AUTOREFERAT DOTYCZĄCY DZIAŁALNOŚCI NAUKOWO-BADAWCZEJ

ZAŁĄCZNIK 2A

DR INŻ. MARCIN ANDRZEJ KUREK

KATEDRA TECHNIKI I PROJEKTOWANIA ŻYWNOŚCI
WYDZIAŁ NAUK O ŻYWIENIU CZŁOWIEKA I KONSUMPCJI
SZKOŁA GŁÓWNA GOSPODARSTWA WIEJSKIEGO W WARSZAWIE

Warszawa, 2018

SPIS TREŚCI

1. DANE OSOBOWE 5

1.1. Imiona i nazwisko 5

1.2. Posiadane dyplomy (stopnie naukowe) 5

1.3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych 6

2. OSIĄGNIĘCIE STANOWIĄCE PODSTAWĘ POSTĘPOWANIA HABILITACYJNEGO 7

2.1. Tytuł osiągnięcia naukowego 7

2.2. Publikacje prezentujące wyniki badań stanowiące osiągnięcie habilitacyjne 7

2.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania 8

2.3.1. Wprowadzenie 8

2.3.2. Cel naukowy 13

2.3.3. Omówienie wyników prac 14

2.3.4. Podsumowanie 29

2.3.5. Piśmiennictwo 31

3. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH 36

3.1. Omówienie prac w grupach tematycznych 38

3.1.1. Wpływ dodatku β-glukanu na jakość produktów piekarskich 38

3.1.2. Analiza jakości produktów cukierniczych z dodatkiem błonnika pokarmowego oraz substancji słodzących 40

3.1.3. Analiza wpływu diety zwierząt, dojrzewania, przechowywania oraz obróbki cieplnej na właściwości fizykochemiczne mięsa 42

3.1.4. Jakość produktów piekarskich w zależności od stosowanych mąk i błonnika pokarmowego 43

3.1.5. Oddziaływanie błonnika pokarmowego na jakość makaronu 44

3.1.6. Wielkość cząstki błonnika pokarmowego i jej wpływ na właściwości fizyczne błonnika i jakość produktów piekarskich 45

3.2. Podsumowanie przebiegu pracy naukowo-badawczej 47

1. DANE OSOBOWE

1.1. Imiona i nazwisko

Marcin Andrzej Kurek

1.2. Posiadane dyplomy (stopnie naukowe)

2016 **Studia podyplomowe**, kierunek: Systemy informatyczne, aplikacje i bazy danych, Wydział Informatyki, Polsko-Japońska Wyższa Szkoła Technik Komputerowych

2015 **Doktor nauk rolniczych**, dyscyplina: technologia żywności i żywienia, Wydział Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, tytuł rozprawy: „Wpływ dodatku i stopnia mikronizacji preparatów błonnikowych na kształtowanie wybranych cech jakościowych pieczywa"; promotor: prof. dr hab. Agnieszka Wierzbicka, promotor pomocniczy: dr inż. Jarosław Wyrwisz; dyplom z wyróżnieniem

2014 **Licencjat**, kierunek: ekonomia menadżerska, Wydział Ekonomii i Zarządzania, Uczelnia Łazarskiego, tytuł pracy: „Franczyza jako zewnętrzne źródło finansowania przedsiębiorstwa"; promotor: dr Tadeusz Teofil Kaczmarek; dyplom z wyróżnieniem

2013 **Magister**, kierunek: technologia żywności i żywienie człowieka, Wydział Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, tytuł pracy: „Zastosowanie chromatografii cieczowej sprzężonej z tandemowym spektrometrem mas (LC-MS-APCI-IT) w badaniu zmian zawartości witaminy E w mięsie wieprzowym"; promotor: dr hab. Arkadiusz Szterk

2013 Roczny program **Akademii Młodych Dyplomatów**, Europejska Akademia Dyplomacji

2012 **Inżynier**, kierunek: technologia żywności i żywienie człowieka, Wydział Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, tytuł pracy: Analiza wpływu obróbki termicznej na zmiany barwy mięsa; promotor: dr inż. Magdalena Zalewska

1.3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

01.2017 – aktualne	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji, Katedra Techniki i Projektowania Żywności, **Kierownik Projektu LIDER**: Mikrokapsułkowanie jako technika zwiększania aplikacyjności beta-glukanu w przemyśle spożywczym; nr: LIDER/25/0022/L-7/15/NCBR/2016
11.2016 – aktualne	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji, Katedra Techniki i Projektowania Żywności – **adiunkt**
09.2013 – 10.2016	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji, Katedra Techniki i Projektowania Żywności – **asystent naukowy**, praca w projekcie „BIOPRODUKTY, innowacyjne technologie wytwarzania prozdrowotnych produktów piekarskich i makaronu o obniżonej kaloryczności"; nr: UDA-POIG.01.03.01-14-041/12
06.2014 – 06.2015	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji, Katedra Techniki i Projektowania Żywności – **pracownik naukowy** w projekcie „Optymalizacja produkcji wołowiny w Polsce, zgodnie ze strategią „od widelca do zagrody"; nr: POIG.01.03.01-00-204/09

2. OSIĄGNIĘCIE STANOWIĄCE PODSTAWĘ POSTĘPOWANIA HABILITACYJNEGO

2.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Osiągnięciem naukowym stanowiącym podstawę postępowania habilitacyjnego zgodnie 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 (tekst jedn.: Dz. U. z 2014 r. poz. 1852 oraz z 2015 r. poz. 249 i 1767.) jest cykl pięciu publikacji naukowych powiązanych tematycznie pt.: „**Badania nad wykorzystaniem błonnika pokarmowego w produkcji żywności – podejście technologiczno-żywieniowe**"

2.2. Publikacje prezentujące wyniki badań stanowiące osiągnięcie habilitacyjne

H.1. Kurek, M. A., Wyrwisz, J., Karp, S., & Wierzbicka, A. (2017). Particle size of dietary fiber preparation affects the bioaccessibility of selected vitamin B in fortified wheat bread. *Journal of Cereal Science*, *77*, 166-171 (IF: 2,302; MNiSW: 35)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współtworzeniu koncepcji artykułu, dokonaniu przeglądu literatury, wykonaniu doświadczeń i opracowaniu metodyk, przygotowania manuskryptu i pełnieniu roli autora korespondencyjnego. Mój udział procentowy wynosi 70%.

H.2. Kurek, M. A., Wyrwisz, J., Karp, S., & Wierzbicka, A. (2018). Effect of fiber sources on fatty acids profile, glycemic index, and phenolic compound content of in vitro digested fortified wheat bread. *Journal of Food Science and Technology*, *55(5):*1632-1640 (IF: 1,797; MNiSW: 35)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na tworzeniu koncepcji artykułu, dokonaniu przeglądu literatury, wykonaniu doświadczeń i opracowaniu metodyk, przygotowania manuskryptu i pełnieniu roli autora korespondencyjnego. Mój udział procentowy wynosi 70%.

H.3. Kurek, M. A., Karp, S., Wyrwisz, J., & Niu, Y. (2018). Physicochemical properties of dietary fibers extracted from gluten-free sources: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), amaranth (*Amaranthus caudatus*) and millet (*Panicum miliaceum*). *Food Hydrocolloids*, *85,* 321-330 (IF: 5,089; MNiSW: 45)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na tworzeniu koncepcji artykułu, dokonaniu przeglądu literatury, wykonaniu doświadczeń, przygotowania manuskryptu i pełnieniu roli autora korespondencyjnego. Mój udział procentowy wynosi 70%.

H.4. **Kurek, M. A.,** Karp, S., Stelmasiak, A., Pieczykolan, E., Juszczyk, K., & Rieder, A. (2018). Effect of natural flocculants on purity and properties of β-glucan extracted from barley and oat. *Carbohydrate Polymers*, *188*, 60-67 (IF: 5,158; MNiSW: 40)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na tworzeniu koncepcji artykułu, dokonaniu przeglądu literatury, wykonaniu części doświadczeń, przygotowania manuskryptu i pełnieniu roli autora korespondencyjnego. Mój udział procentowy wynosi 55%.

H.5. **Kurek, M.A.,** Moczkowska, M., Pieczykolan, E., Sobieralska, M. (2018). Barley β-D-glucan – modified starch complex as potential encapsulation agent for fish oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120, 596-602 (IF: 3,909; MNiSW: 35)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współtworzeniu koncepcji artykułu, dokonaniu przeglądu literatury, wykonaniu doświadczeń i opracowaniu metodyk, przygotowania manuskryptu, pełnieniu roli autora korespondencyjnego oraz analizie statystycznej. Mój udział procentowy wynosi 65%.

Łączny Impact Factor (IF) dla pięciu prac wynosi **18,255**. Suma punktów według ujednoliconej oceny czasopism za lata 2013 – 2016 opublikowanej w dniu 26.01.2017 przez MNiSW wynosi **190**. Kopie prac wchodzących w skład jednotematycznego cyklu publikacji stanowiącego osiągnięcie naukowe wraz z oświadczeniami współautorów określających ich wkład w powstanie każdej publikacji stanowią Załącznik 4.

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

2.3.1. Wprowadzenie

Błonnik pokarmowy – definicja i podział

Zgodnie z definicją zaproponowaną w 2001 roku przez American Association of Cereal Chemists International błonnik pokarmowy to jadalne części roślin bądź analogi węglowodanów, które są oporne na trawienie i wchłanianie w ludzkim jelicie cienkim i jednocześnie ulegają całkowitej lub częściowej fermentacji w jelicie grubym. Do błonnika pokarmowego zaliczane są polisacharydy, oligosacharydy, lignina i powiązane substancje roślinne. Błonnik pokarmowy wpływa pozytywnie na fizjologię człowieka, włączając w to właściwości przeczyszczające, obniżenie poziomu cholesterolu we krwi czy obniżenie poziomu glukozy we krwi (DeVries et al., 2001). Obecne zalecenia wielu ośrodków naukowych zajmujących się żywieniem człowieka kształtują się w taki sposób, aby dzienne spożycie błonnika pokarmowego wynosiło około 25-30 gramów na osobę na dzień. W większości krajów

świata spożycie błonnika pokarmowego kształtuje się na poziomie niższym niż zalecany. W krajach uprzemysłowionych ta ilość to około 15-18 gramów na osobę na dzień., Z tego powodu prowadzone są bardzo intensywne badania naukowe, technologiczne i przemysłowe mające na celu zmienić ten stan rzeczy.

Błonnik pokarmowy jest grupą związków niejednorodnych chemicznie. Wszystkie frakcje błonnika pokarmowego łączy fakt, że są zbudowane z cukrów, natomiast już ich konformacje, możliwości wiązań i długości łańcuchów polimerowych sprawiają, że błonnik pokarmowy jest składnikiem diety o bardzo szerokim spektrum działania na fizjologię człowieka. Te cechy budowy również wpływają na właściwości technologiczne błonnika pokarmowego. Najpowszechniejszym podziałem błonnika pokarmowego jest podział na frakcje rozpuszczalne i nierozpuszczalne w wodzie. Do frakcji nierozpuszczalnych zalicza się m.in. celulozy, hemicelulozy ekstrahowane z roztworów kwaśnych, ligniny. Natomiast frakcje rozpuszczalne stanowią m.in. pektyny, hemicelulozy obojętne, β-glukany, inulina, oligosacharydy, ksantany, alginiany. Jednakże najnowsze badania dowodzą tego, że podział ten jest dość umowny, ponieważ rozpuszczalność błonnika pokarmowego jest zależna od jego formy chemicznej, która może być modyfikowana za pomocą różnych zabiegów technologicznych (Burton-Freeman, Liyanage, Rahman, & Edirisinghe, 2017; Liu et al., 2016; Maicaurkaew, Jogloy, Hamaker, & Ningsanond, 2017). Z tego powodu coraz częściej spotykany jest podział na błonnik pokarmowy, który ulega bądź nie ulega fermentacji w jelicie grubym (Berer et al., 2018).

Podczas mojej pracy naukowej zaobserwowałem, że istnieją frakcje błonnika pokarmowego, które są rozpuszczalne w wodzie, ale w zależności od masy cząsteczkowej są lub nie są rozpuszczalne w etanolu, gdy jego zawartość w roztworze wyniesie ponad 50% (**H.3; H.4**). Ma to uzasadnienie w tym, co odkryli inni badacze, że na rozpuszczalność błonnika pokarmowego ma bardzo duże znaczenie jego masa cząsteczkowa. Z tego powodu coraz częściej obserwuje się podział na błonnik pokarmowy o wysokiej masie cząsteczkowej (ang. *high molecular weight dietary fiber* (HMWDF)) – hemicelulozy, pektyny, β-glukan, gumy i śluzy, celuloza, lignina; na błonnik o niskiej masie cząsteczkowej (ang. *low molecular weight dietary fiber* (LMWDF)) – fruktany i galaktooligosacharydy; błonniki syntetyczne – polidekstroza, różne pochodne dekstryn; skrobia oporna – różne typy skrobi opornej od RS1 do RS5.

Rola błonnika pokarmowego w żywieniu człowieka

Pomimo tego, że błonnik pokarmowy nie jest trawiony w przewodzie pokarmowym człowieka, to jednak pełni istotne funkcje w organizmie ludzkim. Błonnik pokarmowy jest bardzo ważnym składnikiem pokarmowym zapewniającym właściwe funkcjonowanie organizmu ludzkiego, jak i prewencję wobec szeregu chorób dietozależnych. Według konsumentów spożycie błonnika pokarmowego jest najczęściej kojarzone ze zmniejszeniem ryzyka zachorowania na choroby

układu krążenia, cukrzycę oraz nowotwory, w szczególności te, które występują w układzie pokarmowym np. jelita grubego oraz poprawą perystaltyki układu pokarmowego (Huang, Xu, Lee, Cho, & Qi, 2015). Z punktu widzenia systematycznego podejścia do roli, jaką odgrywa błonnik pokarmowy w organizmie człowieka należy wyszczególnić kilka niżej podanych funkcji.

- **Zwiększenie masy kałowej**. Dieta wysokobłonnikowa wpływa na tworzenie się masy o zwiększonej miękkości i objętości w jelicie grubym, co powoduje jego zwiększoną perystaltykę przesuwając zawartość do wydalania. Rola nierozpuszczalnych frakcji błonnika pokarmowego w zwiększaniu masy kałowej oraz skracaniu czasu pasażu jelitowego jest poznana i dobrze opisana w literaturze od wielu lat (Dahl, Lockert, Cammer, & Whiting, 2005).
- **Zmniejszenie poziomu cholesterolu we krwi**. Zmniejszenie poziomu cholesterolu we krwi jest również dobrze opisanym mechanizmem w literaturze. Wpływ na obniżenie cholesterolu we krwi jest ściśle związany z frakcjami błonnika rozpuszczalnego, ponieważ tworzy w jelicie cienkim lepką warstwę, która wpływa na zwiększenie lepkości całej treści znajdującej się w jelicie. Powoduje to obniżenie reabsorbcji kwasów żółciowych, co w efekcie prowadzi do wzmożonej ich syntezy z cholesterolu, co powoduje zmniejszenie jego poziomu we krwi (Othman, Moghadasian, & Jones, 2011).
- **Zmniejszenie poziomu glukozy poposiłkowej**. Podobny mechanizm jest odpowiedzialny za obniżenie poziomu glukozy poposiłkowej. Frakcje błonnika pokarmowego w połączeniu z sokami trawiennymi stają się lepkie (np. β-glukan, pektyny, gumy) i gęstsze. Powoduje to dłuższe opróżnianie treści żołądka, zwiększenie czasu pasażu jelitowego, jak i zmniejszenie stopnia trawienia skrobi, co przedkłada się na niższą zawartość glukozy, która może być zaabsorbowana (Garcia et al., 2007; **H.2.**).
- **Wpływ prebiotyczny**. Błonnik pokarmowy jest prebiotykiem, ponieważ wpływa pozytywnie na zwiększenie ilości bakterii w przewodzie pokarmowym człowieka, w szczególności bifidobakterie oraz pałeczki kwasu mlekowego, które wytwarzają krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe o pozytywnym wpływie na organizm gospodarza. Poza tym, bifidobakterie są konkurentami wobec bakterii patogennych, jak i stymulują układ odpornościowy i syntetyzują niektóre witaminy z gruby B w przewodzie pokarmowym człowieka (Niness, 1999).
- **Wpływ na regulację masy ciała**. Odkryto, że zwiększona lepkość β-glukanu (rozpuszczalna frakcja błonnika pokarmowego) wpływa pozytywnie na przedłużenie podwyższonego poziomu cholecystokininy, co powoduje przedłużone uczucie sytości (Pentikäinen et al., 2014).
- **Inne mechanizmy**. Istnieje szereg innych, nie mniej ważnych mechanizmów o charakterze prozdrowotnym, które są specyficzne dla poszczególnych substancji

klasyfikowanych jako błonnik pokarmowy. Należy do nich: pozytywny wpływ na absorbcję minerałów; ochronny wpływ na błonę śluzową jelita cienkiego; zdolności antyoksydacyjne; obniżanie ryzyka zachorowania na raka (Greenwood, Cade, White, Burley, & Schorah, 2004; Sánchez-Zapata, Viuda-Martos, Fernández-LÓpez, & Pérez-Alvarez, 2015; Willats, Knox, & Mikkelsen, 2006).

Istnieją również badania, które ukazują, że błonnik pokarmowy może wpływać niekorzystnie na biodostępność niektórych substancji odżywczych, takich jak mikroskładniki czy witaminy lub inne składniki odżywcze. Udowodniono, że błonnik pokarmowy może zmniejszać biodostępność i wchłanialność antyokdysantów (np. z grupy polifenoli), czy witamin rozpuszczalnych w wodzie (**H.1.**; Palafox-Carlos, Ayala-Zavala, & González-Aguilar, 2011; Pérez-Jiménez et al., 2009).

Właściwości technologiczne błonnika pokarmowego

Błonnik pokarmowy posiada szereg właściwości technologicznych, które sprawiają, że jest to interesujący składnik żywności z perspektywy producentów żywności. Większość błonników nierozpuszczalnych jest w stanie wchłonąć w swoją strukturę wodę, co określa się mianem wodochłonności. Jest to bardzo istotna właściwość funkcjonalna błonnika pokarmowego, ponieważ dzięki temu można zmniejszać gęstość kaloryczną żywności, a jednocześnie wzbogacać ją w błonnik pokarmowy (Kurek, Piwińska, Wyrwisz, & Wierzbicka, 2015). Wodochłonność błonnika jest cechą szczególnie korzystną wszędzie tam, gdzie należy uniknąć synerezy lub modyfikować lepkość czy teksturę gotowych produktów. Błonnik pokarmowy nie tylko chłonie wodę, ale również i olej, co sprawia, że błonnik pokarmowy może być stosowany z powodzeniem w żywności o wysokiej zawartości tłuszczu bądź o charakterze emulsyjnym przy jednoczesnym zmniejszeniu ich kaloryczności. Zarówno na wodo-, jak i olejochłonność wpływa budowa chemiczna błonnika pokarmowego i jest ona uzależniona od warunków procesowych np. temperatury.

Dodatkową cechą błonnika pokarmowego, obserwowaną głównie w przypadku błonników rozpuszczalnych, jest lepkość. Dzięki wzrostowi lepkości produktu utrzymywana jest lepsza struktura i tekstura (**H.3.**). Dzięki wzrastającej lepkości błonnika pokarmowego, można go stosować jako zagęstnik lub składnik strukturotwórczy. Bardzo istotną zaletą, która dopiero zaczyna być wykorzystywana na skalę przemysłową jest to, że błonnik pokarmowy posiada właściwości antyokdysacyjne. Z tego względu błonniki pokarmowe mogą być stosowane jako materiały powlekające w technologii mikrokapsułkowania substancji o wysokiej skłonności do utleniania (np. tłuszczu) (Elleuch et al., 2011; **H.5.**).

Możliwości pozyskiwania błonnika pokarmowego

Błonnik pokarmowy często znajduje się już w gotowym produkcie z uwagi na fakt, że jest on zawarty w surowcu wykorzystanym w produkcji. Jednakże, coraz częściej stosowane są technologie fortyfikacji produktów w błonnik pokarmowy, więc istnieje konieczność jego pozyskania, najczęściej na drodze ekstrakcji. Obecnie wyróżnia się kilka głównych metod ekstrakcji błonnika pokarmowego, takich jak: metody chemiczne, metody enzymatyczne, enzymatyczno-chemiczne czy enzymatyczne wspomagane ultradźwiękami bądź mikrofalami. Każda z tych metod wpływa na właściwości technologiczne oraz właściwości fizjologiczne błonnika pokarmowego. Metody chemiczne są metodami, które wykorzystują środowisko zasadowe bądź środowisko kwasowe do uwolnienia struktur komórki roślinnej w celu pozyskania błonnika pokarmowego. Jednakże, badania wykazują, że nie są to skuteczne metody pozyskiwania błonników pokarmowych rozpuszczalnych, ponieważ warunki ekstrakcji chemicznej są mało specyficzne i prowadzą do niskiej wydajności (Ahmad, Anjum, Zahoor, Nawaz, & Ahmed, 2010). Ponadto, przy produkcji na skalę przemysłową pozostaje nierozwiązany problem dużych ilości roztworów szkodliwych dla środowiska.

Nieco bardziej skuteczną i uniwersalną metodą ekstrakcji błonnika pokarmowego, która umożliwia zachowanie nie tylko frakcji nierozpuszczalnych, ale również i rozpuszczalnych jest metoda enzymatyczna, która polega na wielostopniowym poddawaniu surowca trawieniu przez różne enzymy (najczęściej alfa-amylazę, proteazę i lipazę). Błonnik pokarmowy nie jest trawiony przez te enzymy, więc pozostaje w roztworze do końca prowadzonej inkubacji. Metoda enzymatyczna umożliwia najlepsze zachowanie właściwości błonnika rozpuszczalnego (Daou & Zhang, 2014; **H.3.**). Metody enzymatyczno-chemiczne są kompromisem między wyższą wydajnością, a utrzymaniem właściwości technologicznych błonnika pokarmowego. Jednakże zmiany zachodzące w innych składnikach odżywczych, jak np. w białkach, po uprzednim kontakcie z silnymi zasadami bądź kwasami działają na niekorzyść odzyskiwania błonnika o żądanych parametrach (Ma & Mu, 2016).

Ekstrakcję enzymatyczną można wspomagać ultradźwiękami ponieważ wywołują one zmiany w surowcu roślinnym, co intensyfikuje procesy fizyczne czy oparte na wymianie masy. Dzięki zastosowaniu ultradźwięków jest możliwe szybkie ściskanie i rozprężanie materiału na skutek przechodzącej fali akustycznej oraz wywołanie kawitacji, co powoduje miejscowy wzrost temperatury oraz ciśnienia. Ultradźwięki mogą być zarówno indywidualną metodą pozyskiwania błonnika pokarmowego, jak i procesem wspomagającym (**H.3.**).

Podczas ekstrakcji enzymatycznej degradacji ulegają głównie makroskładniki takie jak skrobia czy białka. Procesy ekstrakcji są naprzemienne z procesami wirowania lub oddzielania roztworów od cząstek stałych. Udowodniono, że na właściwości błonnika pokarmowego

wpływa jego ładunek elektryczny, który jest zależny od obecności mikroelementów w roztworze (lub zawiesinie), w którym znajduje się błonnik pokarmowy. Z tego względu podczas pracy habilitacyjnej opracowano innowacyjną metodę wspomagania ekstrakcji błonnika pokarmowego (β-glukanu) za pomocą flokulacji, co umożliwia oczyszczenie błonnika pokarmowego dzięki związaniu mikroelementów w duże agregaty i ich odwirowaniu (**H.4.**).

Prezentowany jako osiągnięcie naukowe zbiór publikacji pod tytułem: „Badania nad wykorzystaniem błonnika pokarmowego w produkcji żywności – podejście technologiczno-żywieniowe" zawiera nowe elementy poznawcze w zakresie nowych informacji pod kątem biodostępności witamin obecnych w modelowej matrycy żywnościowej oraz wpływu błonnika pokarmowego z różnych źródeł na biodostępność kwasów tłuszczowych, związków fenolowych oraz trawienia skrobi. Ponadto, w pracy opisano właściwości technologiczne błonników pokarmowych pozyskiwanych z komosy ryżowej, szarłatu oraz prosa zwyczajnego pozyskiwanych za pomocą trzech różnych metod, jak i opisano metodę ekstrakcji β-glukanu z wykorzystaniem flokulantów. Opisano również właściwości antyoksydacyjne przy zastosowaniu frakcji błonnika rozpuszczalnego, jakim jest β-glukan, do mikrokapsułkowania oleju rybiego.

2.3.2. Cel naukowy

Głównym celem naukowym osiągnięcia, będącego podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego zgodnie z wymogami ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r., Nr 65, poz. 595, z póź. zm.), a także zgodnie z wymogami ustawy z dnia 27 lipca 2005 r. Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz.U. 2005 Nr 164 poz. 1365 z póź. zm.) i zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 26 września 2016 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. 2016, poz.1586). jest analiza możliwości wykorzystania błonnika pokarmowego w produkcji żywności z uwzględnieniem jego wpływu na wartość odżywczą oraz właściwości technologiczne.

Cele szczegółowe to:

- zbadanie wpływu zastosowania błonnika pokarmowego różnego pochodzenia w modelowej matrycy żywnościowej (pieczywo pszenne) na wartość odżywczą i biodostępność składników odżywczych (**H.1.; H.2.**);

- analiza oddziaływania metod ekstrakcji błonnika pokarmowego na właściwości technologiczne (**H.3; H.4.**);
- weryfikacja możliwości zastosowania błonnika pokarmowego w charakterze materiału powlekającego w technologii mikrokapsułkowania (**H.5.**).

W pracy postawiono następujące hipotezy badawcze:

- wielkość cząstki błonnika pokarmowego ma wpływ na biodostępność wybranych witamin z grupy B zawartych w matrycy żywnościowej
- zastosowanie błonników pokarmowych różnego pochodzenia wpływa na właściwości odżywcze i biodostępność składników odżywczych zawartych w matrycy żywnościowej
- istnieje możliwość wysokiej wydajności ekstrakcji błonnika pokarmowego o korzystnych właściwościach fizykochemicznych ze źródeł bezglutenowych
- zastosowanie flokulantów wspomaga ekstrakcję β-glukanu
- β-glukan może stanowić składnik materiału powlekającego wykorzystywanego w mikrokapsułkowaniu oleju rybiego.

2.3.3. Omówienie wyników prac

2.3.3.1. Wpływ błonnika pokarmowego na biodostępność składników odżywczych w modelowej matrycy żywnościowej

Pieczywo jest jednym z głównych produktów, w których występuje błonnik pokarmowy, ponieważ znajduje się on w mące, która jest produktem przemiału zbóż. W typowym pieczywie pszennym znajduje się od 2 do 4 g błonnika na 100g produktu; a w przypadku pieczywa pełnoziarnistego ta ilość może sięgać nawet 8 g na 100g produktu. Pieczywo jest jednym z najbardziej rozpowszechnionych produktów na świecie, stąd może pełnić rolę modelowej matrycy żywnościowej w celu określania wpływu różnych dodatków, substancji uzupełniających czy biodostępności składników. Za „biodostępność" uważa się tę część danego związku, który jest uwalniany z matrycy w przewodzie pokarmowym i przez to staje się dostępny do wchłonięcia przez jelito (Benito & Miller, 1998).

Wzbogacanie pieczywa w błonnik pokarmowy istnieje już w technologii żywności od wielu lat. Jednym z powodów, dla których pieczywo jest wzbogacane w błonnik jest to, że coraz więcej badań wskazuje na fakt pozostałości zanieczyszczeń rolniczych (jak pozostałości pestycydów czy metali ciężkich), jak i mykotoksyn w produktach pochodzących z pełnego przemiału (Cheli et al., 2010). Dodatkowo, pieczywo jasne (pszenne) jest produktem o wysokim

indeksie glikemicznym w związku z posiadaniem w składzie skrobi ulegającej szybkiemu trawieniu (tzw. *rapidly digestible starch*) (Sui, Zhang, & Zhou, 2016).

O ile w literaturze znane są badania wpływu mielenia na zawartości witamin w pieczywie czy wpływie różnych sposobów produkcji na ich biodostępność, to badanie określające biodostępność wybranych witamin z grupy B z pieczywa w modelowym układzie trawienia *in vitro* w zależności od wielkości cząstki zastosowanego w produkcji pieczywa błonnika pokarmowego *s*tanowi wyróżniający się wkład w obszar nauk o żywieniu człowieka (**H.1.**). Kolejnym obszarem, jaki został przeze mnie opisany jest wpływ błonników różnego pochodzenia na profil kwasów tłuszczowych, indeks glikemiczny oraz zawartość związków fenolowych w pieczywie poddanym również trawieniu *in vitro* (**H.2.**).

Materiałem do badań biodostępności wybranych witamin z grupy B (tiaminy, ryboflawiny, niacyny oraz pirydoksyny) był chleb pszenny z dodatkiem preparatu błonnika pokarmowego o zawartości błonnika 44g na 100g produktu (**H.1.**). Doświadczenie skonstruowałem w ten sposób, aby do produkcji pieczywa był użyty preparat błonnika pokarmowego w takiej ilości, aby zawartość błonnika ogółem wynosiła w pieczywie 2,1; 7,2 oraz 12,3% i w każdej z tych grup zastosowano różne wielkości cząstek błonnika pokarmowego – 280, 190 i 100 μm. Po wypieku pieczywo było poddane trawieniu zgodnie z protokołem zaproponowanym w międzynarodowym konsensusie w sprawie standaryzowanego modelu trawienia *in vitro* z drobnymi modyfikacjami (Minekus et al., 2014; Oomen et al., 2003).

Ten sam model trawienia był użyty w badaniu dotyczącym wpływu błonników różnego pochodzenia na zawartość kwasów tłuszczowych, biodostępność skrobi oraz związków fenolowych ze zmianą zawartości enzymów wg Zhang, Huang, & Ou (2011) (**H.2.**). Materiałem do badań był chleb pszenny, w którym mąkę pszenną zastąpiono w taki sposób, aby zawartość błonnika ogółem wynosiła 6g na 100g produktu. Błonnik pokarmowy pochodził z trzech różnych źródeł – owsa (charakterystyczna wysoka zawartość β-glukanu); lnu (charakterystyczna wysoka zawartość śluzów) oraz jabłka (charakterystyczna wysoka zawartość pektyn).

W przypadku badań biodostępności witamin z grupy B wykorzystano metodę oznaczania witamin za pomocą wysokosprawnej chromatografii cieczowej wg metody Ekinci & Kadakal (2005). W badaniach profilu kwasów tłuszczowych posłużono się metodą badania zawartości estrów metylowych kwasów tłuszczowych po uprzedniej ekstrakcji tłuszczu za pomocą eteru naftowego i acetonu. Indeks glikemiczny był oznaczany metodą in vitro biorąc pod uwagę stopień hydrolizy skrobi wg metody opracowanej przez Goñi, Garcia-Alonso, & Saura-Calixto (1997). Zawartość związków fenolowych zmierzono za pomocą metody Folina-Ciocalteu.

W pracy **H.1.** jako metodę statystyczną zastosowano metodologię powierzchni odpowiedzi, której celem było znalezienie optymalnego stopnia zastąpienia mąki pszennej błonnikiem pokarmowym o optymalnej wielkości cząstki przy maksymalnym poziomie biodostępności wybranych witamin z grupy B.

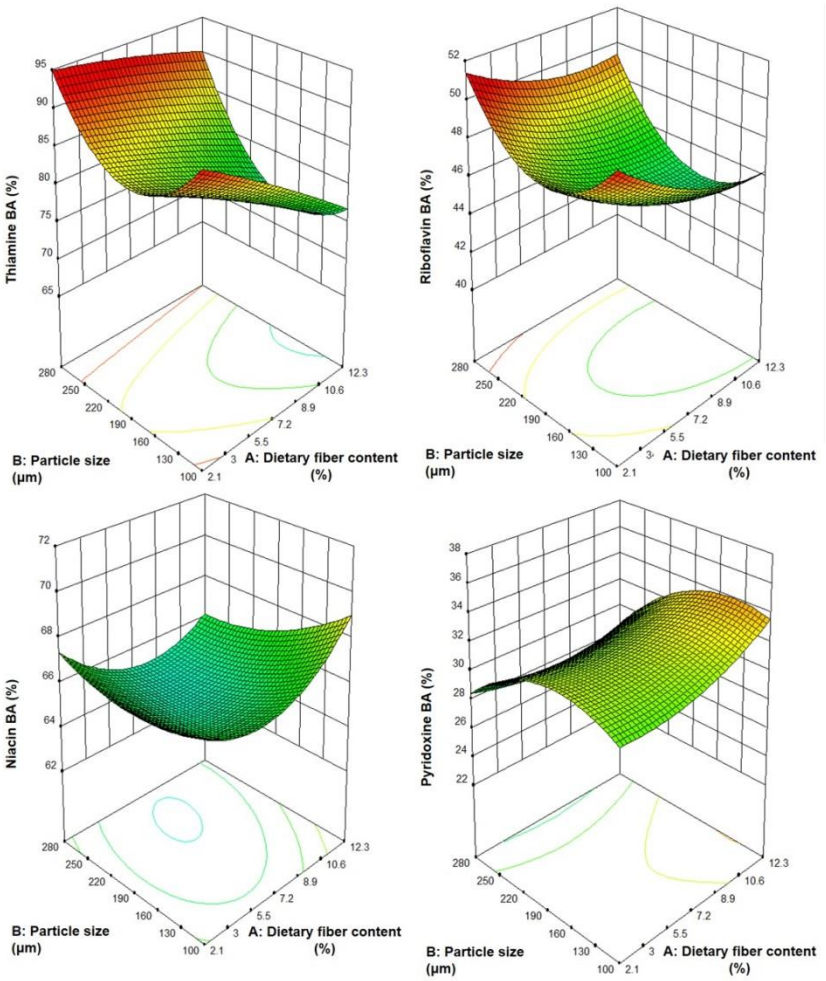
Przed podjęciem badań biodostępności w pracy **H.1.** zbadano zawartość witamin z grupy B w pieczywie przed poddaniem go trawieniu. Najwyższa zawartość tiaminy była obecna w próbach, gdzie wielkość cząstki błonnika wynosiła 190μm oraz zawartość błonnika 12,3% (0,510 mg/100g). Zawartość tiaminy w pieczywie jednak jest dość ciężko porównywalna do innych badawczy, ponieważ silnie zależy od użytej mąki. Tiamina jest bowiem używana do fortyfikacji mąk pszennych w wielu krajach (Tiong, Chandra-Hioe, & Arcot, 2015). W przypadku ryboflawiny i pirydoksyny najwyższą wartość osiągnięto w przypadku próby pieczywa o zawartości błonnika na poziomie 2,1% przy 190 μm wielkości cząstki błonnika. W innych badaniach, jak na przykład u Nurit, Lyan, Pujos-Guillot, Branlard, & Piquet (2016) zaobserwowano, że większa zawartość witamin z grupy B była oznaczana w pieczywie, do fortyfikacji którego użyto otrąb pszennych o większej wielkości cząstek. W moich badaniach tendencja była podobna, a ewentualne różnice mogą być wytłumaczone tym, że dodawanym błonnikiem był błonnik owsiany, który charakteryzuje się innym poziomem zawartości witamin z grupy B niż otręby pszenne. Pomiędzy grupami badawczymi, które różniły się zawartością błonnika pokarmowego oraz wielkością jego cząstki również obserwowano zmiany zawartości witamin, co może być wytłumaczone poprzez inną termodynamikę reakcji zachodzących podczas pieczenia. Ta inna termodynamika jest spowodowana inną zawartością wody w poszczególnych próbach, ponieważ wyższa zawartość błonnika pokarmowego niesie ze sobą konieczność podwyższania zawartości wody, aby utrzymać te same właściwości reologiczne ciasta.

Dostępność biologiczną przedstawiono na Rys. 1 jako odsetek witamin, których nie można było odzyskać po trawieniu. Oś A reprezentuje zawartość błonnika pokarmowego w próbce, oś B to wielkość cząstek błonnika pokarmowego. Biodostępność tiaminy została wcześniej oceniona we frakcjach aleuronowych z pszenicy durum (Zaupa i wsp., 2014) lub otrębach kukurydzianych (Yu i Kies, 1993) i mieści się w zakresie od 75 do 95%. Wielkość cząstek miała również wpływ na dostępność biologiczną ryboflawiny w ujęciu liniowym i kwadratowym w moim badaniu, a wpływ zawartości błonnika pokarmowego był mniej znaczący ($p \leq 0,05$). Bardziej dopasowany model uzyskano dla biodostępności niacyny i pirydoksyny (brak dopasowania odpowiednio - 0,925 i 0,982).

Biodostępność niacyny była istotnie zależna od zawartości błonnika pokarmowego ($p \leq 0,01$) i wielkości cząstki ($p \leq 0,05$). Interakcja między zawartością błonnika pokarmowego i wielkością cząstki znacząco wpłynęła również na biodostępność niacyny i pirydoksyny.

Przeprowadzone przeze mnie badania dotyczyły środowiska *in vitro*, więc wyniki mogą nieznacznie różnić się od wyników uzyskanych od innych naukowców, którzy mierzą biodostępność, która jest bardziej złożonym parametrem (Carbonell-Capella, Buniowska, Barba, Esteve, & Frígola, 2014).

Rysunek 1. Biodostępność wybranych witamin z grupy B przy zmiennej zawartości błonnika pokarmowego i wielkości jego cząstki (**H.1.**)



Trawienie *in vitro* traktowane jest jako model opisu procesów zachodzących w przewodzie pokarmowym człowieka. Metoda zastosowana w badaniu mogła opisywać zachowanie witamin w ludzkim ciele podczas trawienia, ponieważ zastosowano ciągły system, co oznacza, że soki trawienne są sukcesywnie dodawane (Cardoso, Afonso, Lourenço, Costa, & Nunes, 2015).

Optymalizacja numeryczna przetwarzania zmiennych, wielkości cząstki i zawartości błonnika, została przeprowadzona w celu osiągnięcia maksymalnych możliwych wartości biodostępności dla wybranych witamin w tym badaniu. Optymalne wartości uzyskano po

przypisaniu modeli do zmiennych niezależnych przy jednoczesnym zastrzeżeniu, że zawartość błonnika pokarmowego powinna wynosić więcej niż 6 g / 100 g produktów, aby uzyskać produkt, który zapewnia oświadczenie żywieniowe o wysokiej zawartości błonnika i wielkości cząstek w zakresie 100-280 μm. Optymalne wartości oceniono jako 6,17 % dla zawartości błonnika pokarmowego i 124,12 μm jako wielkości cząstki.

W pracy **H.2.** oceniono zawartość kwasów tłuszczowych obecnych w pieczywie przed trawieniem oraz po trawieniu, zarówno pod kątem indywidualnych kwasów tłuszczowych, jak i grup nasyconych (SFA), nienasyconych (MUFA) i wielonienasyconych (PUFA). Uzyskane wyniki są dość ciężko porównywalne do światowych norm, ponieważ w wielu krajach do produkcji pieczywa używa się masła bądź oleju lub oliwy jako składnika lub jako materiału do smarowania form wypiekowych, stąd możliwość uzyskania w każdym badaniu innych wyników. Zaobserwowano, że SFA był najwyższy w procentach w próbie kontrolnej (44,2%), podczas gdy najniższy odsetek zaobserwowano w próbce z błonnikiem jabłkowym (31,2%), gdzie zawartość PUFA była najwyższa (40,8%). Zawartość PUFA w otrzymanym chlebie można ocenić jako zadowalającą, nawet jeśli były łatwo utlenione podczas procesu wypieku. Zaobserwowane wyniki są spójne z wynikami osiągniętymi w innych pracach, gdzie poddawano badaniom zawartość kwasów tłuszczowych w produktach z dodatkiem błonników pokarmowych z owsa czy lnu (Aro et al., 2013; Menteş, Bakkalbaşşi, & Ercan, 2008; Simbalista, Frota, Soares, & Arêas, 2012).

Strawioną część pieczywa analizowano pod kątem kwasów tłuszczowych w taki sam sposób jak próbki chleba. Próbka pieczywa kontrolnego charakteryzowała się najwyższą wartością kwasu palmitynowego i kwasu oleinowego, natomiast pieczywo z błonnikiem owsianym wykazywało wyższą zawartość kwasu oleinowego (36,63% całkowitej zawartości lipidów). Próbka z błonnikiem lnianym charakteryzowała się wysoką zawartością kwasu γ-linolenowego, co jest tożsame z wynikami uzyskanymi przez Ribeiro, Peralta-Zamora, Maia, Ramos, & Pereira-Netto (2013). Jeszcze ważniejsze są wyniki uzyskane z nominalnej biodostępności kwasów tłuszczowych. Tę wartość obliczono, aby wskazać w jakim stopniu błonnik pokarmowy jest w stanie trwale związać tłuszcz i jakie jego frakcje są wiązane w największym stopniu wykorzystując olejochłonność. Zaobserwowano, że biodostępność kwasów tłuszczowych w próbie kontrolnej była dość wysoka porównując do innych prób. Jednak PUFA są najmniej biodostępne ze wszystkich grup kwasów tłuszczowych w zakresie (72% w próbie z błonnikiem owsianym do 87% w próbie z błonnikiem lnianym). Wyniki doprowadziły do stwierdzenia, że dodanie błonnika pokarmowego do chleba nie tylko zmienia profil kwasów tłuszczowych w samym chlebie, ale także zdolność do wchłaniania oleju wpływa na jego biodostępność. Niektóre kwasy tłuszczowe zostały przyłączone do nierozpuszczalnych frakcji błonnika pokarmowego, a następnie odwirowane jako symulacja ludzkiego stolca.

W zakresie hydrolizy skrobi użyto poniższego wzoru w celu określenia powierzchni pod wykresem trawienia skrobi:

$$AC = C_{\infty}(t_f - t_0) - (\frac{C_{\infty}}{k})(1 - e^{-k(t_f - t_0)}) \qquad \text{(Równanie 1)}$$

gdzie:

C_{∞} odpowiada stężeniu w równowadze (t_{180}), t_f jest to czas końca trawienia (180 min), t_0 jest to czas początku trawienia (0 min) a k jest to stała kinetyczna. Jako próbę kontrolną zastosowano chleb pszenny. AC dla prób z błonnikiem i podzielono przez AC z chleba pszennego i uznano za calcHI.

Indeks glikemiczny jest czynnikiem, na który głównie wpływa hydroliza skrobi podczas trawienia. Wartość (C) jest parametrem, który pokazuje wartość początkową trawienia w pierwszych minutach. Próba kontrolna miała największą wartość (80,5), co było znacznie wyższym wynikiem niż wartości dla pieczywa z błonnikiem owsianym, lnianym oraz jabłkowym. Podobne wyniki, biorąc pod uwagę wpływ lnu na indeks glikemiczny, zaobserwowano w testach in vitro przeprowadzonych przez Dahl et al. (2005). Wartość k jest składową równania, która daje informację o nachyleniu i tempie hydrolizy skrobi. W próbie kontrolnej składnik ten był najwyższy. Obszar pod linią na wykresie obliczono jako calcHI. Najniższe wartości tego parametru zaobserwowano w próbie z błonnikiem, a najwyższe w próbie kontrolnej . Ogólna obserwacja jest taka, że próba kontrolna miała najwyższy indeks glikemiczny i najniższy poziom próbka z lnem. Jednak wszystkie chleby z dodatkiem błonnika pokarmowego w badaniu uznano za produkty o niskim indeksie glikemicznym.

Tabela 1. Zawartość fenoli ogółem w pieczywie oraz fenole biodostępne i wskaźniki uzyskane z równania opisującego trawienie skrobi (**H.2.**)

Typ pieczywa	Zawartość polifenoli ogółem (równoważnik kwasu galusowego) - mg/kg	Zawartość polifenoli biodostępnych (równoważnik kwasu galusowego) - mg/kg	C	k	calcHI
Próba kontrolna	674.1±12.1^{bc}	350.5±10.4^{b}	80.5±2.14^{c}	0.24±0.02^{b}	79.1±2.17^{d}
Pieczywo z błonnikiem owsianym	623.1±14.2^{b}	267.9±14.2^{a}	61.1±1.89^{a}	0.18±0.04^{a}	35.2±2.19^{c}
Pieczywo z błonnikiem lnianym	541.2±14.4^{a}	362.6±13.7^{b}	64.3±2.14^{a}	0.15±0.06^{a}	19.6±2.14^{a}
Pieczywo z błonnikiem jabłkowym	897.2±12.3^{c}	403.7±14.7^{c}	69.4±2.17^{b}	0.14±0.06^{a}	28.5±2.16^{b}

Różne litery sugerują różnice istotne statystycznie przy $p \leq 0,05$

Zaobserwowałem, że istotnie najwyższą wartość całkowitą związków fenolowych posiadała próbka z błonnikiem jabłkowym, natomiast najniższą próba z lnem (Tabela 1). Wyniki

mogą wydawać się zaskakujące, ale należy wziąć pod uwagę, że w badaniu stosowano preparaty błonnika pokarmowego, a nie czyste błonniki, stąd różnice w wartościach polifenoli. Chociaż te wartości były najniższe, to w tej próbce charakteryzowały się najwyższą biodostępnością. Można to wytłumaczyć faktem, że fenole nie są homogenną grupą, a ten związek który był odpowiedzialny za tworzenie największej oznaczalnej ilości w próbce z błonnikiem jabłkowym, był najłatwiej degradowalny.

W podsumowaniu dwóch pierwszych publikacji **H.1.** oraz **H.2.** stanowiących osiągnięcie naukowe można stwierdzić, że wzbogacanie chleba błonnikiem pokarmowym może być zadowalającą metodą wzbogacania w składniki odżywcze. Można zapobiec niszczącemu wpływowi wprowadzenia błonnika pokarmowego do struktury chleba, stosując różne wielkości cząstek błonnika pokarmowego. Jednak istnieje więcej grup hydroksylowych, które są podatne na wiązanie wody i substancji, które są w niej rozpuszczalne, gdy wielkość cząstek jest mniejsza. Przeprowadzone badania **H.1.** wykazały, że zawartość witaminy B w chlebie zależy od zawartości błonnika pokarmowego i wielkości jego cząstek. Istnieją różnice w biodostępności witaminy B, więc istniała potrzeba zastosowania bardziej skomplikowanych metod statystycznych, aby dostarczyć wystarczających informacji na temat tego, jaki rozmiar cząstek i poziom błonnika pokarmowego jest najlepszy, aby zwiększyć biodostępność biologiczną wszystkich badanych witamin. Natomiast badania **H.2.** wykazały, że stosowanie różnych źródeł błonnika pokarmowego może wpływać na profil kwasów tłuszczowych, które charakteryzują się różną biodostępnością. Różne źródła błonnika pokarmowego wpływają na obniżenie w zróżnicowanym stopniu indeksu glikemicznego, a stosowanie preparatów białkowych z różnych źródeł może wpływać na różne zawartości polifenoli i zmieniać ich biodostępność.

Podczas badań nad wpływem różnych błonników pokarmowych na wartość odżywczą w publikacji **H.1.** i **H.2.** zrodziła się moja myśl o konieczności przeprowadzenia badań nad właściwościami nie tylko żywieniowymi, ale również technologicznymi błonników pokarmowych uzyskiwanych na drodze ekstrakcji, aby osiągać jak najwyższe poziomy czystości i wykluczać wpływ substancji znajdujących się w komercyjnie dostępnych preparatach błonnikowych.

2.3.3.2. Ekstrakcja błonnika pokarmowego za pomocą metod enzymatycznych, ultradźwiękowych oraz mieszanych oraz jego właściwości fizyczne

Błonnik pokarmowy jest znanym składnikiem stosowanym w różnych matrycach spożywczych. Zdolność zatrzymywania wody i oleju, tworzenie emulsji i piany są kluczowe dla modyfikacji tekstury i struktury produktu spożywczego. Przemysł spożywczy wykazuje ciągłe zainteresowanie nowymi źródłami i metodami ekstrakcji błonnika pokarmowego. Obecnie stosuje się ekstrakcje chemiczne, enzymatyczne i chemiczno-enzymatyczne błonnika

pokarmowego. Warunki ekstrakcji prowadzą do uzyskania błonnika pokarmowego o pożądanych lub niepożądanych właściwościach odżywczych i fizykochemicznych. Co więcej, istnieje ciągła potrzeba identyfikacji innowacyjnych metod bioaktywnej ekstrakcji materiału, takich jak ścinanie emulgujące, wytłaczanie strumieniowe, mielenie na mokro lub metody mikrobiologiczne (**H.3.**;Ma & Mu, 2016; Yan, Ye, & Chen, 2015). Jedną z metod, która ostatnio przyciągnęła uwagę w technologii żywności, jest ekstrakcja ultradźwiękowa, którą to z powodzeniem zastosowano do izolacji polisacharydów, białek i olejów. Istnieje również konieczność stosowania specyficznych metod ekstrakcji w zależności od intencji pozyskania odpowiedniej frakcji błonnika pokarmowego. Jedną z takich frakcji, która jest szczególnie korzystna z punktu widzenia zdrowotnego jest β-glukan. Procesy ekstrakcji i oczyszczania β-glukanu ze zbóż są głównie podzielone na dwie główne grupy: procesy mokre i suche. Ekstrakcje w suchych warunkach prowadzi się przez mielenie i przesiewanie, a mokre warunki zwykle obejmują obróbkę enzymatyczną, alkaliczne rozpuszczalniki lub ultradźwięki. Ekstrakcja β-glukanu metodami mokrymi daje w wyniku skuteczne oczyszczanie, ponieważ osiągasię > 80% czystego β-glukanu w zależności od różnych rozkładów masy cząsteczkowej, użytego pH i rozpuszczalników (od 60 000 do 2 200 000 g/mol) (**H.4.**; Limberger-Bayer et al., 2014). Podczas ekstrakcji β-glukanu stosuje się wodę lub inne rozpuszczalniki. Jednak zanieczyszczenia – białkowe, polisacharydowe czy mineralne – są obecne w roztworach podczas obróbki enzymatycznej. Te drobne cząstki można usunąć przez dodanie zewnętrznych flokulantów, które ulegają agregacji do ciał stałych tworzących płatki, które można łatwo usunąć z roztworów (Meraz et al., 2016). Do tej pory w literaturze naukowej przedmiotu nie spotkano się z zastosowaniem flokulantów podczas ekstrakcji i oczyszczania β-glukanu.

Podczas gdy zboża, warzywa i owoce były źródłem błonnika pokarmowego znanym od wielu lat, przemysł spożywczy rozszerzył swoje zainteresowania również na ekstrakcję błonnika pokarmowego w obrębie alternatywnych zbóż czy traw z rodziny *Poaceae*. Ostatnio coraz popularniejszym staje się wykorzystanie takich roślin jak komosa ryżowa (*Chenopodium quinoa*) czy szarłat (*Amaranthus caudatus*). Dodatkowo, proso zwyczajne (*Panicum miliaceum*) to jedna z traw bogatych w błonnik pokarmowy i bezglutenowa, która również może stanowić źródło błonnika pokarmowego (**H.3.**).

W przypadku publikacji **H.3.** skupiono się na trzech metodach ekstrakcji: metodzie enzymatycznej, enzymatycznej wspomaganej ultradźwiękami oraz ultradźwiękowej. Uzyskane ekstrakty błonnika pokarmowego poddano analizie pod kątem zawartości frakcji rozpuszczalnych i nierozpuszczalnych błonnika pokarmowego, jego właściwości fizycznych, analizy mikroskopowej i właściwości termicznych, jak i strukturalnych. Surowcem do badań były zarówno mąki komercyjne oczyszczone, jak i pełne ziarno komosy ryżowej, szarłatu i prosa zwyczajnego. Poniżej opisano wybrane wyniki badań uzyskane podczas doświadczenia. Badania

były prowadzone we współpracy z ośrodkiem badawczym School of Agriculture and Biology, Shanghai Jiao Tong University w Chinach.

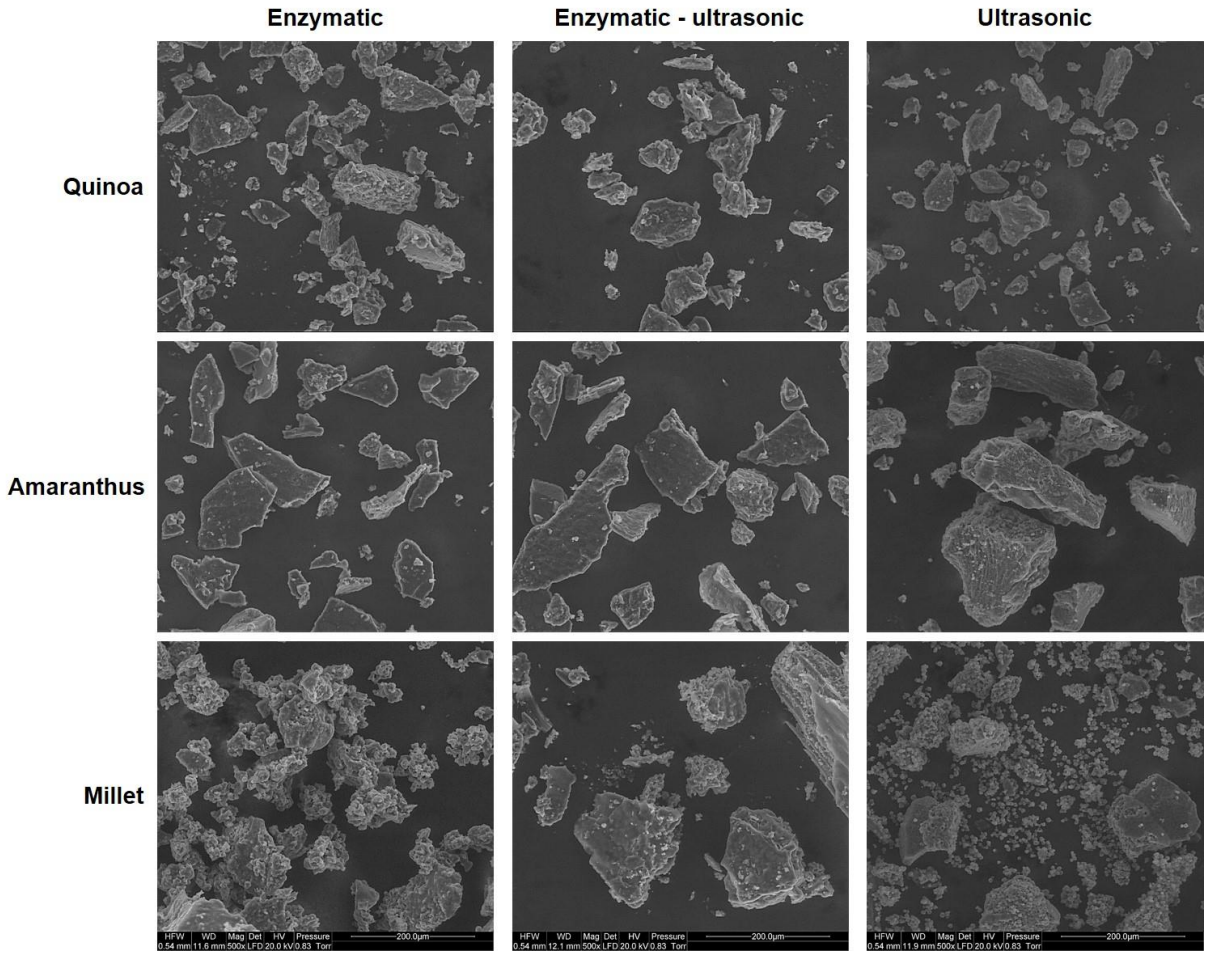
We wszystkich typach źródeł i surowców zaobserwowałem ekstrakcję enzymatyczną wspomaganą ultradźwiękami jako najbardziej wydajną procedurę ekstrakcji ($p = 0,006$). Uzyskane wyniki wydajności wahały się od 18,59% w komosie ryżowej z pełnego ziarna do 94,22% w błonniku pokarmowym pozyskiwanym z mąki jaglanej. Najmniej efektywną metodą była ekstrakcja ultradźwiękowa bez dodatku żadnych enzymów. Jednak próbki prosa posiadały rozbieżne wyniki - ekstrakcja ultradźwiękowa charakteryzowała się wyższą wydajnością niż ekstrakcja enzymatyczna. Obserwacja ta może być wynikiem większej ilości błonnika pokarmowego w surowym materiale prosa niż w komosie ryżowej lub szarłacie (**H.3.**). Metoda ultrasonikacji może prowadzić do uszkodzenia ściany komórkowej, a z drugiej strony może negatywnie wpływać na wydajność ekstrakcji DF, gdy obecne są duże ilości rozpuszczalnego błonnika pokarmowego (Zhang et al., 2017).

Pod względem barwy najjaśniejsze próbki zostały otrzymane w przypadku komosy ryżowej po ekstrakcji składającej się z łączenia ultradźwięków z enzymami ($L^* = 55,64$). Natomiast najjaśniejsze próbki szarłatu zaobserwowano w ultradźwiękach. Próbki prosa z ekstrakcji enzymatyczno-ultradźwiękowej były bardziej czerwonawe. Po obróbce ultradźwiękowej wszystkie próbki miały obniżony parametr zażółcenia (b^*) w porównaniu z innymi metodami ekstrakcji, co wskazuje, że próbki były mniej żółte (**H.3.**)

Analiza mikroskopowa SEM uwidoczniła, że metody ekstrakcji nie wpłynęły na morfologię próbek błonnika z komosy ryżowej (Rys. 2). Cząsteczki miały pomarszczone powierzchnie, które wpływały na lepszą zdolność do wodochłonności oraz olejochłonności. Próbki amarantusa po obróbce enzymatycznej i enzymatyczno-ultradźwiękowej były mniej przestrzenne niż próbki poddane obróbce ultradźwiękowej. Obserwację tę można wyjaśnić różnymi temperaturami, w których próbki były trzymane podczas procesu ekstrakcji. Inni badacze opisali podobne obserwacje i odkryli, że różne temperatury ekstrakcji mogą wpływać na morfologię włókna pokarmowego (Karaman, Yilmaz, & Tuncel, 2017).

W zakresie struktury chemicznej widma otrzymanych błonników pokarmowych przypominały siebie wzajemnie, ponieważ wszystkie zostały uzyskane ze źródeł zbożowych. Szeroki pik obecny w obszarze 3400 cm^{-1} przypisano rozciągnięciu wiązań wodorowych do grup hydroksylowych celulozy i hemicelulozy. Ta obserwacja jest uzasadniona, ponieważ w szarłacie i komosie ryżowej występują duże ilości kwasu galakturonowego, arabinozy, galaktozy, ksylozy i glukozy (Lamothe, Srichuwong, Reuhs, & Hamaker, 2015).

Rysunek 2. Fotografie mikroskopowe ukazujące różnice w budowie uzyskanych cząstek błonnika pokarmowego (**H.3.**)



Słabsze pasma absorpcji przy 2923 i 2856 cm^{-1} pochodziły z rozciągania grup C-H, co jest typowe dla polimerów opartych na polisacharydach. Piki obserwowane we wszystkich próbkach przy około 1660cm^{-1} odpowiadają zginaniu lub rozciąganiu aromatycznych węglowodorów ligninowych. Obserwowane piki o wielkości około 1040 cm^{-1} przypisuje się wiązaniu naprężającemu C-O i pasmom odkształcenia w celulozie i hemicelulozie. Piki widoczne na około 870 cm^{-1} wskazują na wiązania β-glikozydowe w polisacharydach, które są zgodne z wynikami innych badaczy, którzy zidentyfikowali β -glukan we frakcjach błonnika pokarmowego z amarantusa (Repo-Carrasco-Valencia, Peña, Kallio, & Salminen, 2009).

W pracy **H.4.** podjęto prace związane z zastosowaniem naturalnych flokulantów, takich jak: chitozan, guma guar i żelatyna podczas ekstrakcji β-glukanu. Surowiec do ekstrakcji stanowiła pełnoziarnista mąka owsiana oraz mąka jęczmienna, która była pozyskiwana bezpośrednio z ziarna za pomocą młyna laboratoryjnego. Flokulanty były stosowane w ilości 0,2 i 0,6% w przeliczeniu na zawiesinę po wstępnej ekstrakcji β-glukanu do fazy wodnej w ciągu wytrząsania. Następnie przeprowadzono trawienie enzymatyczne oraz wytrącanie białka.

B-glukan odzyskiwano z roztworu za pomocą podwyższonego stężenia etanolu. W zakresie badanych parametrów skupiono się na wydajności, barwie, właściwościach termicznych, masie cząsteczkowej oraz lepkości. Prace zrealizowano we współpracy badawczej z Norwegian Institute for Food, Fisheries and Aquaculture Research w Norwegii. Poniżej znajduje się opis najważniejszych wyników badań.

Wydajność ekstrakcji całkowitej była najwyższa dla próbek kontrolnych pochodzących z owsa oraz jęczmienia, podczas gdy ekstrakcje przeprowadzone z żelatyną jako flokulantem dały najniższą wydajność. W próbkach owsa rosnące stężenia chitozanu nieznacznie obniżały wydajność, ale nie było to statystycznie istotne. Występowały jednak znaczne różnice ($p \leq 0,05$) między próbkami, gdzie użyto gumy guar jako flokulantu i owsa jako surowca, ponieważ zwiększenie stężeń gumy guar doprowadziło do wyższej wydajności ekstrakcji. Mimo, że wszystkie trzy flokulanty zmniejszyły całkowitą wydajność ekstrakcji, wydajność ekstrakcji specyficznej dla β-glukanu wzrosła zarówno w przypadku chitozanu, jak i gumy guar, ale zmniejszyła się z żelatyną. B-glukan ekstrahowany 0,6% chitozanem miał najwyższą zawartość β-glukanu (odpowiednio 82,0 $\pm$ 0,23 i 79,0 $\pm$ 0,19 dla jęczmienia i owsa). Zwiększenie stężenia chitozanu z 0,2 do 0,6% zwiększyło zawartość β-glukanu (jęczmienia i owsa) oraz wydajność ekstrakcji β-glukanu (tylko jęczmień). W przypadku gumy guar i żelatyny zwiększone stężenia powodowały niższą czystość ekstraktów β-glukanowych. Konkretna wydajność ekstrakcji była najwyższa w próbkach z owsa z użyciem chitozanu 0,6%, gdzie wartości te wynosiły 96,9%, a najniższe w próbkach z owsa przy użyciu żelatyny o stężeniu 0,6% i wyniosły - 44,4%.

Zastosowanie chitozanu może być skuteczną metodą użytą w protokołach ekstrakcji β-glukanu o wysokiej czystości. Wykazano wcześniej, że ekstraktywność β-glukanu ze źródeł jęczmienia wynosi prawie 100%, ale brakuje informacji o dokładnym protokole enzymatycznym (Mikkelsen et al., 2017). Żelatyna nie była uważana za skuteczne narzędzie do usuwania zanieczyszczeń podczas ekstrakcji β-glukanu, ponieważ zawartość β-glukanu w powstałych ekstraktach była nawet niższa niż w przypadku próbek kontrolnych. Zawartość β-glukanu w próbkach kontrolnych z jęczmienia była dość podobna do wyników Limberger-Bayer et al. (2014), gdzie optymalna najwyższa zawartość β-glukanu wynosiła 53,4%. Wyższa czystość próbek uzyskanych za pomocą chitozanu może być związana z ładunkiem chitozanu. Chitozan jest kationem i ma wysoką masę cząsteczkową, co oznacza, że flokuluje za pośrednictwem mechanizmu neutralizacji ładunku (Rojas-Reyna et al., 2010). Żelatyna była jedynym flokulantem nie zawierającym polisacharydów stosowanym w tym badaniu. Żelatyna jest stosowana jako skuteczny środek klarujący podczas produkcji wina. Kluczowym czynnikiem, który wpływa na efekt klarowania wina przez żelatynę, jest to, że jest jony zawarte

w żelatynie mogą być naładowane dodatnio ze względu na podstawowe reszty aminokwasowe, takie jak arginina i lizyna i może być łatwo stosowany w różnych zakresach pH (**H.4.**).

Masa cząsteczkowa (MW) β-glukanu jest istotnym parametrem związanym z jego właściwościami fizjologicznymi. B-glukan o dużej masie cząsteczkowej odgrywa ważną rolę w obniżaniu poziomu cholesterolu i glukozy we krwi za pomocą różnych mechanizmów (Brummer, Duss, Wolever, & Tosh, 2012). W próbkach jęczmienia najwyższa MW była w próbach kontrolnych (64 873 g / mol), a zastosowanie flokulantów skutkowało niższą MW. Może to być związane z dłuższym procesem ekstrakcji z powodu dodatkowego etapu flokulacji, podczas którego β-glukanazy obecne w mące jęczmiennej mogą degradować β-glukan. Najniższe MW obserwowano w próbkach gumy guar (34 648 g/mol). Tendencję wzrostu MW spowodowaną wzrostem stężenia flokulantu obserwowano w próbkach z gumą guar i żelatyną. Inną tendencję zaobserwowano w próbkach owsa, w których MW β-glukanu była wyższa po ekstrakcji flokulantami. Najwyższe MW obserwowano w owsie z chitozanem 0,6 (551 000 g/mol), a najniższym w próbce kontrolnej (280 515 g/mol). Generalnie MW w próbkach owsa była wyższa niż w próbkach jęczmienia, co świadczy o obecności β-glukanazy w jęczmieniu, które nadal były aktywne podczas procesów ekstrakcji (**H.4.**).

Lepkość produktów żywnościowych zawierających β-glukan podczas trawienia *in vitro* można powiązać z ich potencjałem obniżania poposiłkowych poziomów glukozy (Rieder, Knutsen, & Ballance, 2017). Najniższą lepkość zaobserwowano w próbkach z żelatyną jako flokulantem, a najwyższą w próbce z chitozanem 0,2% (21,02 Pas). Rosnące stężenie chitozanu w próbkach jęczmienia spowodowało nieznaczny spadek lepkości. Ta tendencja była inna w próbkach owsa, co oznacza, że chitozan wchodził w interakcje z niektórymi składnikami występującymi tylko w owsie (**H.4.**).

Podsumowując obie publikacje, które obejmowały badania różnych metod ekstrakcji zarówno dla ekstrakcji błonnika całkowitego, jak i poszczególnej jego frakcji, jakim jest β-glukan, można stwierdzić, że metody ekstrakcji muszą być dopasowane do żądanego efektu. Najwyższe wartości wydajności ekstrakcji błonnika obserwowano w próbkach uzyskanych w wyniku ekstrakcji enzymatyczno-ultradźwiękowej. Co zaskakujące, więcej błonnika pokarmowego zostało wyekstrahowanego z komercyjnej mąki niż z ziaren, ponieważ w komercyjnej mące było mniej substancji zakłócających. Największe różnice w barwie między surowcem a błonnikiem pokarmowym zaobserwowano w próbkach komosy ryżowej. Błonniki pokarmowe z szarłatu, komosy ryżowej i prosa były nie tylko wartościowe pod względem odżywczym z uwagi na wysoką zawartość TDF (błonnika ogółem), ale także pod względem zdolności do wychwytywania wolnych rodników. Ogólnie rzecz biorąc, komosa ryżowa, szarłat i proso mogą być stosowane w różnych produktach spożywczych. Dalsze badania mogą ocenić inne

istotne właściwości odżywcze, w tym wartość kaloryczną, wiązanie kwasów żółciowych lub indeks glikemiczny (**H.3.**).

Chitozan i guma guar stosowane jako flokulanty podczas ekstrakcji β-glukanu zwiększały czystość ekstraktów otrzymanych z mąki owsianej i jęczmiennej, podczas gdy żelatyna nie była skuteczna. W szczególności stosowanie flokulantów powodowało zmniejszenie ilości białek (w przypadku chitozanu, gumy guar) i mineralnych zanieczyszczeń. Pomimo znacznych różnic w zawartości β-glukanu i masie cząsteczkowej, wszystkie ekstrakty wykazały wysoką zdolność zatrzymywania wody, co czyni je odpowiednimi dla przemysłu, w którym to poszukiwane są środki zagęszczające na bazie β-glukanu. Zastosowanie biodegradowalnych i nadających się do spożycia polimerów, takich jak chitozan lub guma guar, może być przyjaznym dla środowiska i jednocześnie przyjaznym ulepszeniem w ekstrakcji β-glukanu. Zrealizowane badanie jest bardzo innowacyjne, ponieważ do tej pory nie brano pod uwagę flokulantów jako środków mogących mieć zastosowanie w ekstrakcji β-glukanu w taki sposób, aby zmieniać jego właściwości (**H.4.**). Badania nad możliwościami zastosowania β-glukanu spowodowały kolejnej publikacji stanowiącej część niniejszego osiągnięcia naukowego (**H.5.**)

2.3.3.3. Zastosowanie wyekstrahowanego błonnika pokarmowego jako materiału powlekającego w mikrokapsułkowaniu oleju rybiego

Mikrokapsułkowanie to proces, który tworzy barierę między rdzeniem, a materiałem powlekającym, aby zapobiec zachodzącym przemianom chemicznym i fizycznym. Podstawowymi substancjami tworzącymi rdzeń mikrokapsułkowania są składniki takie jak środki aromatyzujące, słodziki, barwniki lub witaminy. Związki bioaktywne leżą w polu zainteresowań dyscypliny technologii żywności i żywieniu w kategoriach mikrokapsułkowania (Becker, Damiani, de Melo, Borges, & de Barros Vilas Boas, 2014). Kapsułkowanie można zastosować do utrzymania odpowiednich właściwości fizykochemicznych cząsteczek, a także ich aktywności biologicznej. Istnieje opinia, że materiał powlekający jednoskładnikowy nie jest wystarczający, aby w pełni chronić rdzeń (**H.5.**).

Wiele badań klinicznych i epidemiologicznych wykazało pozytywne działanie kwasów tłuszczowych n3, które są głównie obecne w oleju rybim. Główne kwasy tłuszczowe obecne w oleju rybim są wielonienasycone z dominującym kwasem dokozaheksaenowym (DHA) i kwasem eikozapentaenowym (EPA). Olej rybi znany jest z silnego zapachu, słabej stabilności w wodzie i roztworach wodnych (emulsjach) i jest bardzo podatny na utlenianie podczas przechowywania (J. Li, Xiong, Wang, Regenstein, & Liu, 2015). Utlenianie podczas przetwarzania i przechowywania zmniejsza wartość odżywczą i sensoryczną oleju rybiego w wyniku rozerwania wodoronadtlenków lipidowych (Zia, Zia, Ali, Rehman, & Zuber, 2016). Wysoka zawartość wielonienasyconych kwasów (PUFA) w oleju z ryb bardzo podatna na utlenianie

ze względu na ich strukturę. Tak więc istnieje potrzeba przezwyciężenia tego problemu poprzez zmianę postaci oleju rybiego na proszek lub mikrocząstki i ochronę jego powierzchni przed środowiskiem. Jedną z technologii, którą można wykorzystać w celu uniknięcia pogarszania się bardzo odżywczego oleju rybiego, jest mikrokapsułkowanie.

Zastosowanie β-glukanu jako materiału powlekającego do mikrokapsułkowania jest wartościowe z fizykochemicznego i żywieniowego punktu widzenia. Ze względu na dużą lepkość roztworów β-D glukanów może on pełnić rolę środka zwiększającego lepkość, a zatem tworzyć film na kroplach oleju. Jednak wysokocząsteczkowy β-glukan jest odpowiedzialny za tworzenie się wysokiej lepkości w roztworach, więc istnieje potrzeba jego połączenia z innymi węglowodanami w celu uzyskania optymalnego stosunku ściana-rdzeń (Shah, Gani, Ahmad, Ashwar, & Masoodi, 2016).

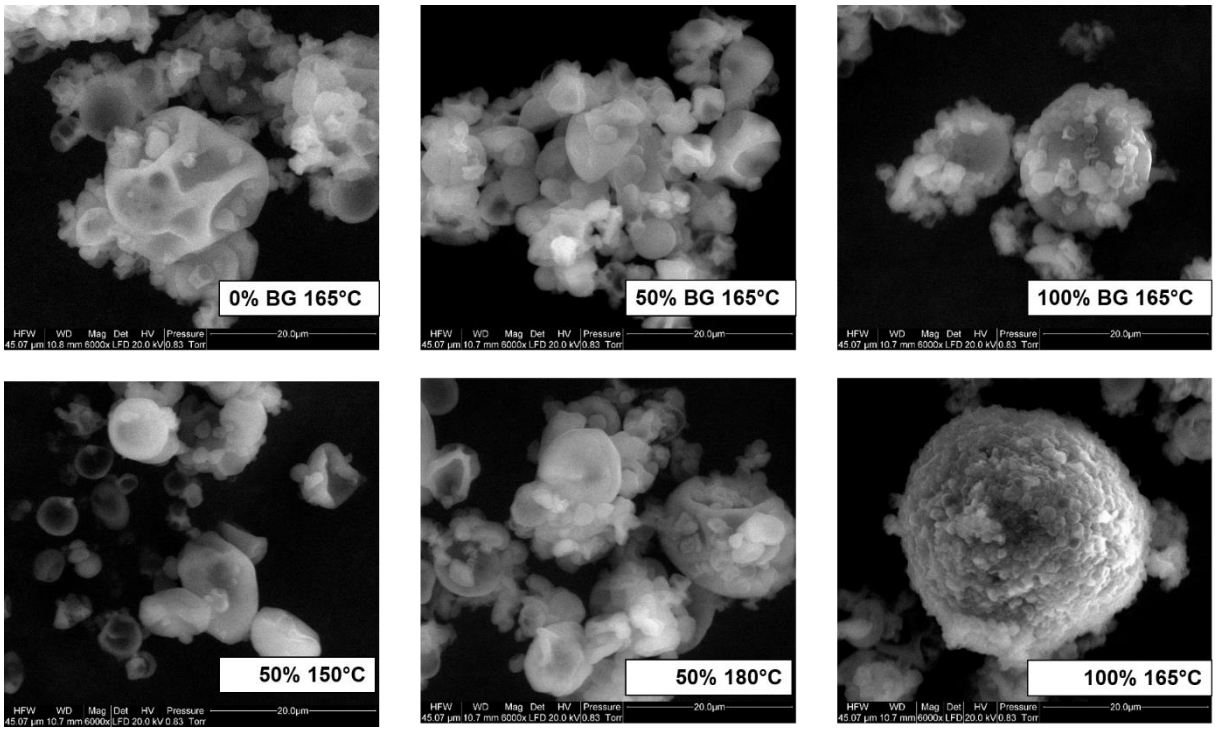
Istnieje kilka badań, w których zastosowano β-glukan jako materiał do kapsułkowania bakterii mlekowych, antocyjanów lub ogórecznika (Ahmad, Ashraf, Gani, & Gani, 2018; R. Y. Li & Shi, 2018; Shah et al., 2016). Jednakże, istnieje ciągła potrzeba zbadania, w jaki sposób kombinacja dwóch węglowodanów: modyfikowanej skrobi i β-glukanu mogłaby działać jako środek kapsułkujący w przypadku najczęściej stosowanego w procesach mikrokapsułkowania rdzenia, czyli oleju rybiego. Zgodnie z moją najlepszą wiedzą nie opublikowano takich wyników, dlatego w tym badaniu stworzyłem emulsje oleju rybiego z kompleksem skrobi kukurydzianej/β-glukanu i suszono rozpyłowo, aby uzyskać mikrokapsułki. Głównym celem badań było zbadanie właściwości fizykochemicznych mikrokapsułek z oleju rybiego wytwarzanych w różnych temperaturach i oszacowanie optymalnego stosunku β-glukanu i skrobi modyfikowanej oraz temperatury suszenia rozpyłowego. Wykorzystano metodę ekstrakcji β-glukanu tożsamą z próbą kontrolną z publikacji **H.4**.. Pomimo wskazanych wcześniej korzyści płynących ze stosowania chitozanu jako flokulantu wspomagającego procesy ekstrakcji β-glukanu zdecydowałem się pozostać przy metodzie enzymatycznej ekstrakcji przy jednoczesnej zmianie surowca do ekstrakcji, którym był komercyjny preparat β-glukanu jęczmiennego o zawartości 25,6%, co znacznie poprawiło zdolności ekstrakcji. W celu optymalizacji procesu emulsyfikacji poprzez dobór odpowiedniego stosunku β-glukanu do skrobi modyfikowanej oraz temperatury suszenia rozpyłowego stosowano metodologię powierzchni odpowiedzi używając tych samych etapów, co w publikacji **H.1.**. Poniżej opisałem wybrane, najważniejsze wyniki niniejszego badania.

Gęstość nasypowa została znacząco zmieniona przez β-glukan i przez interaktywny efekt β-glukanu i temperatury. Wyższa zawartość β-glukanu była odpowiedzialna za niższą gęstość nasypową. Te wyniki są zgodne z rozmiarem cząstek mikrokapsułki – te , których gęstość była mniejsza, były o mniejszej wielkości cząstek. Interakcja między wysoką temperaturą a zawartością β-glukanu doprowadziła do niższej gęstości, co można wytłumaczyć ekspansją

cząstek podczas suszenia rozpyłowego (Botrel et al., 2017). β-glukan może działać jako czynnik, który łączy modyfikowaną skrobię i nie pozwala na rozbicie cząstek. Niższa gęstość mikrokapsułek prowadzi do mniejszej powierzchni, która jest narażona na utlenianie.

Skuteczność enkapsulacji odzwierciedla zdolność ochrony, jaką zapewnia materiał powlekający na rdzeń. Najwyższą wartość skuteczności enkapsulacji zaobserwowano w próbkach, w których zawartość β-glukanu wynosiła 100%, a temperaturę suszenia rozpyłowego utrzymywano na poziomie 165°C. Zwiększenie temperatury suszenia rozpyłowego również zwiększyło efektywność kapsułkowania, co jest skutkiem szybszego formowania trwałej skorupki wokół rdzenia, a zatem wyższej retencji rdzenia. Dodanie β-glukanu do materiału ściennego również zwiększyło skuteczność enkapsulacji, która może być spowodowana przez sieciowanie polimeru i zwiększenie integralności materiału ściennego. β-glukan jest znanym polimerem węglowodanowym, który może tworzyć lepkie żele (Premi & Sharma, 2017).

Rysunek 3. Morfologia cząstek mikrokapsułek oleju rybiego z kompleksem skrobiowo-β-glukanowym jako materiałem powlekającym (**H.5.**)



Rosnąca zawartość β-glukanu powodowała bardziej kulisty kształt kapsułek suszonych w tej samej temperaturze (Rysunek 3). Powierzchnie nie były sferyczne, gdy większa ilość skrobi była obecna jako materiał powlekający, ale żadna kapsułka nie miała pęknięć ani dziur, więc są dobrą ochroną przed warunkami środowiskowymi. Niektóre cząsteczki miały kształt kulisty i większy, ale nie były gładkie na powierzchni. Zgodnie z moją najlepszą wiedzą, zjawisko to nie zostało wcześniej opisane w literaturze, że β-glukan tworzy bardzo małe cząstki (1 μm)

i przykleja się do powierzchni kropli oleju. Jest to obiecujące zjawisko, które można zastosować do kontrolowanego uwalniania materiałów rdzenia, ponieważ materiał powlekający jest uszkadzany cząstka po cząstce a nie rozbijany na całej powierzchni (Bandeira et al., 2015). TBARS są produktami wtórnego utleniania z rozkładu utlenionego PUFA, a zatem pomiar ten jest użytecznym narzędziem w monitorowaniu peroksydacji lipidów w matrycach, w których występuje głównie PUFA. W przeciwieństwie do pierwotnych produktów utleniania lipidów, za powstawanie nieprzyjemnych zapachów odpowiedzialne są te drugorzędne. β-glukan jako węglowodan jest dobrym materiałem powlekającym pod względem zapobiegania utlenianiu. Można było zaobserwować, że najniższą zawartość TBARS oznaczono, gdy β-glukan w materiale powlekającym był na stosunkowo wysokim poziomie (85%) przy zastosowaniu umiarkowanej temperatury (154°C) - 0,56 mg aldehydu malonowego / kg proszku. β-glukan zmniejszał zawartość TBARS i znacznie zapobiegał utlenianiu.

Po zbadaniu wszystkich przebiegów eksperymentu, przeprowadziłem badanie optymalizacyjne w celu uzyskania składu materiałów powlekających i wartości temperatury suszenia rozpyłowego, która będzie najbardziej odpowiednia do mikrokapsułkowania oleju rybiego. Optymalizacja ujawniła, że najlepszym rozwiązaniem jest stosowanie 85% β-glukanu jako materiału ściennego i 154°C, jako suszenia rozpyłowego. Przeprowadzono badanie weryfikacyjne, a skuteczność enkapsulacji została przeanalizowana jako na poziomie 79,9%, przy wartości TBARS 1,16 mg/kg proszku. Uzyskane wyniki wykazały, że modelowi udało się opisać wpływ zawartości β-glukanu jako materiału powlekającego i suszenia rozpyłowego, a także efekty interaktywne (**H.5.**).

Podsumowując, kompleks β-glukanu i skrobi jęczmiennej jest rozwiązaniem, które umożliwia skutecznie mikrokapsułkowanie oleju rybiego. Dlatego w badaniu opracowano wysoce odżywczą mikrokapsułkę, ponieważ zarówno materiały powlekające, jak i rdzeń mają pozytywne działanie na zdrowie. Ponadto β-glukan powodował niższą gęstość nasypową i utlenianie oleju rybnego, a jednocześnie powodował wyższą efektywność kapsułkowania i wielkość cząstek.

2.3.4. Podsumowanie

Przedstawiony w osiągnięciu cykl publikacji naukowych pozwolił na pogłębienie wiedzy z zakresu zastosowania błonnika pokarmowego w produkcji żywności zarówno pod kątem jego wpływu na właściwości odżywcze, ale również właściwości funkcjonalne i technologiczne. W pracy zrealizowano założone cele badawcze oraz pozytywnie zweryfikowano postawione hipotezy badawcze.

Przede wszystkim, zbadano wpływ zastosowania błonnika pokarmowego różnego pochodzenia w modelowej matrycy żywnościowej (pieczywo pszenne) na wartość odżywczą

i biodostępność składników odżywczych. Dzięki zastosowaniu zmniejszającej się wielkości cząstek błonnika pokarmowego używanego do wypieku pieczywa można uzyskać produkt o zadowalających cechach jakościowych. Jednakże, zmniejszający się rozmiar cząstki prowadzi do rozwinięcia powierzchni i zmniejszenia biodostępności składników odżywczych poprzez ich przyłączenie do cząstek błonnika pokarmowego. W literaturze brakowało pozycji, która by określała w jakim stopniu witaminy z grupy B (których źródłem często bywają produkty zbożowe) są podatne na zmniejszanie swojej biodostępności. Przeprowadzone badania **H.1.** wykazały, że zawartość witaminy B w chlebie zależy od zawartości błonnika pokarmowego i jego wielkości cząstek. Dzięki zastosowaniu metodologii powierzchni odpowiedzi zoptymalizowano wielkość cząstki i dodatek błonnika, który w najmniejszym stopniu powodował zmniejszenie biodostępności wybranych witamin, przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej zawartości błonnika pokarmowego w produkcie.

O ile obniżenie biodostępności witamin jest zjawiskiem negatywnym z punktu widzenia żywieniowego, o tyle obniżenie biodostępności skrobi czy tłuszczu jest zjawiskiem pozytywnym W badaniu **H.2.** wykazano, że stosowanie różnych źródeł błonnika pokarmowego może wpływać na profil kwasów tłuszczowych, które to charakteryzują się różną biodostępnością poprzez różną olejochłonność stosowanych błonników w pieczywie. Jednocześnie warto zaznaczyć, że stosowanie błonnika pokarmowego wpłynęło na obniżenie indeksu glikemicznego pieczywa. Stosowanie preparatów błonnikowych z różnych źródeł może wpływać na różne zawartości polifenoli a jednocześnie modelować ich biodostępność mierzoną *in vitro*.

Podsumowując publikacje, które obejmowały badania różnych metod ekstrakcji zarówno dla ekstrakcji błonnika całkowitego, jak i poszczególnej frakcji, jaką jest β-glukan, można stwierdzić, że metody ekstrakcji muszą być odpowiednio dostosowane do oczekiwanego efektu. W badaniach **H.3.** opisano wpływ trzech różnych metod ekstrakcji na właściwości funkcjonalne błonnika pokarmowego pochodzącego ze źródeł bezglutenowych, takich jak komosa ryżowa, szarłat czy proso. Jest to pozycja, która wypełnia lukę w literaturze światowej w zakresie błonnika pozyskiwanego właśnie z tych źródeł trzema różnymi metodami.

W badaniu **H.4.** skupiono się na rozwijaniu metody enzymatycznej ekstrakcji β-glukanu w celu uzyskania jego ekstraktu o jak najwyższej czystości, przy jednoczesnym zachowaniu właściwości funkcjonalnych. Dzięki temu badaniu odkryto, że stosowanie chitozanu jako flokulantu powoduje zwiększenie wydajności ekstrakcji, jak i ma znamienny wpływ na masę cząsteczkową β-glukanu. Zastosowanie biodegradowalnych i nadających się do spożycia polimerów, takich jak chitozan lub guma guar, może być przyjaznym dla środowiska ulepszeniem w ekstrakcji β-glukanu. Zrealizowane badanie jest bardzo innowacyjne, ponieważ do tej pory nie brano pod uwagę flokulantów jako środków mogących mieć zastosowanie w ekstrakcji β-glukanu.

Zdobyte w badaniu **H.4.** doświadczenie w ekstrakcji β-glukanu zostało wykorzystane w badaniu polegającym na mikrokapsułkowaniu oleju rybiego (**H.5.**) – najczęściej mikrokapsułkowanego materiału rdzenia. Opracowano optymalny stosunek β-glukanu do skrobi modyfikowanej, która pełniła funkcję wspomagającą w mikrokapsułkowaniu, jak i optymalną temperaturę w celu uzyskania mikrokapsułek o najdłuższej trwałości i wysokiej zdolności kapsułkowania.

Opisane wyżej wyniki w pełni korespondują z zadanym celem głównym osiągnięcia, jakim była analiza możliwości wykorzystania błonnika pokarmowego w produkcji żywności z uwzględnieniem jego wpływu na wartość odżywczą oraz właściwości technologiczne.

2.3.5. Piśmiennictwo

Ahmad, A., Anjum, F. M., Zahoor, T., Nawaz, H., & Ahmed, Z. (2010). Extraction and characterization of β-d-glucan from oat for industrial utilization. *International Journal of Biological Macromolecules*, *46*(3), 304‑309.

Ahmad, M., Ashraf, B., Gani, A., & Gani, A. (2018). Microencapsulation of saffron anthocyanins using β glucan and β cyclodextrin: Microcapsule characterization, release behaviour & antioxidant potential during in-vitro digestion. *International Journal of Biological Macromolecules*, *109*(2018), 435‑442. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.11.122

Aro, H., Järvenpää, E., Mäkinen, J., Lauraeus, M., Huopalahti, R., & Hietaniemi, V. (2013). The utilization of oat polar lipids produced by supercritical fluid technologies in the encapsulation of probiotics. *LWT - Food Science and Technology*, *53*(2), 540‑546. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2013.03.004

Bandeira, N. A. G., Bogdanowicz, K. A., Garcia-Valls, R., Gumi, T., Jastrzab, R., Marteaux, L., … Starešinic, M. (2015). *Microencapsulation: innovative applications*. Walter de Gruyter GmbH & Co KG.

Becker, F. S., Damiani, C., de Melo, A. A. M., Borges, P. R. S., & de Barros Vilas Boas, E. V. (2014). Incorporation of Buriti Endocarp Flour in Gluten-free Whole Cookies as Potential Source of Dietary Fiber. *Plant Foods for Human Nutrition*, *69*(4), 344‑350. doi:10.1007/s11130-014-0440-y

Benito, P., & Miller, D. (1998). Iron absorption and bioavailability: An updated review. *Nutrition Research*, *18*(3), 581‑603. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0271-5317(98)00044-X

Berer, K., Martínez, I., Walker, A., Kunkel, B., Schmitt-Kopplin, P., Walter, J., & Krishnamoorthy, G. (2018). Dietary non-fermentable fiber prevents autoimmune neurological disease by changing gut metabolic and immune status. *Scientific Reports*, *8*(1), 1‑12. doi:10.1038/s41598-018-28839-3

Botrel, D. A., Borges, S. V., Fernandes, R. V. D. B., Antoniassi, R., de Faria-Machado, A. F., Feitosa, J. P. D. A., & de Paula, R. C. M. (2017). Application of cashew tree gum on the production and stability of spray-dried fish oil. *Food Chemistry*, *221*(2017), 1522‑1529. doi:10.1016/j.foodchem.2016.10.141

Brummer, Y., Duss, R., Wolever, T. M. S., & Tosh, S. M. (2012). Glycemic response to extruded oat bran cereals processed to vary in molecular weight. *Cereal Chemistry*, *89*(5), 255‑261.

Burton-Freeman, B., Liyanage, D., Rahman, S., & Edirisinghe, I. (2017). Ratios of soluble and insoluble dietary fibers on satiety and energy intake in overweight pre- and postmenopausal women. *Nutrition and Healthy Aging*, *4*(2), 157‑168. doi:10.3233/NHA-160018

Carbonell-Capella, J. M., Buniowska, M., Barba, F. J., Esteve, M. J., & Frígola, A. (2014). Analytical methods for determining bioavailability and bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, *13*(2), 155–171. doi:10.1111/1541-4337.12049

Cardoso, C., Afonso, C., Lourenço, H., Costa, S., & Nunes, M. L. (2015). Bioaccessibility assessment methodologies and their consequences for the risk–benefit evaluation of food. *Trends in Food Science & Technology*, *41*(1), 5–23. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2014.08.008

Cheli, F., Campagnoli, A., Ventura, V., Brera, C., Berdini, C., Palmaccio, E., & Dell' Orto, V. (2010). Effects of industrial processing on the distributions of deoxynivalenol, cadmium and lead in durum wheat milling fractions. *LWT - Food Science and Technology*, *43*(7), 1050 – 1057. doi:10.1016/j.lwt.2010.01.024

Dahl, W. J., Lockert, E. A., Cammer, A. L., & Whiting, S. J. (2005). Effects of Flax Fiber on Laxation and Glycemic Response in Healthy Volunteers. *Journal of Medicinal Food*, *8*(4), 508 – 511. doi:10.1089/jmf.2005.8.508

Daou, C., & Zhang, H. (2014). Functional and physiological properties of total, soluble, and insoluble dietary fibres derived from defatted rice bran. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(12), 3878–3885.

DeVries, J. W., Camire, M. E., Cho, S., Craig, S., Gordon, D., Jones, J. M., … Tungland, B. C. (2001). The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*, *46*(3), 112–129. doi:10.3402/fnr.v54i0.5750

Ekinci, R., & Kadakal, C. (2005). Determination of seven water-soluble vitamins in tarhana, a traditional Turkish cereal food, by high-performance liquid chromatography. *ACTA Chromatographica*, (15), 289–297.

Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, *124*(2), 411–421. doi:10.1016/j.foodchem.2010.06.077

Garcia, a. L., Otto, B., Reich, S. C., Weickert, M. O., Steiniger, J., Machowetz, a., … Koebnick, C. (2007). Arabinoxylan consumption decreases postprandial serum glucose, serum insulin and plasma total ghrelin response in subjects with impaired glucose tolerance. *European Journal of Clinical Nutrition*, *61*(3), 334–341. doi:10.1038/sj.ejcn.1602525

Goñi, I., Garcia-Alonso, A., & Saura-Calixto, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, *17*(3), 427–437. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0271-5317(97)00010-9

Greenwood, D. C., Cade, J. E., White, K., Burley, V. J., & Schorah, C. J. (2004). The impact of high non-starch polysaccharide intake on serum micronutrient concentrations in a cohort of women. *Public Health Nutrition*, *7*(4), 543–548. doi:DOI: 10.1079/PHN2003571

Huang, T., Xu, M., Lee, A., Cho, S., & Qi, L. (2015). Consumption of whole grains and cereal fiber and total and cause-specific mortality: prospective analysis of 367,442 individuals. *BMC Medicine*, *13*(1), 59. doi:10.1186/s12916-015-0294-7

Karaman, E., Yilmaz, E., & Tuncel, N. B. (2017). Physicochemical, microstructural and functional characterization of dietary fibers extracted from lemon, orange and grapefruit seeds press meals. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, *11*(April), 9–17. doi:10.1016/j.bcdf.2017.06.001

Kurek, M. A., Piwińska, M., Wyrwisz, J., & Wierzbicka, A. (2015). Automated static image analysis as a novel tool in describing the physical properties of dietary fiber. *Food Science and Technology*, *35*(4), 620-625.

Lamothe, L. M., Srichuwong, S., Reuhs, B. L., & Hamaker, B. R. (2015). Quinoa (Chenopodium quinoa W.) and amaranth (Amaranthus caudatus L.) provide dietary fibres high in pectic substances and xyloglucans. *Food Chemistry*, *167*(2015), 490‐496. doi:10.1016/j.foodchem.2014.07.022

Li, J., Xiong, S., Wang, F., Regenstein, J. M., & Liu, R. (2015). Optimization of Microencapsulation of Fish Oil with Gum Arabic/Casein/Beta-Cyclodextrin Mixtures by Spray Drying. *Journal of Food Science*, *80*(7), C1445‐C1452. doi:10.1111/1750-3841.12928

Li, R. Y., & Shi, Y. (2018). Microencapsulation of borage oil with blends of milk protein, β-glucan and maltodextrin through spray drying: physicochemical characteristics and stability of the microcapsules. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *98*(3), 896 ‐ 904. doi:10.1002/jsfa.8535

Limberger-Bayer, V. M., de Francisco, A., Chan, A., Oro, T., Ogliari, P. J., & Barreto, P. L. M. (2014). Barley β-glucans extraction and partial characterization. *Food Chemistry*, *154*, 84 ‐ 89. doi:http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.104

Liu, C., Liang, R., Dai, T., Ye, J., Zeng, Z., Luo, S., & Chen, J. (2016). Effect of dynamic high pressure microfluidization modified insoluble dietary fiber on gelatinization and rheology of rice starch. *Food Hydrocolloids*, *57*, 55‐61. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.01.015

Ma, M. M., & Mu, T. H. (2016). Effects of extraction methods and particle size distribution on the structural, physicochemical, and functional properties of dietary fiber from deoiled cumin. *Food Chemistry*, *194*(2016), 237‐246. doi:10.1016/j.foodchem.2015.07.095

Maicaurkaew, S., Jogloy, S., Hamaker, B. R., & Ningsanond, S. (2017). Fructan:fructan 1-fructosyltransferase and inulin hydrolase activities relating to inulin and soluble sugars in Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus Linn.) tubers during storage. *Journal of Food Science and Technology*, *54*(3), 698‐706. doi:10.1007/s13197-017-2508-9

Menteş, Ö., Bakkalbaşşi, E., & Ercan, R. (2008). Effect of the Use of Ground Flaxseed on Quality and Chemical Composition of Bread. *Food Science and Technology International*, *14*(4), 299‐306. doi:10.1177/1082013208097192

Meraz, K. A. S., Vargas, S. M. P., Maldonado, J. T. L., Bravo, J. M. C., Guzman, M. T. O., & Maldonado, E. A. L. (2016). Eco-friendly innovation for nejayote coagulation-flocculation process using chitosan: Evaluation through zeta potential measurements. *Chemical Engineering Journal*, *284*(2016), 536‐542. doi:10.1016/j.cej.2015.09.026

Mikkelsen, M. S., Meier, S., Jensen, M. G., Qin, F., Stoica, I.-M., Martens, H. J., ⋯ Jespersen, B. M. (2017). Barley genotypic β-glucan variation combined with enzymatic modifications direct its potential as a natural ingredient in a high fiber extract. *Journal of Cereal Science*, *75*(Supplement C), 45‐53. doi:https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.003

Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., ⋯ Brodkorb, a. (2014). A standardised static in vitro digestion method suitable for food - an international consensus. *Food & Function*, *5*(6), 1113‐24. doi:10.1039/c3fo60702j

Niness, K. R. (1999). Inulin and Oligofructose: What Are They? *The Journal of Nutrition*, *129*(7), 1402S‐1406S. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1093/jn/129.7.1402S

Nurit, E., Lyan, B., Pujos-Guillot, E., Branlard, G., & Piquet, A. (2016). Change in B and E vitamin and lutein, β-sitosterol contents in industrial milling fractions and during toasted bread production. *Journal of Cereal Science*, *69*(2016), 290–296. doi:10.1016/j.jcs.2016.04.005

Oomen, A. G., Rompelberg, C. J. M., Bruil, M. A., Dobbe, C. J. G., Pereboom, D. P. K. H., & Sips, A. J. A. M. (2003). Development of an In Vitro Digestion Model for Estimating the Bioaccessibility of Soil Contaminants. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, *44*(3), 281–287. doi:10.1007/s00244-002-1278-0

Othman, R. A., Moghadasian, M. H., & Jones, P. J. (2011). Cholesterol-lowering effects of oat β-glucan. *Nutrition Reviews*, *69*(6), 299–309. Retrieved from http://dx.doi.org/10.1111/j.1753-4887.2011.00401.x

Palafox-Carlos, H., Ayala-Zavala, J. F., & González-Aguilar, G. A. (2011). The Role of Dietary Fiber in the Bioaccessibility and Bioavailability of Fruit and Vegetable Antioxidants. *Journal of Food Science*, *76*(1), R6–R15. doi:10.1111/j.1750-3841.2010.01957.x

Pentikäinen, S., Karhunen, L., Flander, L., Katina, K., Meynier, A., Aymard, P., ⋯ Poutanen, K. (2014). Enrichment of biscuits and juice with oat β-glucan enhances postprandial satiety. *Appetite*, *75*, 150–156. doi:10.1016/j.appet.2014.01.002

Pérez-Jiménez, J., Serrano, J., Tabernero, M., Arranz, S., Díaz-Rubio, M. E., García-Diz, L., ⋯ Saura-Calixto, F. (2009). Bioavailability of Phenolic Antioxidants Associated with Dietary Fiber: Plasma Antioxidant Capacity After Acute and Long-Term Intake in Humans. *Plant Foods for Human Nutrition*, *64*(2), 102–107. doi:10.1007/s11130-009-0110-7

Premi, M., & Sharma, H. K. (2017). Effect of different combinations of maltodextrin, gum arabic and whey protein concentrate on the encapsulation behavior and oxidative stability of spray dried drumstick (Moringa oleifera) oil. *International Journal of Biological Macromolecules*, *105*(2017), 1232–1240. doi:10.1016/j.ijbiomac.2017.07.160

Repo-Carrasco-Valencia, R., Peña, J., Kallio, H., & Salminen, S. (2009). Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (Amaranthus caudatus). *Journal of Cereal Science*, *49*(2), 219–224. doi:https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.10.003

Ribeiro, L. F., Peralta-Zamora, P. G., Maia, B. H. L. N. S., Ramos, L. P., & Pereira-Netto, A. B. (2013). Prediction of linolenic and linoleic fatty acids content in flax seeds and flax seeds flours through the use of infrared reflectance spectroscopy and multivariate calibration. *Food Research International*, *51*(2), 848–854. doi:10.1016/j.foodres.2013.01.061

Rieder, A., Knutsen, S. H., & Ballance, S. (2017). In vitro digestion of beta-glucan rich cereal products results in extracts with physicochemical and rheological behavior like pure beta-glucan solutions – A basis for increased understanding of in vivo effects. *Food Hydrocolloids*, *67*(2017), 74–84. doi:10.1016/j.foodhyd.2016.12.033

Rojas-Reyna, R., Schwarz, S., Heinrich, G., Petzold, G., Schütze, S., & Bohrisch, J. (2010). Flocculation efficiency of modified water soluble chitosan versus commonly used commercial polyelectrolytes. *Carbohydrate Polymers*, *81*(2), 317–322. doi:10.1016/j.carbpol.2010.02.010

Sánchez-Zapata, E., Viuda-Martos, M., Fernández-LÓpez, J., & Pérez-Alvarez, J. a. (2015). Resistant starch as functional ingredient. *Polysaccharides: Bioactivity and Biotechnology*, *43*(4), 1911–1931. doi:10.1007/978-3-319-16298-0_34

Shah, A., Gani, A., Ahmad, M., Ashwar, B. A., & Masoodi, F. a. (2016). β-Glucan as an encapsulating agent: Effect on probiotic survival in simulated gastrointestinal tract. *International Journal of Biological Macromolecules*, *82*(2016), 217–222. doi:10.1016/j.ijbiomac.2015.11.017

Simbalista, R. L., Frota, K. de M. G., Soares, R. A. M., & Arêas, J. A. G. (2012). Effect of storage and processing of Brazilian flaxseed on lipid and lignan contents . *Food Science and Technology* . scielo .

Sui, X., Zhang, Y., & Zhou, W. (2016). Bread fortified with anthocyanin-rich extract from black rice as nutraceutical sources: Its quality attributes and in vitro digestibility. *Food Chemistry*, *196*(2016), 910–916. doi:10.1016/j.foodchem.2015.09.113

Tiong, S. A., Chandra-Hioe, M. V., & Arcot, J. (2015). Thiamin fortification of bread-making flour: Retention in bread and levels in Australian commercial fortified bread varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, *38*, 27–31. doi:10.1016/j.jfca.2014.11.003

Willats, W. G. T., Knox, J. P., & Mikkelsen, J. D. (2006). Pectin: New insights into an old polymer are starting to gel. *Trends in Food Science and Technology*, *17*(3), 97–104. doi:10.1016/j.tifs.2005.10.008

Yan, X., Ye, R., & Chen, Y. (2015). Blasting extrusion processing: The increase of soluble dietary fiber content and extraction of soluble-fiber polysaccharides from wheat bran. *Food Chemistry*, *180*(Supplement C), 106–115. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.127

Zhang, N., Huang, C., & Ou, S. (2011). In vitro binding capacities of three dietary fibers and their mixture for four toxic elements, cholesterol, and bile acid. *Journal of Hazardous Materials*, *186*(1), 236–239. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.10.120

Zhang, W., Zeng, G., Pan, Y., Chen, W., Huang, W., Chen, H., & Li, Y. (2017). Properties of soluble dietary fiber-polysaccharide from papaya peel obtained through alkaline or ultrasound-assisted alkaline extraction. *Carbohydrate Polymers*, *172*(2017), 102–112. doi:10.1016/j.carbpol.2017.05.030

Zia, K. M., Zia, F., Ali, M., Rehman, S., & Zuber, M. (2016). Lipid functionalized biopolymers: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *93*, 1057–1068.

3. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH

W latach 2008-2013 byłem studentem kierunku technologia żywności i żywienie człowieka na Wydziale Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Ten etap mojej edukacji zakończyłem pracą magisterską pt.: „Zastosowanie chromatografii cieczowej sprzężonej z tandemowym spektrometrem mas (LC-MS-APCI-IT) w badaniu zmian zawartości witaminy E w mięsie wieprzowym", której promotorem był dr hab. Arkadiusz Szterk. Praca magisterska była wynikiem pracy w projekcie naukowym „***BIOŻYWNOŚĆ*** – innowacyjne, funkcjonalne produkty pochodzenia zwierzęcego" i została oceniona na ocenę bardzo dobrą. Już podczas studiów realizowałem badania naukowe w ramach Projektu „Optymalizacja produkcji wołowiny w Polsce, zgodnie ze strategią „od widelca do zagrody" (***ProOptiBeef***)" współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego. W 2010 zrealizowałem praktyki zawodowe w Instytucie Żywności i Żywienia w Samodzielnej Pracowni Wartości Odżywczych Żywności, gdzie realizowałem prace związane z projektem 7 Programu Ramowego: „**FACET** - Flavours, additives and food contact material exposure task". Skutkiem zdobycia tego doświadczenia był wyjazd stażowy na **University of Nottingham** (lipiec-wrzesień 2011r.), Food Science Division, gdzie realizowałem prace badawcze związane z kapsułkowaniem kropli wody i oleju, jako metody stabilizacji emulsji stosowanych do żywienia pozajelitowego.

Od września 2013 pracowałem jako asystent naukowy w Katedrze Techniki i Projektowania Żywności, w Zakładzie Techniki w Żywieniu na Wydziale Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsumpcji, Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego. Przez pierwsze dwa lata pracy byłem zatrudniony do prac na rzecz Projektu „BIOPRODUKTY, innowacyjne technologie wytwarzania prozdrowotnych produktów piekarskich i makaronu o obniżonej kaloryczności". W 2014 roku zostałem ponownie zatrudniony w projekcie ***ProOptiBeef*** jako pracownik naukowy w związku z zadaniem opracowania metodyk oznaczania kwasów tłuszczowych za pomocą chromatografii gazowej. Natomiast, w kwietniu 2015r. Rada Wydziału Nauk o Żywieniu Człowieka i Konsupcji SGGW w Warszawie otworzyła przewód doktorski, który został zamknięty podczas publicznej obrony pracy doktorskiej pt. „Wpływ dodatku i stopnia mikronizacji preparatów błonnikowych na kształtowanie wybranych cech jakościowych pieczywa". Moim promotorem była prof. dr hab. Agnieszka Wierzbicka, natomiast promotorem pomocniczym dr inż. Jarosław Wyrwisz. Praca doktorska została wyróżniona przez obu recenzentów, jak i Radę Wydziału za wysoką wartość aplikacyjną pracy, jak i również wysoką intensywność prac podczas jej przygotowania, gdyż obrona odbyła się 21 miesięcy przed planowanym ukończeniem studiów doktoranckich.

W okresie 07-09.2015 byłem stażystą prestiżowego programu **TOP500Innovators** mającego na celu podniesienie kwalifikacji naukowców w zakresie współpracy z gospodarką, zarządzania badaniami naukowymi oraz komercjalizacji ich wyników. Staż odbywał się pod auspicjami dwóch wiodących na arenie międzynarodowej placówek badawczych – **University of Cambridge** oraz **University of Oxford** i znacznie przyczynił się do poszerzenia mojej wiedzy na temat komercjalizacji wyników badań.

Od 11.2016 roku jestem zatrudniony na stanowisku adiunkta naukowo-dydaktycznego w Katedrze Techniki i Projektowania Żywności SGGW, natomiast od 01.2017 jestem kierownikiem projektu badawczego finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach programu **LIDER**. Tytuł projektu to: „Mikrokapsułkowanie jako technika zwiększania aplikacyjności beta-glukanu w przemyśle spożywczym". Jest to projekt 36-miesięczny o łącznej kwocie dofinansowania: 1 095 399,71 PLN.

W trakcie trwania zatrudnienia na stanowisku adiunkta odbyłem dwa staże dydaktyczne w ramach programu Erasmus+. W 2017 prowadziłem wykłady na **University of British Columbia** w Vancouver, Kanada oraz w 2018 **Tel Hai Academic College** w Qiryat Shemona, Izrael.

Wśród moich zainteresowań naukowych można wyszczególnić następujące tematy badawcze (numeracja publikacja zgodnie z pkt. II. Wykaz innych (nie wchodzących w skład osiągnięcia wymienionego w pkt I) opublikowanych prac naukowych oraz wskaźniki dokonań naukowych) załącznika 3):

Grupa tematyczna 1. Wpływ dodatku β-glukanu na jakość produktów piekarskich (publikacje II.A.1.; II.A.6.;II.A.15.II.A.17.).

Grupa tematyczna 2. Analiza jakości produktów cukierniczych z dodatkiem błonnika pokarmowego oraz substancji słodzących (publikacje II.A.2.; II.A.4.;II.A.7.).

Grupa tematyczna 3. Analiza wpływu diety zwierząt, dojrzewania, przechowywania oraz obróbki cieplnej na właściwości fizykochemiczne mięsa (publikacje II.A.3; II.A.8; II.A.18; II.B.1.1.).

Grupa tematyczna 4. Jakość produktów piekarskich w zależności od stosowanych mąk i błonnika pokarmowego (publikacje II.A.5; II.B.2.1.).

Grupa tematyczna 5. Oddziaływanie błonnika pokarmowego na jakość makaronu (publlikacje II.A.9.; II.A.13.; II.A.16.).

Grupa tematyczna 6. Wielkość cząstki błonnika pokarmowego i jej wpływ na właściwości fizyczne błonnika i jakość produktów piekarskich (publikacje II.A.10.; II.A.11.; II.A.12.; II.A.14.)

3.1. Omówienie prac w grupach tematycznych

3.1.1. Wpływ dodatku β-glukanu na jakość produktów piekarskich

Zwiększona świadomość konsumentów w zakresie kwestii prozdrowotnych żywności powoduje u producentów żywności konieczność zaspokojenia potrzeby zaopatrzenia rynku w produkty funkcjonalne. Produkty piekarskie są jednym z najczęściej spożywanych produktów na całym świecie. W ciągu ostatniego dziesięciolecia produkty te zostały zbadane pod kątem rozwoju ich funkcji dla ludzkiego zdrowia (Mudgil et al., 2016). Jedną z substancji, która może zwiększyć funkcjonalność produktów piekarniczych, jest β-glukan. W opisywanej grupie tematycznej skupiłem się na opisie badań skoncentrowanych wokół wykorzystania frakcji błonnika rozpuszczalnego na jakość produktów piekarskich – chleba oraz bułek.

W literaturze opisano wstępnie fakt, że dodatek β-glukanu posiada negatywny wpływ na jakość pieczywa. Istnieją różne metody, które mają na celu opisanie procesów, które mogą temu zapobiec, jak mielenie, obróbka hydrotermiczna czy enzymatyczna (Benito-Roman et al., 2013). Nie ma jednak kompleksowego opracowania dotyczącego stosowania różnych wstępnych procesów działających na β-glukan na jakość wzbogaconego chleba pszennego. W związku z tym postanowiliśmy przedstawić w niniejszym badaniu zastosowanie zamrażania, blendowania, gotowania i mieszania tych obróbek ze sobą w trakcie wstępnej obróbki preparatu β-glukanu przed wzbogaceniem chleba pszennego (**II.A.1.**). Chleby zawierające uwodnione lub suche preparaty β-glukanu wykazały niższe wartości objętości właściwej niż próba kontrolna. Z drugiej strony, preparat β-glukanu, który został obrobiony termicznie w środowisku wodnym w temp. 95°C-100°C lub zmiksowany po zamrożeniu, wykazywał wyższą objętość właściwą. Najtwardszym chlebem był ten uzyskany, przez dodanie preparatu β-glukanu, który został uwodniony, a najmniej twardy był po zastosowaniu zamrożonego preparatu mieszanego. W badaniu badaliśmy wpływ wstępnej obróbki preparatu β-glukanu na stężenie tego związku. Pieczywo zawierało od 1,62 do 1,99 g β-glukanu / 100 g produktu. Wydaje się, że najlepszym sposobem obróbki wstępnej jest suszenie, zamrażanie lub gotowanie po zamrożeniu preparatu β-glukanu. Ogólnie najlepszą metodą była obróbka termiczna w środowisku wodnym (95°C-100°C) preparatu β-glukanu przed dodaniem do ciasta.

Poza obróbką samego preparatu β-glukanu warto też zwrócić uwagę na fakt konieczności dopracowania zawartości wody podczas miesienia, co przekłada się bezpośrednio na jakość pieczywa, jak i jego trwałość. Na czerstwienie pieczywa wpływa głównie retrogradacja skrobi podczas przechowywania. Retrogradacja jest procesem, który odbywa się w funkcji czasu i zależy od ponownego połączenia struktury krystalicznej (Li et al., 2016), który skutkuje zmianami relacji związania wody w produkcie piekarskim i w efekcie jej ubytkiem oraz twardnieniem tekstury tzw. czerstwieniem pieczywa. Proces ten można spowolnić, utrzymując

odpowiedni stosunek wody do skrobi. Ze względu na zdolność β-glukanu do utrzymywania wody, może on stanowić rezerwuar wody w pieczywie, aby utrzymać właściwy ten stosunek. Celem moich badań było zoptymalizowanie zawartości β-glukanu i wody w celu uzyskania chleba o cechach wysokiej jakości, a następnie zbadanie go pod względem czerstwienia, porównując go z chlebem kontrolnym (**II.A.6.**). Wykorzystując centralny kompozytowy projekt rotacyjny, opracowaliśmy optymalny dodatek β-glukanu o wartości 1,24% z 63,48% wody w przeliczeniu na mieszankę mączno-błonnikową, aby osiągnąć produkt końcowy o minimalnej wartości twardości i maksymalnej porowatości, sprężystości i zawartości β-glukanu. Analiza kinetyki czerstwienia wykazała, że ta zoptymalizowana zawartość może zapobiegać czerstwieniu pieczywa nawet do 7 dni przechowywania.

Podjąłem również badania w ramach tej grupy tematycznej na temat zastosowania różnych typów mąki pszennej wykorzystywanej w produkcji pieczywa o wysokiej zawartości β-glukanu. W artykule omówiono zagadnienie wpływu typu mąki pszennej na jakość chleba pszennego wzbogacanego w β-glukan pochodzący z ziaren owsa (**II.A.17.**). Zaobserwowałem, że zwiększenie typu mąki spowodowało zwiększenie modułu magazynowania i modułu stratności. Natomiast chleb wytworzony z różnych mąk był mniejszy pod względem objętości po dodaniu β-glukanu, chociaż wydajność wzrosła. Barwa miękiszu chleba z dodanym β-glukanem była ciemniejsza niż bez udziału β-glukanu. . Próbki kontrolne miały wyższą twardość niż próby po dodaniu β-glukanu, które miały równocześnie zmniejszoną porowatość. Wyniki wykazały, że przy użyciu bardzo mocnej mąki o wysokiej zawartości białka powstaje wysokiej jakości pieczywo β-glukanowe o wyższej wartości odżywczej ze względu na wysoką zawartość błonnika pokarmowego i β-glukanu.

Poza doborem odpowiedniej zawartości wody, rodzaju mąki, w grupie tematycznej opisano również wpływ mikrofal na zachowanie jakości pieczywa wzbogacanego w β-glukan. Istnieje duży rynek żywności przetworzonej mikrofalowo i jednym z potencjalnie ważnych obszarów wzrostu tego rynku są produkty pieczone mikrofalowo; jednak głównym zadaniem naukowców jest poprawa jakości tych produktów wypiekanych przy użyciu mikrofal (Wiggins & Cauvain, 2015). Celem badań było sprawdzenie metodologii powierzchni odpowiedzi w celu optymalizacji zawartości β-glukanu i mocy mikrofal podczas pieczenia bułek pszennych (**II.A.15**.). Rosnąca zawartość β-glukanu w bułkach pszennych spowodowała skrócenie czasu pieczenia. Na twardość bułki tartej istotny wpływ miała zawartość β-glukanu w ujęciu liniowym i nie podlegała wpływowi intensywności mikrofal. Zawartość β-glukanu w produkcie końcowym była najwyższa w produktach otrzymanych w średnim zakresie mikrofal. Metodologia powierzchni odpowiedzi została wykorzystana do optymalizacji β-glukanu i mikrofal w celu wytworzenia produktu najlepszej jakości.

Opisana przeze mnie grupa badawcza stanowi cykl publikacji dotyczących stosowania różnych form β-glukanu, dopasowania zawartości wody i wpływu na czerstwienie pieczywa, jak i dopracowania typu mąki czy stosowania mikrofal. Uzyskane wyniki potwierdziły tezę, że istnieje możliwość stosowania β-glukanu w pieczywie przy zachowaniu wysokiej jakości, jednakże należy stosować pewne procesy technologiczne, aby tę jakość zachować lub uzyskać.

Piśmiennictwo:

- Benito-Román, Ó., Alonso, E., Gairola, K., & Cocero, M. J. (2013). Fixed-bed extraction of β-glucan from cereals by means of pressurized hot water. *The Journal of Supercritical Fluids*, *82*, 122-128.
- Li, W., Li, C., Gu, Z., Qiu, Y., Cheng, L., Hong, Y., & Li, Z. (2016). Relationship between structure and retrogradation properties of corn starch treated with 1, 4-α-glucan branching enzyme. *Food Hydrocolloids*, *52*, 868-875.
- Mudgil, D., Barak, S., & Khatkar, B. S. (2016). Optimization of textural properties of noodles with soluble fiber, dough mixing time and different water levels. *Journal of Cereal Science*, *69*, 104-110.
- Wiggins, C., & Cauvain, S. P. (2007). Proving, baking and cooling. In *Technology of breadmaking* (pp. 141-173). Springer, Boston, MA.

3.1.2. Analiza jakości produktów cukierniczych z dodatkiem błonnika pokarmowego oraz substancji słodzących

W ramach tej grupy tematycznej opracowane zostały artykuły na temat stosowania błonnika pokarmowego oraz substancji słodzących w produktach ciastkarskich. Przykładem takiego produktu, który łączył wszystkie publikacje w obrębie grupy był muffin.

Zgodnie z Raportem WHO 2015 na temat otyłości, około 17% dzieci i ponad 30% dorosłych jest obecnie uważanych za otyłe, więc epidemia otyłości pozostaje jednym z najpoważniejszych problemów zdrowotnych. Jednym ze sposobów zapobiegania tej chorobie jest zmniejszenie spożycia tłuszczu lub cukru i zapewnienia porównywalności z konwencjonalnymi produktami zgodnie z akceptacją konsumentów (Struck et al., 2016). Dlatego w niniejszym opracowaniu wskazano innowacyjny system pakowania, w którym muffiny charakteryzują się zwiększoną zawartością błonnika i zwiększonym poziomem antyoksydantów, aby utrzymać ich zdrową wartość (**II.A.2.**). Badano cztery różne błonniki pokarmowe: błonnik owsiany (AS), błonnik jabłkowy (MD), błonnik marchwiowy (DC) i błonnik kakaowy (TC) oraz próbkę kontrolną. Mufinki wytworzono w celu uzyskania więcej niż 6g błonnika pokarmowego na 100g końcowego produktu. Każdą muffinkę z błonnikiem pokarmowym pakowano w modyfikowanej atmosferze (MAP) z początkową mieszaniną gazów: 25% CO_2, 50% CO_2, 75% CO_2, 100% CO_2, stosując azot jako gaz obojętny w systemie MAP. Jakość muffinek badano w pierwszym i piętnastym dniu pakowania. Zauważyliśmy, że twardość próbki kontrolnej była głównie zależna od stężenia CO_2 w MAP. Na twardość próbek MD największy wpływ miał poziom CO_2. Odwrotnie było z próbkami AS, gdzie sprężystość była istotnie zależna od interakcji między oddziaływaniem CO_2 i N_2, podobnie jak w TC. Opracowaliśmy zoptymalizowany skład gazów do MAP dla każdej z babeczek z błonnikiem pokarmowym.

Kolejnym etapem pracy w związku z pozytywnym efektem prac nad optymalizacją składu muffinków z błonnikiem pokarmowym było opracowanie technologii umożliwiającej stosowanie substancji słodzących oraz błonnika pokarmowego. Rosnące zapotrzebowanie na żywność niskokaloryczną o obniżonej zawartości cukru i tłuszczu jest również konsekwencją epidemii otyłości, cukrzycy i innych chorób cywilizacyjnych. Jest to również związane ze świadomością żywieniową konsumentów (McVay et al., 2016). Niemniej jednak tłuszcz i cukier odgrywają kluczową rolę w rozwoju tekstury i jakości sensorycznej produktów spożywczych, w szczególności słodkich produktów piekarniczych. W badaniu przeprowadzono częściową wymianę sacharozy (20%) glikozydami stewiolowymi i całkowite zastąpienie proszku kakaowego preparatem błonnika kakaowego w muffinach (**II.A.4.**). Istniały trzy poziomy dodatku błonnika pokarmowego - 3%, 6% i 12%. Przeprowadzono analizę fizyczną tekstury, koloru, wydajności gotowania i porowatości. Ponadto wykonano również analizę chemiczną całkowitego błonnika pokarmowego (TDF) i całkowitej zawartości związków fenolowych (TPC). Dokonano również oceny sensorycznej w dwóch częściach. Eksperyment ujawnił wzrost twardości, porowatości, TDF i TCP oraz zmniejszenie sprężystości i spoistości w próbkach z błonnikiem pokarmowym. Pod kątem konsumenckim najlepiej oceniane były muffiny z 6% TDF słodzona mieszanką cukru i stewii. Stevia dodatkowo wzmacniała smak kakao i słodki w testowanych muffinach.

Ostatnim badaniem w obrębie tej grupy badawczej były badania skupione wokół właściwości fizyczych muffinów słodzonych glikozydami stewiolowymi jako zamiennikami sacharozy (**II.A.7.**). Celem tego badania było określenie wpływu zastąpienia sacharozy glikozydami stewiolowymi na jakość produktów ciastkarskich. Przeprowadzono analizę tekstury, koloru, wydajności gotowania, wskaźnika brązowienia i analizy sensorycznej muffinki. Badanie wykazało, że 25% dodatek substancji słodzacej słodzika (jako zamiennika sacharozy) był najbardziej odpowiednią modyfikacją podstawowej receptury. Powstałe muffiny zyskały sensoryczną atrakcyjność i właściwości zdrowotne. Co więcej, badanie wykazało, że obniżenie zawartości sacharozy o ponad 50% miało negatywny wpływ na jakość babeczek i ich profil sensoryczny.

Podsumowując całą grupę tematyczną można stwierdzić, że błonnik pokarmowy jest możliwy do zastosowania w produktach ciastkarskich. Zwiększony koszt produkcji takich produktów można zrekompensować dłuższą trwałością, np. poprzez zastosowanie modyfikowanie atmosfery. Stosowanie słodzików, jak np. glikozydów stewiolowych w połączeniu ze zwiększoną zawartością błonnika pokarmowego może być jedną z metod, która wpisują się w ogólny trend produkcji żywności polegający na obniżaniu kaloryczności produktów ciastkarskich.

Piśmiennictwo:

- McVay, M. A., Voils, C. I., Geiselman, P. J., Smith, V. A., Coffman, C. J., Mayer, S., & Yancy Jr, W. S. (2016). Food preferences and weight change during low-fat and low-carbohydrate diets. *Appetite*, *103*, 336-343.
- Struck, S., Jaros, D., Brennan, C. S., & Rohm, H. (2014). Sugar replacement in sweetened bakery goods. *International Journal of Food Science & Technology*, *49*(9), 1963-1976

3.1.3. Analiza wpływu diety zwierząt, dojrzewania, przechowywania oraz obróbki cieplnej na właściwości fizykochemiczne mięsa

Kolejną grupą badawczą, którą się zajmowałem podczas mojej pracy naukowej była szeroko pojęta technologia mięsa. W ramach niniejszej grupy badawczej byłem współautorem w trzech publikacjach z zakresu mięsa wołowego oraz mięsa wieprzowego.

Jednym z efektów pracy w tej grupie badawczej był artykuł przeglądowy, który miał na celu opisanie aktualnej wiedzy z zakresu suplementacji diety trzody chlewnej nasionami roślin oleistych i ich wpływu na wartość odżywczą i jakość mięsa wieprzowego (**II.A.3.**). Stosowanie pasz bogatych w PUFA w diecie świń, w tym tych bogatych w oleje roślinnych, takich jak siemię lniane, rzepak lub słonecznik, jest korzystne dla zdrowia konsumentów, ponieważ kwasy te poprawiają wartość odżywczą mięsa. Szczególnie zwiększają one proporcje kwasów tłuszczowych n-3, takich jak kwas linolenowy w mięsie wieprzowym, ale nie wpływają na zawartość DHA i EPA. Spośród roślin oleistych szczególnie siemię lniane wydaje się być dobrym źródłem PUFA n-3, a także zawartość ALA (50% kwasów tłuszczowych). Jednak wyższy udział PUFA ma negatywny wpływ na właściwości technologiczne mięsa wieprzowego i jego stabilność oksydacyjną, a także cechy sensoryczne. Zatem stosowanie przeciwutleniaczy w diecie świńskiej, w tym witamin A, C, E i selenu, może zmniejszać powstawanie rodników lipidowych i chronić nienasycone kwasy tłuszczowe w wieprzowinie przed zwiększonym utlenianiem lipidów.

Kolejnym badaniem, przy którym brałem udział było badanie wpływu dojrzewania mięsa w próżni przez 21 dni na barwę, blooming oraz siłę cięcia (WBSF) mięśnia półbłoniastego wołowego. Dojrzewanie jest jedną z najczęściej stosowanych metod poprawy jakości wołowiny. Podczas procesu dojrzewania dochodzi do wielu procesów biochemicznych, które są odpowiedzialne za poprawę jakości mięsa, głównie kruchości (Moczkowska, Półtorak, Wierzbicka, 2015) i rozwoju cech smakowo-zapachowych. Różne mięśnie różnią się stabilnością barwy (Apple et al., 2014). Mięsnie o większej stabilności barwy charakteryzują się mniejszym zużyciem tlenu i mniejszym utlenianiem lipidów, co jest również związane z typem włókna mięśniowego. Celem badania była ocena zmian barwnych, postaci mioglobiny i stężenia oraz wartości WBSF w czasie 21-dniowego dojrzewania na mokro (**II.A.8.**). Stwierdzono znaczące

zmiany w jasności, zaczerwienieniu, zażółceniu oraz *hue angle* podczas dojrzewania. Proporcje form mioglobiny zmieniły się w siódmym dniu dojrzewania. Dojrzewanie ogólnie zmniejszyło WBSF, ale znaczny spadek zaobserwowano po 14 dniu dojrzewania. Odkryto, że najlepsze cechy jakościowe można uzyskać po optymalnym czasie bloomingu, jak i dojrzewania mięsa.

W trakcie pracy badawczej miałem również skromny udział w badaniach mających na celu opis profilu i stężenia heterocyklicznych amin aromatycznych (HAA) powstających w wołowinie podczas różnych obróbek cieplnych, które zależą od czasu dojrzewania i typu mięśni (**II.A.18.**). W tym badaniu opracowano nową, bardzo dokładną i precyzyjną metodę analityczną HAA. Wyniki mogą pomóc w optymalizacji technologii przetwarzania mięsa pod kątem zmniejszenia stężenia HAA powstałego podczas obróbki cieplnej, w tym najbardziej rakotwórczych: amin IQ, IQx, MeIQx i PhIP.

Podsumowaniem współpracy przy badaniach z zakresu technologii mięsa był współudział przy tworzeniu rozdziału w wybitnej monografii naukowej na temat roli i systemów produkcji wołowiny oraz metod weryfikacji ich jakości (**II.B.1.1.)** Podczas pracy naukowej brałem udział w badaniach mających na celu opisanie wpływu różnych etapów pozyskiwania mięsa na jego jakość – od suplementacji diety po obróbkę termiczną i opis systemów jakości produkcji.

Piśmiennictwo:

- Apple, J. K., Machete, J. B., Stackhouse, R. J., Johnson, T. M., Keys, C. A., & Yancey, J. W. (2014). Color stability and tenderness variations within the gluteus medius from beef top sirloin butts. *Meat Science*, *96*(1), 56-64.
- Moczkowska, M., Półtorak, A., & Wierzbicka, A. (2015). Impact of the ageing process on the intensity of post mortem proteolysis and tenderness of beef from crossbreeds. *Bulletin of the Veterinary Institute in Pulawy*, *59*(3), 361-367.

3.1.4. Jakość produktów piekarskich w zależności od stosowanych mąk i błonnika pokarmowego

W pracy badawczej poza samym zastosowaniem błonnika pokarmowego, zajmowałem się również badaniami dotyczącymi zastosowania różnych typów mąk pszennych w piekarnictwie. Efektem tej pracy była publikacja stanowiąca studium porównawcze reologii ciasta i jakości pieczywa wypiekanego z mąk wzbogaconych i bogatych w błonnik (**II.A.5.**).

Ponieważ popyt na żywność o wysokiej zawartości błonnika rośnie wraz z liczbą konsumentów świadomych jego pozytywnego wpływu na zdrowie, wzrasta spożycie żywności o wysokiej zawartości błonnika. Z żywieniowego punktu widzenia konsumenci preferują mąkę pochodzącą z przemiału całego ziarna, ale większość z nich preferuje smak i właściwości

fizyczne chleba z białej, pszennej mąki. Kiedy konsumenci są proszeni o wskazanie korzyści płynących z chleba pełnoziarnistego, najczęściej odnoszą się do błonnika pokarmowego (Schaffer-Lequart i in., 2015). Ponadto jedną z alternatyw dla pieczywa pszennego wzbogaconego i pełnoziarnistego jest chleb z mąki orkiszowej, który ma taki sam genotyp jak chleb pszenny. Orkisz zyskał zainteresowanie w ciągu ostatnich 20-30 lat ze względu na wysoki potencjał żywieniowy i niskie koszty produkcji. Orkisz znany jest z wysokiej zawartości błonnika i białka. W badaniach oceniono właściwości reologiczne ciasta i jakość chleba z mąki pszennej oczyszczonej (typ 600, 550, 500), wzbogaconej o błonnik pokarmowy z owsa w dwóch udziałach (6 i 12%), z mąki orkiszowej i z dwóch rodzajów mąk: pełnoziarnistym (pełny przemiał ziarniaków z łuską pozwalający na uzyskanie maksymalnej, równej ziarniakowi z łuską ilości składników mineralnych, witamin i błonnika) i razowe (mielenie jednoetapowe ziarniaków pozbawionych łusek pozwalające na uzyskanie bardzo wysokiej ilości, składników mineralnych, witamin i błonnika, minimalnie niższej ilości niż obecnej w ziarniaku i łusce, gdyż przemiał razowy dotyczy przemiału ziarniaków bez łusek). Najniższą objętość właściwą zaobserwowano w chlebie pełnoziarnistym (0,82 cm^3/g), natomiast najwyższą obserwowano w próbce kontrolnej białego pieczywa (1,60 cm^3/g). Najszybsza utrata wilgoci pojawiła się w białym pieczywie. Na zawartość wody istotnie wpływał rodzaj mąki, dzień przechowywania i interakcja tych dwóch zmiennych ($p \leq 0,01$). Najtwardsza była próbka pełnoziarnistego chleba pierwszego i trzeciego dnia. Jednakże, biorąc pod uwagę czynniki jakościowe ciasta, pieczywa oraz ocenę konsumencką najbardziej odpowiadająca jakości ciągle pozostawała próbka o zawartości 12% błonnika pokarmowego dodawanego na drodze fortyfikacji.

W ramach tej grupy tematycznej został również opracowany artykuł przeglądowy, w którym opisałem wpływ błonnika pokarmowego na reologię wytwarzanych płynów nieniutonowskich lepko-plastycznych (ciast żytnich) i lepko-sprężystych (ciast pszennych) oraz jakość obrobionego termicznie produktu finalnego. Przegląd wykazał zależność pomiędzy wykorzystaniem błonnika pokarmowego w produkcji chleba, a zmianami parametrów fizycznych, trwałości i cech sensorycznych chleba (**II.B.2.1.**)

Piśmiennictwo:

- Schaffer-Lequart, C., Lehmann, U., Ross, A. B., Roger, O., Eldridge, A. L., Ananta, E., ... & Wavreille, A. S. (2017). Whole grain in manufactured foods: current use, challenges and the way forward. *Critical reviews in food science and nutrition*, *57*(8), 1562-1568.

3.1.5. Oddziaływanie błonnika pokarmowego na jakość makaronu

Błonnik pokarmowy w moich pracach badawczych nie tylko znajdował zastosowanie w produktach wypiekanych, takich jak pieczywo czy ciastka, ale również w produktach wytwarzanych za pomocą metod nietermicznych, jak np. makaron. W ramach pracy brałem

udział w badaniach dotyczących wpływu typu suszenia (konwencjonalnego, próżniowego oraz wysokotemperaturowego) na jakość makaronu wzbogacanego w błonnik pokarmowy. Warunki suszenia odgrywają kluczową rolę w procesie produkcji makaronu. Określają one końcową jakość produktu, w tym wygląd i zachowanie podczas gotowania (Mercier, Villeneuve, Mondor, & Des Marchais, 2011). Celem tego badania była ocena wpływu dodatku preparatu owsianego bogatego w błonnik i suszenia próżniowego na właściwości hydratacyjne i barwę makaronu. Semolinę z pszenicy *durum* zastąpiono 0, 4, 8, 12, 16 i 20 g/100 g preparatem owsianym z dużą zawartością błonnika. Makaron wytwarzano z semoliny pszenicy i suszono w bardzo wysokiej temperaturze w konwencjonalnym systemie suszenia i przy użyciu suszarki próżniowej.

Wyniki wykazały, że metoda suszenia i poziom dodawania preparatu owsianego miały znaczący wpływ na kolor i właściwości nawilżenia makaronu ($P \leq 0,05$). Związanie wody było wyższe w próbkach zawierających preparat owsiany niż w próbce kontrolnej. Poziom uwodnienia i wskaźnik pęcznienia były wyższe w próbkach suszonych próżniowo. Optymalny czas gotowania zmniejszał się wraz z rosnącym poziomem dodatku proszku owsianego. Krzywa suszenia wskazywała, że suszenie próżniowe umożliwia szybsze parowanie wody niż suszenie atmosferyczne. Makaron z frakcją owsianą był ciemniejszy, bardziej miękki i mniej klejący niż makaron z semoliny. Suszenie próżniowe dało jasny żółty makaron charakteryzujący się wysoką twardością, niską przylepnością (adhezją), wysokim uwodnieniem struktury ciasta makaronowego i niskimi stratami podczas gotowania. Wyniki badań wskazują na korzystne efekty suszenia próżniowego na fizyczne właściwości makaronu (**II.A.9.; II.A.13; II.A.16.**).

Piśmiennictwo:

- Mercier, S., Villeneuve, S., Mondor, M., & Des Marchais, L. P. (2011). Evolution of porosity, shrinkage and density of pasta fortified with pea protein concentrate during drying. *LWT-Food Science and Technology*, *44*(4), 883-890.

3.1.6. Wielkość cząstki błonnika pokarmowego i jej wpływ na właściwości fizyczne błonnika i jakość produktów piekarskich

Zakres badawczy, na którym składała się wielkość cząstki błonnika pokarmowego był elementem mojej pracy doktorskiej oraz pracy badawczej bezpośrednio po jej obronie (**II.A.10.; II.A.11.; II.A.12.**). Doniesienia naukowe na temat prozdrowotnego wpływu poszczególnych frakcji błonnika pokarmowego zwiększają zainteresowanie implementacją preparatów błonnikowych w produkcji piekarniczej. Jednak zastąpienie mąki preparatem błonnikowym wywiera niekorzystny wpływ na jakość produktu końcowego. Fragmentuje np. strukturę glutenowo-skrobiową w jednym z wymiarów układu (szczególnie frakcje nierozpuszczalne). Skutkuje to zmianą właściwości lepkosprężystych ciasta oraz różnie wpływa na inne

właściwości technologiczne typu objętość czy twardość pieczywa (Rosell & Santos, 2010). Problem ten podjęto w opracowaniach naukowych, które analizują procesy wytwarzania preparatów błonnikowych pod kątem poprawy jakości pieczywa. Metody te zostały podzielone na: termiczne, enzymatyczne i mechaniczne. Jedną z metod mechanicznych przygotowania preparatów błonnikowych stosowaną w produkcji piekarniczej jest mikronizacja. Proces ten powoduje otwieranie struktury błonnika poprzez ścieranie mechaniczne w kontrolowanych warunkach temperaturowych. Uwalniane są wolne grupy hydroksylowe, co przyczynia się do zwiększenia absorpcji wody poprzez rozwinięcie powierzchni ich działania. Dodatkowo, dzięki mniejszej wielkości cząstek dochodzi do dokładniejszego wbudowywania się preparatu błonnikowego w strukturę ciasta produktu piekarskiego (Choi et al., 2008).

Przeprowadzono badania fizykochemiczne pieczywa wzbogaconego w błonnik pokarmowy zarówno o wysokim udziale frakcji nierozpuszczalnych, jak i rozpuszczalnych. Dzięki obniżeniu wielkości cząstki preparatu błonnikowego uzyskano produkty piekarskie o najlepszych właściwościach jakościowych; zarówno przy wykorzystaniu preparatu o wysokiej zawartości frakcji rozpuszczalnych, jak i nierozpuszczalnych. Opracowano konkretne zalecenia z zakresu aplikacji w praktyce przemysłowej. Dotyczą one użycia odpowiedniego typu mąki, dodatku, a także wielkości cząstek owsianego preparatu błonnikowego przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej jakości produktów piekarskich, do których są przyzwyczajeni konsumenci. Dodatek preparatu błonnika owsianego z mniejszymi cząstkami skutkuje pozyskaniem produktu o parametrach reologicznych i barwie, które bardziej przypominały próbkę kontrolną.

W trakcie badań nad właściwościami cząstek błonnika pokarmowego opracowałem metodykę służącą opisaniu właściwości wodochłonności przy użyciu automatycznej statycznej analizy obrazu, która do tej pory nie była w literaturze wskazywana jako metoda mogąca mieć takie zastosowanie (**II.A.14.**)

Piśmiennictwo:

- Choi I., Chun A., Suh S.-J., Ryu G.-H., Chun J., Kim J.H. (2008). Effects of extrusion conditions on physicochemical properties of a mutant rice cultivar, goami2 – high in nondigestible carbohydrates. *Journal of Food Quality*, 31(5), 571–585. DOI: 10.1111/j.1745-4557.2008.00221.x.
- Rosell C.M., Santos E. (2010). Impact of fibers on physical characteristics of fresh and staled bake off bread. *Journal of Food Engineering*, 98(2), 273–281. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2010.01.008

3.2. Podsumowanie przebiegu pracy naukowo-badawczej

Publikacja	Liczba publikacji		Liczba punktów z listy MNiSW*	Suma punktów z listy MNiSW**	Impact Factor wg roku	5-letni Impact Factor
	Przed doktoratem	Po doktoracie				
A. Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JRC)						
Animal Science Papers and Reports		1	25	25	0.710	0.845
Carbohydrate Polymers		1	40	40	5.158	5.326
CyTA-Journal of Food	2	2	15	60	1.180	1.056
Food Hydrocolloids		1	45	45	5.089	5.501
Food Science and Biotechnology		1	20	20	0.699	0.859
Food Science and Technology (Campinas) (2015)[1]	1	1	15	30	0.729	0.749
Food Science and Technology (Campinas) (2018)		1	15	15	1.084	1.268
Food Technology and Biotechnology		1	25	25	0.891	1.349
International Journal of Food Science & Technology (2015)	1		25	25	1.640	1.755
International Journal of Food Science & Technology (2017)		1	25	25	1.504	1.669
International Journal of Biological Macromolecules		1	35	35	3.909	3.256
Journal of Cereal Science		2	35	70	2.302	2.904
Journal of Food Process Engineering		1	20	20	1.370	1.283
Journal of Food Science and Technology		1	35	35	1.797	1.604
LWT-Food Science and Technology (2015)	1		35	35	3.129	3.455
LWT-Food Science and Technology (2017)		1	35	35	2.711	3.290
Meat Science (2012)	1		40	40	2.754	3.039
Meat Science (2016)		1	35	35	3.126	3.313
B. Monografie naukowe						
Rozdziały w monografiach naukowych uznanych za dzieło wybitne w języku polskim		1	10	10	-	-
C. Publikacje naukowe w czasopismach wymienionych w części B wykazu czasopism naukowych MNiSW						
British Journal of Applied Science & Technology	1		5	5	-	-
Journal of Food Processing and Technology	1		7	7	-	

Publikacja	Liczba publikacji		Liczba punktów z listy MNiSW*	Suma punktów z listy MNiSW**	Impact Factor wg roku	5-letni Impact Factor
D. Komunikaty naukowe						
Na konferencjach międzynarodowych	11	10	0	0	-	-
Na konferencjach krajowych		4	0	0	-	-
G. Opracowania zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych, ekspertyz, utworów i dzieł artystycznych i inne						
Rozwiązania gotowe do użycia	-	2	0	0	-	-
Zgłoszenia patentowe	3	-	0	0	-	-
H. Publikacje popularnonaukowe						
Szef Kuchni	-	23	0	0	-	-
Przegląd Piekarski i Cukierniczy	-	1	0	0	-	-
PODSUMOWANIE				**Suma punktów z listy MNiSW**	**Impact Factor wg roku**	**5-letni Impact Factor**
SUMA PUBLIKACJI	**80**		**SUMA PUNKTÓW**	**637**	**46.353**	**49.342**

[1] – w przypadku dwóch lub więcej publikacji z różnych lat w tym samym czasopiśmie podano rok opublikowania

* - Liczba punktów według wykazu czasopism punktowanych wg Komunikatów Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego w sprawie wykazu czasopism naukowych zgodnie z rokiem opublikowania lub najnowszym dostępnym wykazem z dnia 26.01.2017. W przypadku monografii: Rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 12 grudnia 2016 r. w sprawie przyznawania kategorii naukowej jednostkom naukowym i uczelniom, w których zgodnie z ich statutami nie wyodrębniono podstawowych jednostek organizacyjnych – Załącznik 7

** - Suma punktów według wykazu czasopism punktowanych MNiSW pomnożona przez odpowiednią liczbę publikacji

- Jestem autorem **23 publikacji naukowych** w czasopismach indeksowanych przez bazę Journal Citation Report opublikowanych w latach 2012-2018, z czego w **14 z nich jestem autorem pierwszym i korespondencyjnym**.
- Liczba cytowań publikacji według bazy **Web of Science wynosi: 98**; według **Google Scholar: 157.**
- Indeks Hirscha według bazy **Web of Science: 6**; według **Google Scholar: 7** (na dzień 13.09.2018).
- **Suma punktów według list MNiSW wynosi 637, w tym 480 uzyskanych po doktoracie. Sumaryczny Impact Factor wszystkich publikacji wynosi 46,353.**