydziału Biotechnologii i Nauk o Żywności Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Przygotowana przeze mnie dysertacja została, na wniosek recenzentów, wyróżniona. Za rozprawę doktorską w 2019 roku uzyskałam indywidualną nagrodę II stopnia przyznaną przez JM Rektora UPWr (**Zał. 6, VI.1.9; Zał. 10.6**).

Główne obszary mojej działalności naukowej po uzyskaniu stopnia doktora dotyczyły:

Po otrzymaniu stopnia naukowego doktora nauk rolniczych w dyscyplinie technologia żywności i żywienia, 15 listopada 2018 roku zostałam zatrudniona w Katedrze Technologii Fermentacji i Zbóż UPWr na stanowisku adiunkta, gdzie rozwijałam swoje zainteresowania pracując nad potencjałem bioaktywnym roślin i poszerzałam wiedzę z zakresu otrzymywania dodatków funkcjonalnych i projektowania żywności o cechach prozdrowotnych w kierunku eliminowania bądź profilaktyki zaburzeń metabolicznych, stanów zapalnych, dysbiozy jelitowej itp. Dlatego w mojej pracy naukowej badania koncentrowały się i nadal dotyczą głównie 2 obszarów badawczych, którymi są: (I) analiza potencjału bioaktywnego owoców oraz poszukiwanie alternatywnych substancji prozdrowotnych w kontekście komponowania żywności funkcjonalnej oraz (II) zabezpieczanie związków bioaktywnych i projektowanie nowej żywności o wysokim potencjale prozdrowotnym w kontekście prewencji wybranych chorób cywilizacyjnych.

(I) analiza potencjału bioaktywnego owoców oraz poszukiwanie alternatywnych substancji prozdrowotnych w kontekście komponowania żywności funkcjonalnej

Opracowania naukowe wskazują na dodatnią korelację pomiędzy spożyciem owoców i warzyw, a zmniejszeniem ryzyka pojawienia się tzw. chorób cywilizacyjnych. Związane to jest z występowaniem w owocach i warzywach metabolitów wtórnych, do których zaliczamy m.in. naturalnie występujące związki biologicznie czynne o udokumentowanych właściwościach prozdrowotnych korzystnie oddziaływujących na organizm człowieka. Określanie zawartości i jakości tych związków oraz ocena potencjału prozdrowotnego może wpłynąć na świadomy wybór składników diety poprzez wyeksponowanie ich cech korzystnie wpływających na zdrowie konsumenta. Dlatego w trakcie pracy na stanowisku adiunkta na UPWr zajmowałam się analizami chemicznymi metabolitów wtórnych i oceną wartości prozdrowotnych w warunkach *in vitro* rodzimych często niedocenianych owoców. Oprócz analizy owoców świdosiwy olcholistnej (**Publikacja B1-B2, Zał. 6, II.4.41**), które były przedmiotem mojego głównego osiągnięcia naukowego, poddawałam ocenie owoce rokitnika zwyczajnego (**Zał. 6, II.4.41**), borówki (**Zał. 6, II.4.36, II.4.56**), oliwnika wielokwiatowego (**Zał. 6, II.4.42, II.4.64**), derenia (**Zał. 6, II.4.43**), starych i nowych odmian jabłek (**Zał. 6, II.4.28, II.4.37, II.4.49**), goji (**Zał. 6, II.4.35, II.4.57**), mini kiwi (**Zał. 6, II.4.60**). Owoce te cechują się obecnością wielu związków należących do kwasów fenolowych i flawonoidów, w tym antocyjanów, flawonoli, irinoidów, flawan-3-oli, polimerów procyjanidyn, które zgodnie z doniesieniami naukowymi wskazują silną dodatnią korelację z potencjałem przeciwutleniającym, a nawet przeciwcukrzycowym. Wyniki przeprowadzonych badań potwierdziły przypuszczenia na temat wysokiego potencjału prozdrowotnego ww. owoców mogących stanowić komponent żywności specjalnego przeznaczenia uatrakcyjniając ich wybór. Wyniki prac wskazanych powyżej surowców przedstawiono w następujących publikacjach z listy JCR m.in. LWT, Journal of Apicultural Research, Scientific Reports, Antioxidants, Molecules, Pharmaceuticals i materiałach pokonferencyjnych w ramach m.in. 4th International Wrocław Scientific Meetings (**Zał. 6, II.7.58 - II.7.60**). Ponadto niniejsze prace powstały w ramach współpracy z Uniwersytetem Rzeszowskim (**Zał. 6, V.1.5**), Zachodniopomorskim Uniwersytetem Technologicznym w Szczecinie (**Zał. 6, V.1.8**), Uniwersytetem Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie (**Zał. 6, V.1.9**), oraz Uniwersytetem w Sewilli (University of Seville) w Hiszpanii (**Zał. 6, V.1.11**), Uniwersytetem Przyrodniczym w Lublinie (**Zał. 6, V.1.12**) oraz Instytutem Ogrodnictwa w Skierniewicach (**Zał. 6, V.1.14**).

Z kolei, zainteresowanie roślinami alternatywnymi o potencjale prozdrowotnym wzrosło w ostatnich latach nie tylko w przemyśle farmaceutycznym i kosmetycznym, ale także

w przemyśle spożywczym, jako komponentu dla nowej żywności funkcjonalnej. Ponadto kierunek ten jest zgodny z ogólnosiwiatowym trendem poszukiwania surowców i składników z nich wyizolowanych stanowiących skuteczny czynnik zapobiegający występowaniu przewlekłych chorób niezakaźnych, które stanowią główną przyczynę wielu stanów patologicznych wśród społeczeństwa XXI wieku. Dlatego podczas swojej dotychczasowej pracy naukowej prowadziłam badania z zakresu analizy części różnych gatunków owoców tj. pestek, skórek, liści (**Zał. 6, II.4.44, II.4.53, II.4.57, II.4.61, II.4.63**) oraz różnych części powszechnie rosnących roślin i ziół tj. liści, korzeni, łodyg, kłaczy, kwiatów (**Zał. 6, II.4.39, II.4.46, II.4.55, II.4.65, II.7.47, II.7.48**). Z moich badań wynika, że stanowią one dobre źródło związków wykazujących właściwości prozdrowotne m.in. przeciwaproliferacyjne, przeciwcukrzycowe, przeciwutleniające, przeciwnowotworowe.

Badania te zaowocowały uzyskaniem w 2019 roku finansowania z środków Narodowego Centrum Nauki na realizację zadania badawczego o numerze DEC-2019/03/X/NZ9/00891 w ramach konkursu Miniatura 3 dotyczącego **Charakterystyka owoców oliwnika wielokwiatowego (*Elaeagnus multiflora* Thunb.) i liści pod kątem zawartości związków bioaktywnych o wielokierunkowej aktywności biologicznej** (**Zał. 6, II.5.6; Zał. 8.6**). Należy podkreślić, że powyższe działanie naukowe stanowiło jedynie badanie podstawowe, które pozwoliło mi na wykorzystanie uzyskanych wyników w kolejnych etapach mojej pracy badawczej. Wyselekcjonowane owoce o najwyższym potencjale prozdrowotnym zostały wykorzystane jako dodatek w postaci zwykłego proszku oraz mikrokapsułkowanego do wzbogacania pieczywa pszennego. Badania te były przeprowadzane podczas realizacji pracy magisterskiej mojej podopiecznej. Uzyskane rozwiązania technologiczne w celu zwiększenia wartości żywieniowej chleba mogą stosować propozycję dla nowego asortymentu. Warto wspomnieć, że przeprowadzone badania wskazują na liście jako alternatywne i cenne źródło związków bioaktywnych, stanowiące dodatek do żywności poprawiający wartość zdrowotną zwiększając ich biodostępność. Dodatkowo badania te cechują się wysokim aspektem poznawczym i w znacznym stopniu uzupełniają lukę w aktualnej wiedzy na ten temat. Wyniki przeprowadzonych badań zostały opublikowane w renomowanych czasopismach naukowych (**Zał. 6, II.4.53, II.4.61**) oraz zaprezentowane na konferencji naukowej (**Zał. 6, II.7.56**). Ponadto niniejsze prace powstały w ramach współpracy z Uniwersytetem w Sewilli (University of Seville) w Hiszpanii (**Zał. 6, V.1.11**), Uniwersytetem Rzeszowskim (**Zał. 6, V.1.5**), Zachodniopomorskim Uniwersytetem Technologicznym w Szczecinie (**Zał. 6, V.1.8**), Uniwersytetem Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie (**Zał. 6, V.1.9**), oraz Uniwersytetem Przyrodniczym w Lublinie (**Zał. 6, V.1.12**).

Przeprowadzone analizy alternatywnych dodatków do żywności wskazują, że liście, skórki, pestki były cennym źródłem związków biologicznie czynnych o wysokiej aktywności biologicznej w porównaniu do miąższu i/lub całych owoców. Należy pamiętać, że zarówno pestki, jak i skórki są integralną częścią wytlóków jagodowych, jako produkt uboczny przemysłu spożywczego. Zagospodarowanie produktów ubocznych jest kluczowym aspektem gospodarki odpadów wpływając na zrównoważenie produkcji. Dotyczy to zarówno przemysłu spożywczego, gdzie wytloki mogą być wykorzystane do projektowania żywności funkcjonalnej o wysokiej jakości zdrowotnej, jak i przemysłu farmaceutycznego.

Jeszcze w trakcie studiów doktoranckich zostałam zaproszona do interdyscyplinarnego zespołu badawczego (**Zał. 6, V.1.8, V.1.13**), gdzie uczestniczyłam w innowacyjnych i pionierskich badaniach dotyczących profilu substancji biologicznie aktywnych pasożytów roślin oraz ich wpływu na żywicieli. Warto nadmienić, że do chwili opublikowania badań, skład chemiczny, mineralny oraz wartość prozdrowotna, zarówno *Phelypaea tournefortii* (**Zał. 6, II.4.34**), *Cistanche armena* (**Zał. 6, II.4.50**), jak i *Orobancha laxissima* (**Zał. 6, II.4.62**) nie został oznaczony, a badania,

w których uczestniczyłam otwierając drogę do wykorzystania tych roślin w projektowaniu żywności funkcjonalnej oraz jako środków farmakologicznych i terapeutycznych. Analizy te wyjaśniają ponadto wpływ żywicieli i skażonych gleb na zioła pasożytnicze. Co więcej, profil przeanalizowanych żywicieli był zupełnie inny niż ww. pasożytów, zarówno pod względem jakościowym jak i ilościowym, co wskazuje na istnienie unikalnego szlaku biosyntezy związków u pasożyta. Rezultaty omawianego projektu badawczego zostały opublikowane w renomowanych czasopismach m.in. Scientific Reports, Antioxidants, Pharmaceuticals. Badania te zostały wsparte finansowaniem z grantu National Geographic Society „*Fascinating parasitic plants - Orobanchaceae in the Caucasus (Western Asia) - phytogeography, taxonomy, host range, and evolution*” (nr. GEFNE 192-16), grantem nr 518-07-014-3171-03/18 z Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego oraz grantem nr SMGR.20.208-615 i SUPB.RN.21.244 z Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach.

Podjęłam również badania nad dogłębną analizą biologiczną liści czystka kretańskiego (*Cistus creticus* L.) (Zał. 6, II.4.54), liści, kwiatów, łodyg, oraz korzeni i kłączy rdestowca sachalińskiego (*Fallopia sachalinensis*) i japońskiego (*Fallopia japonica*) (Zał. 6, II.4.39, II.7.40), krwiściągu lekarskiego (*Sanguisorba officinalis* L.) (Zał. 6, II.4.55), oraz czyścica błotnego (*Stachys palustris* L.) (Zał. 6, II.4.65). Przeprowadzone badania wzbogaciły stan dodatkowej wiedzy na temat profilu związków polifenolowych oraz szeroko rozumianych właściwości prozdrowotnych. Prace dotyczące rdestowca wskazały istotne różnice między gatunkami *Fallopia* i ich analizowanymi częściami. Liście wydają się być najlepszymi potencjalnymi dodatkami do żywności dla zdrowia, ze względu na dobre źródło związków polifenolowych i triterpenoidów. Z kolei korzenie, charakteryzujące się wysoką zawartością stilbenów i związków polifenolowych, stanowią wartościowy materiał dla przemysłu medycznego, farmaceutycznego i kosmetycznego. Natomiast wyniki otrzymane pośrednictwem wykorzystaniem UPLC-PDA-QTOF-ESI-MS/MS dla krwiściągu lekarskiego wskazały obecność 130 polifenoli, w tym 62 związki zidentyfikowane po raz pierwszy. Najwyższą zawartość polifenoli oraz wysoką aktywność przeciwnadkwasotworcząco wobec rodnika ABTS⁺ stwierdzono w kwiatach i liściach. Z kolei w kwiatach wykazano wysoką zdolność hamowania aktywności α -amylazy i α -glukoamylazy, natomiast wysoką zdolność hamowania aktywności lipazy trzustkowej wykazano w liściach *S. officinalis* L. Ponadto liście i kwiaty wykazywały najskuteczniejsze właściwości antyproliferacyjne w przypadku gruczolakoraka przewodowego trzustki, gruczolakoraka jelita grubego, raka pęcherza moczowego i białaczki T-komórkowej. Na podstawie uzyskanych wyników wskazano liście i kwiaty jako cenny materiał dietetyczny do komponowania żywności funkcjonalnej. Ponadto w badaniach dotyczących *Stachys palustris* L. metodą LC-MS zidentyfikowano 89 związków polifenolowych; całkowita średnia zawartość tych związków wynosiła 6090 mg/100 g suchej masy. Jednakże skład jakościowy badanych składników bioaktywnych był silnie uzależniony od wyekstrahowanej części rośliny; a zatem w kwiatach, korzeniach, liściach i łodygach zidentyfikowano odpowiednio 56, 55, 50, 49 związków. Warto podkreślić, że dotychczas w *S. palustris* L. zidentyfikowano zaledwie 8 związków należących do metabolitów wtórnych, takich jak werbaskozyd, echinakozyd, dwie pochodne izoscutellareiny, monomelittozyd, kwas chlorogenowy, harpagid i jego pochodna 8-O-acetylo-harpagid. W odniesieniu do aktywności biologicznej, która wcześniej nie została określona dla tej rośliny, liście i kwiaty wykazały najwyższy poziom działania przeciwutleniającego. Najlepsze działanie hamujące α -amylazy i lipazy trzustkowej odnotowano w liściach, natomiast w ekstrakcie z kwiatów silniejsze działanie hamujące wobec działania α -glukozydazy. Jeśli chodzi o działanie antyproliferacyjne, ekstrakty z liści i kwiatów znacznie zmniejszały żywotność komórek i indukowały wysoki poziom apoptozy w ludzkich liniach komórkowych raka płuc, trzustki, pęcherza moczowego i okrężnicy, a także w ludzkiej ostrej białaczce szpikowej. Wyniki tej pracy okazały się niezwykle interesujące, uzyskana wiedza może

mieć szerokie zastosowania w żywności funkcjonalnej o zaprogramowanych właściwościach, w branży farmaceutycznej, kosmetycznej i w medycynie. Badania te realizowane były we współpracy z Uniwersytetem Rzeszowskim (Zał. 6, V.1.5), Uniwersytetem Medycznym we Wrocławiu (Zał. 6, V.1.6), Instytutem Immunologii i Terapii Doświadczalnej Polskiej Akademii Nauk we Wrocławiu (Zał. 6, V.1.7) oraz Zachodniopomorskim Uniwersytetem w Szczecinie (Zał. 6, V.1.8). Natomiast badania dotyczące analizy *Stachys palustris* L. zostały przeprowadzone we współpracy z ośrodkiem The University of British Columbia, Vancouver w Kanadzie (Zał. 6, V.1.10), które zapoczątkowały cykl kolejnych badań znajdujących się obecnie w fazie przygotowawczej.

(II) projektowanie nowej i zdrowej żywności o wysokim potencjale prozdrowotnym w kontekście prewencji wybranych chorób cywilizacyjnych

Kolejnym obszarem rozwijanym w moich działaniach naukowych było projektowanie nowej żywności funkcjonalnej o wysokim potencjale prozdrowotnym w oparciu o technologie minimalizujące straty metabolitów pierwotnych i wtórnych, w tym zastosowanie technik ograniczających te straty jak mikroenkapsulacja. Żywność funkcjonalna o zaprogramowanych właściwościach prozdrowotnych to żywność, która oprócz właściwości odżywczych, reguluje i modyfikuje fizjologiczne i metaboliczne procesy w organizmie człowieka. Dodatkowo stosowana jest w profilaktyce przewlekłych chorób niezakaźnych, które stanowią główną przyczynę wielu stanów patologicznych wśród społeczeństwa XXI wieku. Dlatego uważam, że rozwój tej dziedziny jest bardzo ważny z punktu widzenia jakości zdrowia publicznego.

Obserwując ostatnie doniesienia naukowe, podjęłam w swoich badaniach próbę opracowania napoju bogatego m.in. w łatwo przyswajalny wapń pod kątem profilaktyki osteoporozy, która obecnie staje się poważnym schorzeniem w społeczeństwie. Aktualnie głównym źródłem wapnia w produkcji suplementów diety jest węglan wapnia (CaCO_3) ze względu na wysoką zawartość jonów Ca^{2+} . Jednak syntetyczny węglan wapnia ma niską biodostępność a wykorzystanie naturalnego źródła z zewnętrznych szkieletów organizmów morskich jest stosunkowo kosztowne w produkcji, cechuje się ograniczoną dostępnością oraz wiąże się z ryzykiem akumulacji metali ciężkich jak rtęć, ołów, czy kadm. Dlatego w swoich badaniach wraz z zespołem wykorzystałam skorupy jaj kurzych, które wg doniesień naukowych są doskonałym alternatywnym źródłem wysoce przyswajalnego wapnia oraz zawierają stront, który korzystnie wpływa na metabolizm kości. Mineralizacji poddano soki aroniowy i żurawinowy. Wyniki wskazują, że dodatek skorupki jaj kurzych wzbogacił soki z aronii i żurawiny w składniki mineralne i zwiększył zawartość Ca odpowiednio 25,7 razy i 66,3 razy w porównaniu do prób kontrolnych. Badania wykazały również, że dodatek skorupki jaj kurzych w ilości do 1% nie wpłynął na istotne ($p < 0,05$) różnice w zawartości związków polifenolowych i aktywności antyoksydacyjnej soków, co można uznać za istotne z punktu widzenia ich domniemanych korzyści zdrowotnych. Dodatkowo odnotowano, że mineralizacja wpłynęła na ochronę związków bioaktywnych podczas obróbki cieplnej. Z tego powodu dodatek skorupki jaj kurzych w ilości do 1% można zasugerować jako optymalne uzupełnienie soków z owoców jagodowych w łatwo przyswajalny wapń (Zał. 6, II.4.51) przy profilaktyce osteoporozy. Niniejsze badania powstały we współpracy z Uniwersytetem Rzeszowskim (Zał. 6, V.1.5).

Kolejnym rozwiązaniem jest opracowanie po raz pierwszy cydrów z jabłek o czerwonym miąższu odmiany „Bella Marii” jako niskoalkoholowego napoju funkcjonalnego. Należy zwrócić uwagę, że dobór surowca oraz zastosowanie odpowiedniego szczepu drożdży i czas przechowywania są istotnym czynnikiem wpływającym na kształtowanie się walorów prozdrowotnych i sensorycznych w cydrach. Uzyskane wyniki niniejszego badania wskazują, że szczep drożdży:

Saccharomyces cerevisiae SIHAFERM Finesse Red z zastosowaniem β -cyklodekstryny, jako czynnika dodatkowo klarującego i chroniącego związki bioaktywne, oraz *Saccharomyces cerevisiae* SIHAFERM Finesse Red szczególnie przyczyniły się do uzyskania cydrów o wysokiej zawartości związków prozdrowotnych. Zastosowanie β -cyklodekstryny podczas fermentacji znacząco wpłynęło na ochronę związków biologicznie aktywnych, aż o 18%. Otrzymane cydry soku jabłek o czerwonym miąższu wskazują, że użyta odmiana jabłek cechuje się dużym potencjałem do produkcji cydrów funkcjonalnych o wysokiej zawartości związków polifenolowych i właściwości przeciwutleniających (**Zał. 6, II.4.45**).

Dodatkowo byłam zaangażowana w opracowanie innowacyjnego sproszkowanego purée z topinamburu (*Helianthus tuberosus*), cennego w substancje prebiotyczne jak inulina oraz substancje bioaktywne, w oparciu o dobranie parametrów suszenia i rodzaju materiału. Odnotowano, że nie tylko sposób suszenia, ale także rodzaj użytego do suszenia surowca odgrywał istotną rolę w modulowaniu właściwości przeciwutleniających, przeciwcukrzycowych i przeciwotyłościowych badanego materiału. Stąd znacznie lepsze efekty w zakresie zawartości pektyn i związków prozdrowotnych oraz modelowania właściwości prozdrowotnych uzyskano susząc surowy topinambur, niż wcześniej poddany gotowaniu. Analizy zawartości związków polifenolowych oraz właściwości prozdrowotnych wybranych wariantów sproszkowanego purée z topinamburu wykazały, że najkorzystniej jest utrwać produkt liofilizacją. Ze względu na wysokie koszty liofilizacji suszenie próżniowe mogłoby stanowić alternatywę dla tej techniki, gdyż obie metody zapewniały stosunkowo porównywalne wartości ocenianych parametrów. Produkt końcowy wykazuje działanie ograniczające stres oksydacyjny, cukrzycy typu 2 i otyłości (**Zał. 6, II.4.59**).

W 2019 roku otrzymałam prestiżowe międzynarodowe stypendium naukowe Fundacji Dekaban na 5-miesięczny wyjazd badawczy na The University of British Columbia, Vancouver Campus, Kanada w charakterze Visiting Assistant Professor (01.2020 – 05.2020 r.) (**Zał. 6, II.11.3, VI.1.11; Zał. 9.3**). W trakcie wyjazdu realizowałam temat *Nano-encapsulation of hemp oil for delivery of bioactives through buccal region* w ramach projektu z National Science and Engineering Research Council of Canada (NSERC) Discovery Grant Number RGPIN-2018-04735 and MITACS Accelerate grant number IT0676 in collaboration with Abattis Bioceuticals Corp., Vancouver to Anubhav Singh and Davis Kitts. Wyjazd był znakomitym doświadczeniem w aspekcie poznania techniki jaką jest mikroenkapsulacja i nanoenkapsulacja, która w skuteczny sposób może zostać wykorzystana w ochronie cennych dla organizmu człowieka związków zarówno w trakcie produkcji, jak i podczas trawienia żołądkowo-jelitowego. Jedną z tych technik wykorzystywałam w pracy naukowej głównego osiągnięcia naukowego, które szczegółowo zostało opisane w rozdziale II. Wyniki uzyskane podczas wyjazdu zostały przedstawione na konferencji naukowej (**Zał. 6, II.7.55**). Ponadto współpraca z The University of British Columbia zapoczątkowała cykl wspólnych badań w interdyscyplinarnym zespole badawczym. Prace te dotyczą analizy substancji biologicznie czynnych i ich wartości biologicznej w różnych częściach zapomnianych powszechnie rosnących roślin leczniczych. Szczególna uwaga nakierowana jest na właściwości przeciwutleniające, przeciwzapalne i przeciwnowotworowe (**Zał. 6, II.4.65, V.1.10**).

Pracę na stanowisku naukowo-dydaktycznym na UPWr zakończyłam w sierpniu 2021 r. w celu podjęcia w październiku nowego zatrudnienia w Akademii Kaliskiej im. Prezydenta Stanisława Wojciechowskiego w Kaliszu (AK) oraz Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie (ZUT). Moja decyzja pracy w AK była związana z chęcią pracy w międzynarodowym zespole badawczym *The Kalisz Microbiota Research Team* zajmującym się problematyką mikrobioty jelitowej i potencjału probiotycznego. Temat ten doskonale wpisuje się w moje obecne założenia i zainteresowania naukowe określone w otrzymanym przeze mnie projekcie badawczym (nr projektu DEC-2020/39/D/NZ9/01810) nt. **Mikroenkapsulacja**

synbiotyków wzbogaconych związkami polifenolowymi jako czynnik kształtujący potencjał prozdrowotny, przeżywalność mikroorganizmów oraz stabilność związków w odniesieniu do biodostępności i bioprzyswajalności w układzie in vitro finansowanym z Narodowego Centrum Nauki. Projekt ten otrzymałam w czerwcu 2021 r. na okres 3 lat w ramach konkursu Sonata-16. Opiewa on na kwotę ok. 969 tys. zł, pełnię w nim rolę kierownika (**Zał. 6, II.5.10; Zał. 8.10**). Warto nadmienić, że mój projekt był oceniany na 2 etapach przez 5 niezależnych ekspertów, którzy przyznali maksymalną ilość punktów w każdym ocenianym sektorze, co wskazuje na zasadność prowadzenia badań o tej tematyce oraz utwierdza mnie w przekonaniu o właściwie obranej ścieżce rozwoju naukowego. Podjęłam tę tematykę, ponieważ w ostatnich latach obserwuje się rosnące zainteresowanie naturalnymi źródłami substancji bioaktywnych oraz produktami spożywczymi, które oprócz podstawowej funkcji jaką jest podaż składników odżywczych, wykazywałyby także wysoką wartość prozdrowotną i symbiotyczną wprowadzając w stan eubiozy mikroflorę jelitową. Wśród tego typu żywności należy wymienić żywność o specjalnym przeznaczeniu, tzw. żywność funkcjonalną. Natomiast głównym celem badań jest określenie wpływu możliwości zastosowania procesu mikroenkapsulacji do otrzymywania synbiotyków wzbogaconych w związki polifenolowe oraz ocenę wpływu tego procesu na przeżywalność mikroorganizmów, stabilność związków bioaktywnych i wartość prozdrowotną w aspekcie biodostępności i bioprzyswajalności w modelowych układach *in vitro* zarówno synbiotyków, jak i produktów modelowych. Hipoteza badawcza niniejszego projektu zakłada, że enkapsulacja mikroorganizmów probiotycznych, w tym psychobiotyków, ze związkami bioaktywnymi umożliwi uzyskanie synbiotyków o wysokiej wartości prozdrowotnej, stabilności polifenoli oraz przeżywalności mikroorganizmów z możliwością ich wykorzystania jako fortifikatu żywności funkcjonalnej obniżającej zmiany patologiczne wywołane nieprawidłową dietą i długotrwałym stresem. Z drugiej strony, kapsułkowanie jest znakomitym procesem umożliwiającym kontrolowane uwalnianie i bioprzyswajalność zarówno mikroorganizmów probiotycznych, w tym psychobiotyków, jak i związków polifenolowych. Otrzymana nowa modelowa żywność synbiotyczna, jako element codziennej diety, może być skuteczna w profilaktyce przewlekłych stanów zapalnych i depresji. Przeprowadzone badania mają na celu poszerzenia wiedzy naukowej na temat możliwości otrzymania skutecznych synbiotyków na bazie mikroorganizmów probiotycznych, w tym psychobiotyków i związków polifenolowych, w oparciu o proces mikroenkapsulacji, z kontrolowanym ich uwalnianiem podczas procesu trawienia. Zaplanowane badania modelowych produktów synbiotycznych przyczynią się do rozwoju produktów zbożowych wskazując kierunek ich wykorzystania. Temat ten jawi się jako innowacyjne podejście badawcze do problemu związanego z ograniczonym oddziaływaniem związków i mikroorganizmów prozdrowotnych na dysbiozę jelitową, jak i na nadmiernie tworzące się reaktywne formy tlenu w organizmie człowieka. Założono ponadto, że przedstawiony w projekcie plan badań uzupełni istotną lukę w aktualnym stanie wiedzy, co wpłynie na znaczący rozwój dyscypliny Nauk o Zdrowiu.

Należy nadmienić, że tematyka projektu Sontata-16 jawi się jako naturalna konsekwencja mojej wcześniejszej działalności naukowej w tym zakresie. W 2021 roku przeprowadziłam bowiem badania w poruszanej problematyce dotyczącej wpływu fermentacji bakterii kwasu mlekowego na dynamikę zmian zawartości cukrów i polioli, polifenoli i aktywności przeciwutleniającej w zakwasie pszennym. Zawartość FODMAP w produktach zbożowych determinowana była zawartością fruktanów przy znikomej zawartości cukrów i polioli. Aby wyprodukować produkt zbożowy o niskiej zawartości FODMAP, niezbędny jest czas fermentacji trwający 72-godzinny. Natomiast inokulacja zarówno *Lactobacillus plantarum*, jak i *Lactobacillus casei* przyczyniła się w podobnym stopniu do redukcji FODMAP w zakwasie w porównaniu z fermentacją spontaniczną oraz wpłynęła na wzrost zarówno związków polifenolowych jak i aktywności

przeciwutleniającej. Wiedza ta może pozwolić na projektowanie produktów żywności funkcjonalnej o cechach zdrowotnych dedykowanych w specjalnych wymaganiach żywieniowych (**Zał. 6, II.4.58**).

Obecnie jestem również zatrudniona w Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym (ZUT) w Szczecinie i realizuję projekt numer 00020.DDD.6509.00056.2019.16 w charakterze wykonawcy (**Zał. 6, II.5.9; Zał. 8.9**). Projekt ten jest współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Rolnego na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich: Europa inwestująca na obszarach wiejskich w ramach Programu Rozwoju Obszarów Wiejskich na lata 2014-2020 – temat **Wino bez siarki** dotyczy innowacyjnych technologii w winnicy i winiarni wspierających ograniczanie dodatku siarki do win gronowych. Liderem niniejszego projektu w powołanym konsorcjum jest ZUT w Szczecinie. Założenia projektu dotyczą: (I) wdrożenia innowacyjnej technologii uprawy winorośli w oparciu o zrównoważony sposób gospodarowania środkami ochrony roślin, aby obecność pozostałości siarki na owocach została obniżona; (II) technologii produkcji wina i obniżenia zawartości siarki na etapie produkcji moszczu i wina. Rezultatem niniejszego projektu będzie opracowanie technologii produkcji wina „od winnicy do sommeliera”, dzięki której zawartość siarki będzie istotnie obniżona w stosunku do produktów tradycyjnych na rynku. Technologie stosowane w projekcie pozwalają na eliminację siarki, jako substancji konserwującej. Proponowane rozwiązania technologiczne w winiarni mogą zostać przetestowane, a następnie wdrożone do użytku w innych produktach, takich jak na przykład suszone owoce, soki, napoje. Siarkowanie jest także metodą odkażania części sprzętu w przetwórstwie owocowo-warzywnym, gdzie można również po części wdrożyć rezultaty projektu i wykorzystać stosowaną w operacji technologię. Warto wspomnieć, że siarka jako środek dezynfekujący jest od wielu lat tradycyjnie stosowana w produkcji wina. W tym zakresie nie stanowi szczególnego niebezpieczeństwa. Ze względu jednak na liczne alergie konsumentów na ten składnik, jak najbardziej pożądane jest uzupełnienie oferty rynkowej o produkt o zminimalizowanej zawartości siarki. Wprowadzenie takich rozwiązań wpłynie również na poprawę stanu zdrowia konsumentów borykających się z wyżej wspomnianymi alergiami. Jednym z proponowanych rozwiązań jest wykorzystywanie ozonowania i promieniowania jonizującego jako alternatywy dla siarkowania win. Uzyskane wyniki wskazały, że ozonowanie wina nie przyniosło oczekiwanych rezultatów - nie ograniczało liczby komórek drożdży. Promieniowanie jonizujące w dawce 1 kGy zmniejszyło liczbę drożdżaków o 95,5%, a po zastosowaniu 2,5 kGy o 99,9%. Ponadto dawki te nie miały istotnego wpływu na właściwości organoleptyczne oraz skład fitochemiczny wina. Promieniowanie jest szeroko stosowane do konserwacji produktów spożywczych. Jego zastosowanie do konserwacji gotowego wina może być doskonałą alternatywą dla siarkowania (**Zał. 6, II.4.47, V.1.8**).

Moja aktywność naukowa po uzyskaniu stopnia naukowego doktora została doceniona i wyróżniona przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, który w 2019 roku przyznał mi stypendium dla wybitnych młodych naukowców na 36 miesięcy (**Zał. 6, VI.1.10; Zał. 10.7**). W 2019 roku zostałam wyróżniona przez JM Rektora UPWr nagrodą indywidualną II stopnia z tytułu wyróżnionej dysertacji doktorskiej (**Zał. 6, VI.1.9; Zał. 10.6**). Dodatkowo w roku 2019, 2020 i 2021 zostałam wyróżniona przez JM Rektora UPWr dodatkiem projakościowym za najwyższą efektywność w publikowaniu prac naukowych (**Zał. 6, VI.1.8**). Natomiast w 2021 roku Fundacja na rzecz Nauki Polskiej przyznała mi roczne prestiżowe stypendium dla młodych uczonych START za wyróżniającą się działalność naukową (**Zał. 6, VI.1.12; Zał. 10.8**).

Działalność dydaktyczna, organizacyjna i popularyzatorska:

Działalnością dydaktyczną zajmuję się od 2015 roku prowadząc zajęcia na kierunkach Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka, Bezpieczeństwo Żywności, Zarządzanie Jakością i Analiza Żywności oraz Biotechnologia. W trakcie swojej dotychczasowej pracy miałam przyjemność zrealizować zajęcia z takich przedmiotów jak: „Grafika inżynierska”, „Technologia owoców i warzyw”, „Gospodarka wodno-ściekowa i energetyczna” (jako doktorant) oraz „Grafika inżynierska”, pracownia magisterska na II stopniu studiów, „Analiza jakościowa i towaroznawcza żywności pochodzenia roślinnego”, „Odchylenia jakości produktów roślinnych”, „Procesy w przetwarzaniu surowców roślinnych”, „Technologia piekarstwa i ciastkarstwa” (jako nauczyciel akademicki). W latach 2019 i 2020 byłam koordynatorem przedmiotu „Grafika inżynierska” na kierunku Biotechnologia i byłam odpowiedzialna za przygotowanie sylabusu i instrukcji do ćwiczeń dla tego przedmiotu. Brałam czynny udział w przygotowaniu wyników do pracy magisterskiej zagranicznej studentki Luciji Rošćić *Physicochemical properties of black garlic bread*. Od października 2021 r. prowadzę autorskie wykłady i ćwiczenia na kierunku Dietetyka, Kosmetologia oraz Elektrokardiologia z przedmiotów: „Związki bioaktywne i wartość prozdrowotna”, „Toksykologia, higiena, bezpieczeństwo żywności”. Od roku 2021 jestem koordynatorem przedmiotu „Związki bioaktywne i wartość prozdrowotna” na kierunkach Dietetyka, Kosmetologia oraz Elektrokardiologia na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych. Natomiast, od 2020 roku byłam promotorem dwóch prac magisterskich na kierunku Technologia żywności i żywnienie człowieka tj. mgr inż. Małgorzaty Haryk (*Ocena przydatności yerba mate w produkcji pieczywa o właściwościach prozdrowotnych*) oraz mgr inż. Kalimi Cieślik (*Wpływ owoców oliwnika na jakość chleba pszennego*). Istotne znaczenie w mojej działalności dydaktyczno-naukowej było otrzymanie finansowania tematu pracy magisterskiej dla Pani mgr inż. Małgorzaty Haryk na kwotę 10 000 zł w ramach konkursu na innowacyjne projekty z programu „Młode umysły – Young Minds Project” realizowane przez UPWr., magistrantka otrzymała tym samym stypendium naukowe. W projekcie tym pełniłam funkcję opiekuna naukowego (**Zał. 6, II.5.8; Zał. 8.8; Zał. 10.9**). Przeprowadzone badania pozwoliły na uzyskanie innowacyjnych rozwiązań żywieniowych i technologicznych sposobu zastosowania dodatku z yerba mate – rośliny o wysokiej wartości prozdrowotnej – do otrzymywania wzbogaconego pieczywa pszennego akceptowanego przez konsumenta z jednoczesną wysoką przyswajalnością związków bioaktywnych przez organizm ocenianą podczas symulowanego trawienia *in vitro*. Byłam również recenzentem pracy magisterskiej Pani mgr inż. Katarzyny Statek (*Ocena jakości muffinek z dodatkiem wytlóków z aronii*, kierunek Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka) i licencjackiej Pani Katarzyny Lelek (*Produkty zbożowe jako źródło związków biologicznie aktywnych*, kierunek Żywnienie Człowieka) na Wydziale Biotechnologii i Nauk o Żywności UPWr. Dodatkowo, podnosząc swoje kompetencje zawodowe, brałam udział w licznych szkoleniach dotyczących zagadnień dydaktycznych (**Zał. 6, VII.1.1 - VI.1.3, VII.1.43 - VII.1.50**). Za swoją działalność dydaktyczną zostałam w 2021 roku wyróżniona przez JM Rektora UPWr nagrodą indywidualną III stopnia (**Zał. 6, VI.1.13**).

W ramach działalności organizacyjnej brałam czynny udział w organizacji konferencji o zasięgu międzynarodowym „Man-Food-Health 4th International Conference Wrocław” (2019 rok), byłam członkiem komitetu organizacyjnego konferencji naukowej XXI Międzynarodowej Konferencji Studenckich Kół Naukowych i XXXIII Sejmiku SKN (2018 rok) oraz „Przyszłość w żywności – żywność w przyszłości” XXV Jubileuszowej Sesji Naukowej Sekcji Młodej Kadry Naukowej (2021 rok) (**Zał. 6, II.8.2, II.8.3**). Brałam czynny udział w Dniach Zdrowia organizowanych we Wrocławiu w ramach Światowego Dnia Zdrowia ustanowionego przez WHO (11.04.2015 r.), brałam udział w organizacji stoiska UPWr na Targach Żywności Ekologicznej

i Zdrowego Żywienia TARECO (12-13.03.2016 r.) oraz w organizacji absolutorium na Wydziale Biotechnologii i Nauk o Żywności UPWr w 2014 roku. Dodatkowo byłam zaangażowana w program wsparcia dla studentów przyjeżdżających z zagranicy, jako członek Erasmus Student Network (ESN) UPWr, biorąc jednocześnie udział w programie Mentor ESN Wrocław w latach 2016-2018 (**Zał. 6, II.10.3**). Byłam członkiem Wydziałowej Komisji Elektorów jako przedstawiciel doktorantów UPWr w roku 2016 oraz członkiem Samorządu Doktorantów pełniąc rolę delegata do Sejmiku Samorządu Doktorantów i członkiem wydziałowej komisji ds. zapewniania jakości kształcenia w latach 2016-2017. W ramach SKN „Fructus” wraz z jego członkami przygotowałam produkty promujące UPWr podczas delegacji kolegium prorektorów ds. studenckich i kształcenia. Ponadto moja aktywność naukowo-badawcza została doceniona przez wydawców czasopism naukowych o zasięgu międzynarodowym, ponieważ została zaproszona do zespołu edytorów goszczących do otwarcia numerów specjalnych: dwukrotnie w czasopiśmie *Molecules Food Processing and Its Impact on Phenolic and other Bioactive Constituents in Food* i *Food Processing and Its Impact on Phenolic and Other Bioactive Constituents in Food – Second Edition* oraz trzykrotnie w *Pharmaceuticals Applications of Liquid Chromatography in Analysis of Pharmaceuticals and Natural Products*, *Liquid Chromatography in Analysis of Bioactive Compounds for Pharmaceuticals, Cosmetics, and Functional Food Interest* i *Feature Reviews in Natural Products* (wydawca MDPI) (**Zał. 6, II.12.1 – II.12.4**). Zaproszono mnie również do zespołu recenzentów 30 czasopism naukowych m.in. *Food Chemistry*, *Journal of Food Science and Technology*, *International Journal of Food Science*, *LWT*, *Molecules*, *Antioxidants*, *International Journal of Molecular Sciences*, *Journal of Cereal Science*, *Plant Food for Human Nutrition*, *Food Science and Nutrition*, *Horticulturae*, *Journal of Food and Nutrition Research*, łącznie recenzowałam ponad 193 artykułów naukowych (**Zał. 6, II.4.1 – II.4.6, II.4.10, II.4.11, II.4.13, II.4.39**).

Prowadzona przeze mnie działalność popularyzująca naukę obejmuje prace opublikowane w czasopismach popularno-naukowych i czasopismach branżowych (**Zał. 6, II.8.2, II.8.3**). Brałam czynny udział w przygotowaniu Dni Otwartych Wydziału Biotechnologii i Nauk o Żywności UPWr, które są działalnością promującą działalność UPWr współtworząc warsztaty „Owoce i warzywa – druga strona zmysłów”. Zostałam dwukrotnie zaproszona jako prelegent do wygłoszenia referatów plenarnych na spotkaniach naukowych Polskiego Towarzystwa Technologów Żywności w 2019 roku nt. *Usprawnienie technologii produkcji soku z aronii o wysokiej zawartości związków biologicznie czynnych ograniczoną tendencją do tworzenia się osadów i zmętnień* (**Zał. 6, II.7.61**) oraz Polskiego Towarzystwa Nauk Ogrodniczych w Olsztynie w 2019 r. nt. *Oliwnik wielokwiatowy jako bogate źródło związków o wysokim potencjale prozdrowotnym* (**Zał. 6, II.7.62**). Dodatkowo w latach 2014 do 2019 byłam członkiem Polskiego Towarzystwa Technologów Żywności w oddziale we Wrocławiu (**Zał. 6, II.10.2**), zaś w latach 2013-2015 członkiem Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Przemysłu Spożywczego Podkarpackiego Oddziału Wojewódzkiego z siedzibą w Rzeszowie, gdzie podejmowałam wiele inicjatyw mających na celu popularyzowanie działalności naukowej (**Zał. 6, II.10.1**). Obecnie jestem członkiem Polskiego Towarzystwa Nauk Żywnościowych w oddziale Poznańskim (**Zał. 6, II.10.4**).

*Szczegółowy wykaz mojej aktywności naukowej, dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzatorskiej, w tym współpracy z krajowymi i międzynarodowymi instytucjami naukowymi, kierowania projektami naukowymi oraz współudziału w projektach został zamieszczony w **Załączniku nr 6**.*

VI. Zestawienie dorobku

Na tym etapie mój dorobek naukowy obejmuje 83 publikacje, w tym 12 rozdziałów w monografii, 6 prac popularno-naukowych, 5 prac poglądowych, oraz 60 prace znajdujące się w bazie JCR (z których 37 ukazały się po uzyskaniu stopnia naukowego doktora) o sumarycznym IF równym **190,433** i sumie punktów wg. list ministerialnych **5960** (po uzyskaniu stopnia naukowego doktora: IF=147,482, MEiN=4555; tabela 1 i 2; **zał. 7**). Po wyłączeniu publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe będące podstawą do wszczęcia procedury o nadanie stopnia doktora habilitowanego łączna wartość mojego dodatkowego dorobku naukowego wynosi odpowiednio IF=153,944 i MEiN=5120. Zdecydowana większość moich prac, tj. 80%, stanowiły prace przygotowane i opublikowane w języku angielskim. Jestem również autorem i współautorem 60 wystąpień naukowych prezentowanych w formie prezentacji i posterów na krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych (tabela 1). Mój **indeks Hircha** wg bazy Web of Science, Scopus, i Google Scholar wynoszą odpowiednio **13, 15** i **17**. Odbyłam 40 szkoleń dotyczących m.in. mikrobiota od A do Z – dieta i probiotykoterapia w praktyce; LC – MS/MS od A do Z; Spektrometria mas w chromatografii cieczowej – od podstaw teoretycznych do zastosowań praktycznych w celu poszukiwania nowych rozwiązań oraz pogłębiania wiedzy z zakresu prowadzonych badań naukowych.

Tabela 1. Zestawienie bibliometryczne dorobku naukowego i organizacyjnego

Rodzaj aktywności	Przed uzyskaniem stopnia doktora			Po uzyskaniu stopnia doktora			Łącznie		
	Liczba	IF	MEiN	Liczba	IF	MEiN	Liczba	IF	MEiN
Publikacje naukowe (w tym z listy JCR)	40 (26)	42,951	1405	43 (39)	147,482	4555	83 (60)	190,433	5960
Wygłoszone referaty na konferencjach o zasięgu krajowym i międzynarodowym	21			3			24		
Wygłoszone postery na konferencjach o zasięgu krajowym i międzynarodowym	25			11			36		
Index Hircha wg bazy Web of Science							13		
Index Hircha wg bazy Scopus							15		
Index Hircha wg bazy Google Scholar							17		
Sumaryczna liczba cytowań wg bazy Web of Science							431 (395)		
Sumaryczna liczba cytowań wg bazy Scopus							610 (470)		
Sumaryczna liczba cytowań wg bazy Google Scholar							865		
Kierowanie i uczestnictwo w projektach badawczo-naukowych	3			6			9		
Uczestnictwo w komitetach redakcyjnych czasopisma	0			5			5		
Recenzja manuskryptów							193		
Współpraca z jednostkami naukowymi w Polsce i za granicą	4			10			14		
Liczba staży o zasięgu krajowym i międzynarodowym	1			2			3		
Nagrody za działalność naukową	3			4			7		
Nagrody za działalność dydaktyczną	0			1			1		
Stypendia naukowe za działalność naukową (w tym międzynarodowe)	4			5(1)			9(1)		
Liczba prowadzonych przedmiotów	3			8			10		
Promotor prac magisterskich	0			2			2		
Udział w organizacji konferencji międzynarodowych i krajowych	1			2			3		
Wykłady plenarne	0			2			2		
Szkolenia							40		

Tabela 2. Zestawienie oryginalnych prac twórczych bez uwzględniania monografii

Nazwa czasopisma		Rok publikacji	Liczba publikacji	IF ³	Punkty wg listy MEIN
<i>Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora</i>					
1	Bromatologia. Chemia. Toksykologia	2014	1	0	5
2		2014	1	0	0
3	Recipe	2015	2	0	0
4		2016	2	0	0
5	Episteme	2015	1	0	5
6	BioKurier	2016	1	0	0
7		2016	2	0	10
8	Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny	2017	1	0	20
9		2015	1	0	9
10	Polish Journal of Commodity Science	2016	1	0	9
11	Żywność, Nauka, Technologia	2017	1	0	20
12	Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences	2014	1	0	7
13	Industrial Crops and Products	2015	1	3,449	40
14		2016	1	2,329	35
15	LWT- Food Science and Technology	2018	1	3,714	100
16	Journal of Functional Food	2016	1	3,144	45
17	Journal of Food Processing and Preservation	2016	2	2,301	40
18		2016	1	2,861	30
19	Molecules	2017	2	7,006	280
20	Food Chemistry	2017	1	4,946	200
21		2017	1	1,919	70
22	European Food Research and Technology	2018	4	8,224	280
23	Journal of Food Science	2017	1	2,018	70
24	Journal of Food Science and Technology	2018	1	1,850	70
<i>Razem po uzyskaniu stopnia doktora</i>			32	42,951	1345
<i>Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora</i>					
25	Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny	2019	1	0	20
26		2019	5	11,83	350
27	European Food Research and Technology	2020	1	2,998	70
28		2020	1	7,514	200
29	Food Chemistry	2021	1	9,231	200
30		2019	1	4,006	100
31	LWT- Food Science and Technology	2020	1	4,952	100
32		2019	4	9,801	420
33		2020	3	17,648	560
34	Molecules	2021	2	9,854	280
35		2022	1	4,927	140
36	Scientia Horticulturae	2019	1	2,769	140
37		2019	1	5,014	100
38	Antioxidants	2020	2	12,626	200
39		2021	1	7,675	100
40	Journal of Integrative Agriculture	2019	1	1,984	70
41	Journal of Apicultural Research	2020	1	2,584	70
42	Acta Universitatis Cibiniensis	2020	4	0	560
43		2020	1	5,863	100
44	Pharmaceuticals	2022	1	5,215	100
45	Scientific Reports	2020	1	4,38	140
46	Science of the Total Environment	2020	1	7,963	200
47	Agronomy	2021	1	3,949	100
48	Phytochemistry	2021	1	4,004	100
49	Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus,	2022	1	0,695	100
<i>Razem po uzyskaniu stopnia doktora</i>			39	147,482	4520
RAZEM			71	190,433	5865

³ Impact Factor obowiązujący w roku wydania publikacji