

**dr inż. Przemysław Łukasz Kowalczewski**

Katedra Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego

Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

**AUTOREFERAT**  
**prezentujący opis osiągnięć i dorobku naukowo-badawczego**



UNIWERSYTET  
PRZYRODNICZY  
W POZNANIU

**Poznań 2023**

**SPIS TREŚCI**

a) DANE OSOBOWE.....	3
b) POSIADANE DYPLOMY I STOPNIE NAUKOWE.....	3
c) INFORMACJA O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH .....	4
d) DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWO-BADAWCZA .....	4
1.1 Tytuł osiągnięcia naukowego .....	4
1.2 Omówienie celu naukowego i uzyskanych wyników osiągnięcia.....	6
1.2.1 Wprowadzenie.....	6
1.2.2 Cel naukowy osiągnięcia oraz omówienie wyników badań.....	11
1.2.3 Podsumowanie uzyskanych wyników .....	33
1.2.4 Wykaz cytowanej literatury.....	35
e) WSPÓŁPRACA Z JEDNOSTKAMI NAUKOWYMI KRAJOWYMI I ZAGRANICZNYMI, DZIAŁALNOŚĆ MIĘDZYNARODOWA.....	40
f) INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ.....	42
1.1 Promotorstwo pomocnicze prac doktorskich .....	42
1.2 Działalność dydaktyczna.....	42
1.3 Działalność organizacyjna.....	44
1.4 Działalność popularyzująca naukę .....	45
G) INNE WAŻNE INFORMACJE DOTYCZĄCE KARIERY ZAWODOWEJ .....	46
1.1 Dorobek publikacyjny .....	46
1.2 Udział w konferencjach.....	50
1.3 Udział w projektach badawczych.....	51
1.4 Otrzymane nagrody i wyróżnienia .....	52
1.5 Ukończone kursy i szkolenia.....	54

## A) DANE OSOBOWE

**Przemysław Łukasz Kowalczewski**

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu

Katedra Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego



**ORCID**

0000-0002-0153-4624



**Web of Science ResearcherID** E-8988-2018



**Scopus AuthorID**

55191574200

## B) POSIADANE DYPLOMY I STOPNIE NAUKOWE

**2021 Uniwersytet Ekonomiczny we Wrocławiu**

Ukończenie studiów podyplomowych

Zarządzanie projektami

**2016 Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu**

Doktor nauk rolniczych, technologii żywności i żywienia

Tytuł rozprawy: Charakterystyka soku z ziemniaka jako składnika żywności prozdrowotnej

Rozprawa doktorska wykonana pod kierunkiem:

prof. dr hab. inż. Grażyny Lewandowicz – promotora

dr hab. inż. Anny Olejnik – promotora pomocniczego

**2011 Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu**

Magister inżynier, technologia żywności i żywienie człowieka,

specjalność: biotechnologia żywności

**2010 Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu**

Inżynier, technologia żywności i żywienie człowieka

## **C) INFORMACJA O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH**

**10.2016 – nadal      Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu**

Adiunkt

Katedra Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego

**10.2015 – 09.2016      Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu**

Asystent

Instytut Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego

**11.2013 – 12.2014      Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu**

Starszy referent techniczny

Katedra Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności

## **D) DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWO-BADAWCZA**

### **1.1 Tytuł osiągnięcia naukowego**

Osiągnięciem naukowym, będącym podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego jest cykl sześciu powiązanych tematycznie prac, umieszczonych w **Załączniku 7** do wniosku, ujętych pod wspólnym tytułem:

#### **„OCENA WŁAŚCIWOŚCI MĄKI ZE ŚWIERSZCZY JAKO FUNKCJONALNEGO DODATKU DO PIECZYWA BEZGLUTENOWEGO”**

na który składają się następujące pozycje:

**D.1.1.1 Kowalczewski P.Ł.\***; Siejak P.; Jarzębski M.; Jakubowicz J.; Jeżowski P.; Walkowiak K.; Smarzyński K.; Ostrowska-Ligęza E.; Baranowska H.M. Comparison of technological and physicochemical properties of cricket powders of different origin. *Journal of Insects as Food and Feed* **2022** [w druku/online first]. DOI: 10.3920/JIFF2022.0030

**[70 pkt MEiN; IF<sub>2021</sub>=5.099; Cytowania WoS: -]**

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: opracowaniu koncepcji planu badawczego, współudziale w przeprowadzeniu analiz laboratoryjnych, analizie statystycznej wyników i pisaniu manuskryptu, funkcji autora korespondencyjnego (\*).*

**D.1.1.2** Montowska, M.; **Kowalczewski, P.\***; Rybicka, I.; Fornal, E. Nutritional Value, Protein and Peptide Composition of Edible Cricket Powders. *Food Chemistry* **2019**, 289, 130-138. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.03.062

**[200 pkt MEiN; IF<sub>2019</sub>=6.306; Cytowania WoS: 70]**

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: opracowaniu koncepcji planu badawczego, współudziale w przeprowadzeniu analiz laboratoryjnych, analizie statystycznej wyników i pisaniu manuskryptu, funkcji autora korespondencyjnego (\*).*

**D.1.1.3** **Kowalczewski, P.Ł.\***; Walkowiak, K.; Masewicz, Ł.; Bartczak, O.; Lewandowicz, J.; Kubiak, P.; Baranowska, H.M. Gluten-Free Bread with Cricket Powder - Mechanical Properties and Molecular Water Dynamics in Dough and Ready Product. *Foods* **2019**, 8(7), 240. DOI: 10.3390/foods8070240

**[100 pkt MEiN; IF<sub>2019</sub>=4.092; Cytowania WoS: 35]**

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: opracowaniu koncepcji planu badawczego, współudziale w przeprowadzeniu analiz laboratoryjnych, analizie statystycznej wyników i pisaniu manuskryptu, funkcji autora korespondencyjnego (\*).*

**D.1.1.4** **Kowalczewski, P.Ł.\***; Walkowiak, K.; Masewicz, Ł.; Smarzyński, K.; Le Thanh-Blicharz, J.; Kačániová, M.; Baranowska, H.M. LF NMR Spectroscopy Analysis of Water Dynamics and Texture of Gluten-Free Bread with Cricket Powder During Storage. *Food Science and Technology International* **2021**, 27(8), 776-785. DOI: 10.1177/1082013220987914

**[40 pkt MEiN; IF<sub>2021</sub>= 2.638; Cytowania WoS: 12]**

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: opracowaniu koncepcji planu badawczego, współudziale w przeprowadzeniu analiz laboratoryjnych, analizie statystycznej wyników i pisaniu manuskryptu, funkcji autora korespondencyjnego (\*).*

**D.1.1.5** **Kowalczewski, P.Ł.\***; Gumienna, M.; Rybicka, I.; Górna, B.; Sarbak, P.; Dziejic, K.; Kmiecik, D. Nutritional Value and Biological Activity of Gluten-Free Bread Enriched with Cricket Powder. *Molecules* **2021**, 26(4), 1184. DOI: 10.3390/molecules26041184

**[140 pkt MEiN; IF<sub>2021</sub>= 4.927; Cytowania WoS: 17]**

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: opracowaniu koncepcji planu badawczego, współudziale w przeprowadzeniu analiz laboratoryjnych, analizie statystycznej wyników i pisaniu manuskryptu, funkcji autora korespondencyjnego (\*).*

**D.1.1.6** Wieczorek, M.N., **Kowalczewski, P.Ł.\***, Drabińska, N., Różańska, M.B., Jeleń, H.H. Effect of Cricket Powder Incorporation on the Profile of Volatile Organic Compounds, Free Amino Acids and Sensory Properties of Gluten-Free Bread. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* **2022**, 72(4), 431-442. DOI: 10.31883/pjfn/156404

**[100 pkt MEiN; IF<sub>2021</sub>= 2.736; Cytowania WoS: 1]**

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na: opracowaniu koncepcji planu badawczego, współudziale w przeprowadzeniu analiz laboratoryjnych, analizie statystycznej wyników i pisaniu manuskryptu, funkcji autora korespondencyjnego (\*).*

**Łączna punktacja prac zgłoszonych do oceny w postępowaniu habilitacyjnym:**

- Suma punktów MEiN<sup>1</sup> = 650 pkt
- Sumaryczny IF<sup>2</sup> = 25,798

<sup>1</sup> Punkty za publikacje naliczone zgodnie z obowiązującym komunikatem Ministerstwa Edukacji i Nauki z dnia 1 grudnia 2021 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych z liczbą punktów przyznanych za publikacje w tych czasopismach.

<sup>2</sup> Sumaryczny impact factor (IF) obliczono wg bazy Journal Citation Reports, sumując współczynniki z roku wydania publikacji.

Publikacjom przypisano oznaczenia porządkowe **D.1.1.1 – D.1.1.6**. Wprowadzone symbole stanowią odnośniki do publikacji z cyklu przy powołaniach literaturowych w dalszej części autoreferatu.

## **1.2 Omówienie celu naukowego i uzyskanych wyników osiągnięcia**

### **1.2.1 Wprowadzenie**

Według szacunków Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), do 2050 roku liczba ludności na świecie wzrośnie do 9 miliardów. Dlatego też jednym z globalnych problemów może być wyżywienie ludności odpowiednią nie tylko ilością żywności, a także podażą

właściwej ilości makroskładników odżywczych, w tym białka (FAO, 2012). Globalne zmiany środowiskowe generują potrzebę poszukiwania nowych, niekonwencjonalnych źródeł białka, które można będzie zastosować w żywieniu rosnącej populacji ludzi. Z tego powodu Organizacja Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) zaleca spożywanie owadów jadalnych ze względu na ich wysoką wartość odżywczą i przyjazne dla środowiska warunki hodowli (FAO, 2013).

Owady jadalne są powszechnie wykorzystywane jako pokarm w wielu rejonach świata, głównie w Afryce, Ameryce Łacińskiej czy Azji (Raheem et al., 2019; Ramos-Elorduy, 1997). Według FAO na całym świecie spożywa się ponad 1900 różnych gatunków owadów (FAO, 2013). Należą do nich między innymi świerszcze, larwy mączniaka, mrówki, koniki polne, czy muchy (van Huis, 2013). W Ameryce Północnej i Europie pojawia się coraz więcej firm produkujących jadalne owady, a świerszcze wydają się być najpopularniejszymi owadami, które są obecnie sprzedawane w całości, gotowane lub w postaci proszku (zwanego także mąką ze świerszczy) (Reverberi, 2020). Świerszcze (*Acheta domesticus*) są niezwykle cenne pod względem wartości odżywczych. Zawierają nie tylko znaczne ilości białka czy tłuszczu, ale także witaminy i związków mineralnych (FAO, 2013; van Huis, 2013). Metody hodowli i przetwarzania mogą jednak wpływać na bezpieczeństwo, wartość odżywczą i właściwości technologiczne całych i sproszkowanych owadów (Vandeweyer et al., 2017). Jednak w zależności od gatunku owada, jego stadium rozwojowego, rodzaju hodowli (celowa hodowla owadów lub odławianie w środowisku naturalnym) zawartość białka znacznie się waha, od 13 do ponad 77% suchej masy (Kouřimská & Adámková, 2016). Warunki ekologiczne i środowiskowe, obróbka owadów, w tym rodzaj obróbki cieplnej (gotowanie, pieczenie, prażenie) również istotnie wpływają na wartość odżywczą owadów jadalnych (de Castro et al., 2018).

EFSA rekomenduje owady jako przyszłe źródło białka, ale wskazuje również na potencjalne zagrożenia wynikające z niewłaściwego przygotowania, takie jak alergie na białka owadzie, zagrożenia mikrobiologiczne, obecność toksyn czy metali ciężkich (Baiano, 2020; Fernandez-Cassi et al., 2019; van Huis, 2015, 2017). Jadalne owady, podobnie jak większość pokarmów zawierających białko, mogą powodować u niektórych osób reakcje alergiczne zależne od IgE. Z danych literaturowych wynika, że reakcja alergiczna po spożyciu owadów jadalnych występuje najczęściej u osób uczulonych na owoce morza (Reese et al., 1999). Jednak nadwrażliwość na białka owadów nadal nie została jednoznacznie wyjaśniona (Mézes, 2018). Chociaż obróbka termiczna zmniejsza alergiczne

działanie owadów (Phillips & Burkholder, 1995), zaleca się monitorowanie wpływu spożycia owadów na odpowiedź immunologiczną organizmu. Jednym z najczęściej poruszanych w literaturze naukowej tematów dotyczących bezpieczeństwa spożycia owadów jest zagrożenie mikrobiologiczne. Vandeweyer et al. (2017) wykryli wysokie skażenie mikrobiologiczne (m.in. *Enterobacteriaceae*, bakterie kwasu mlekowego, drożdże i pleśnie oraz przetrwalniki bakterii tlenowych) u larw mącznika młynarka (*Tenebrio molitor*) i świerszczy (*Acheta domesticus* i *Grylloides sigillatus*). Wiele innych źródeł również opisuje wysokie skażenie mikrobiologiczne owadów jadalnych (Garofalo et al., 2017; Grabowski & Klein, 2017; Klunder et al., 2012; Wynants et al., 2018, 2019), ale obróbka termiczna znacznie zmniejsza to ryzyko.

Na podstawie dostępnych informacji jasne jest, że owady są wykorzystywane jako składniki żywności, a zatem składniki te muszą posiadać status GRAS, albo muszą być dodatkiem do żywności w ramach FAP. W opinii Amerykańskiej Agencji Żywności i Leków (FDA) brakuje tych istotnych informacji, a producenci lub przetwórcy wykorzystujący owady jako składnik żywności powinni wykonywać odpowiednie analizy monitorujące jakość i bezpieczeństwo swoich produktów. Prowadzenie zatem dalszych badań naukowych nad bezpieczeństwem ma zasadnicze znaczenie dla konsumentów, którzy w przyszłości będą mogli zakupić szeroką gamę produktów na bazie owadów. Warto także zauważyć, że obecnie nie ma długoterminowych badań wykorzystania owadów w diecie w większości krajów UE czy w Ameryce Północnej, więc nie ma solidnych podstaw, które jednoznacznie wskazywałyby na ich bezpieczeństwo (Cappelli, Cini, et al., 2020).

W Europie jednak spożywanie owadów wciąż budzi spore kontrowersje (Kauppi et al., 2019; Raheem et al., 2019), dlatego zamiast stosowanie w całości, często przetwarza się je na proszek, który z powodzeniem można wykorzystać do produkcji żywności. Proszek ze świerszczy jest cennym źródłem białka, tłuszczu i składników mineralnych (Kulma et al., 2019; Zielińska et al., 2015), a także związków bioaktywnych (Zielińska et al., 2017, 2018). Dostępne dane sugerują, że spożywanie owadów może mieć pozytywny wpływ na zdrowie człowieka. Na przykład Stull i in. (2018) w randomizowanych badaniach klinicznych wykazali, że spożywanie świerszczy może poprawiać stan jelit, zmniejszać stany zapalne oraz korzystnie wpływać na wzrost mikroflory jelitowej, stąd warto zbadać wpływ stosowania CP do wzbogacania żywności dla osób cierpiących na choroby jelit, np. celiakia. Ponadto stwierdzono, że chityna i chitozan, substancje występujące w świerszczach w znacznych ilościach, tłumią patogenne mikroorganizmy w jelitach (Liu et al., 2010). Dlatego



też podjęto próby wykorzystania mączki ze świerszczy surowca jako dodatku podnoszącego wartość odżywczą żywności, głównie zbożowej (Cappelli, Oliva, Bonaccorsi, et al., 2020; Duda et al., 2019; Pauter et al., 2018; Smarzyński et al., 2019, 2021).

Chleb jest podstawowym źródłem węglowodanów, powszechnie spożywanych na całym świecie, niezależnie od rozwoju kraju (Conte et al., 2016). Podstawowa receptura chleba składa się z mąki pszennej, wody, soli i środka spulchniającego, najczęściej drożdży. Obecność białek glutenowych w pszenicy (gliadyna), jęczmieniu (hordeiny) i życie (sekaliny) gwarantuje typowe właściwości lepkością chleba, jednak te same białka mogą być szkodliwe dla coraz większej liczby konsumentów cierpiących na zaburzenia związane z glutenem (Scherf et al., 2016). U tych osób spożywanie zwykłego pieczywa pszennego może skutkować powikłaniami zdrowotnymi i zaostrzeniem objawów chorobowych. Dlatego zapotrzebowanie na produkty bezglutenowe z roku na rok rośnie w ciągu ostatnich kilku lat. Eliminacja glutenu z chleba wpływa jednak niekorzystnie na jego właściwości lepkością, technologiczne, odżywcze i sensoryczne (Conte et al., 2019, 2020). Dostępne handlowo chleby bezglutenowe są produkowane głównie z kukurydzy, ryżu i innych zbóż bezglutenowych, często o niższej zawartości witamin, związków mineralnych i białek niż mąka pszenna (Aguiar et al., 2021). Ponadto, dostępne na rynku pieczywo bezglutenowe często są źle oceniane przez osoby na diecie bezglutenowej, ze względu na ich stosunkowo gorsze właściwości takie jak smak, aromat, konsystencję, liczne dodatki technologiczne czy niską wartość odżywczą (Rybicka et al., 2019). Niemniej jednak ciągle rosnąca liczba zdiagnozowanych pacjentów z celiakią doprowadziła do wzrostu zainteresowania produktami bezglutenowymi.

Celiakia charakteryzuje się trwałą nietolerancją glutenu, której konsekwencją są zmiany histopatologiczne w obrębie błony śluzowej jelita cienkiego (Green & Cellier, 2007). Jedyne skuteczne sposoby walki z celiakią jest ścisłe przestrzeganie diety bezglutenowej (Armstrong et al., 2009; van Heel, 2006). Szacuje się, że na tę chorobę cierpi około 1% światowej populacji ludzi (Green, 2005; Lebowohl et al., 2018; Lindfors et al., 2019; Niewinski, 2008). Choć skuteczność diety bezglutenowej nie została jeszcze udowodniona w przypadku innych chorób poza celiakią, jest ona często zalecana przez lekarzy również w innych jednostkach chorobowych, takich jak nieceliakalna nadwrażliwość na gluten, choroba Hashimoto i zespół jelita drażliwego (Zannini & Arendt, 2018). Tym samym rynek produktów bezglutenowych stale rośnie.

Pieczycwo bezglutenowe nazywane jest piętą achillesową diety bezglutenowej i przeprowadzono liczne badania mające na celu poprawę ich atrakcyjności (Naqash et al., 2017). Wyzwania technologiczne i sensoryczne w produkcji produktów bezglutenowych pojawiają się z powodu wyeliminowania glutenu odpowiedzialnego za formułowanie prawidłowej struktury ciasta w produktach zawierających gluten (pszenica, jęczmień, żyto) (Pruska-Kędzior et al., 2008; Xhakollari et al., 2019). Gluten odpowiada za zatrzymywanie gazów w cieście, a także za nadanie ciastu odpowiedniej konsystencji. Chleb bezglutenowe charakteryzują się strukturą i konsystencją, które są powszechnie postrzegane jako nieatrakcyjne. W celu poprawy właściwości tego typu pieczywa, w tym jego aromatu i struktury, stosuje się różne dodatki technologiczne (Gujral & Rosell, 2004; Lazaridou et al., 2007; Pacyński et al., 2015; Torbica et al., 2010). Ponadto bezglutenowe wyroby piekarnicze charakteryzują się nieatrakcyjnym składem odżywczym, wynikającym głównie z zastępowania mąki zawierającej gluten alternatywnymi surowcami skrobiowymi i dodatkami strukturotwórczymi, a także znaczną ilością zawartego w chlebie tłuszczu. W porównaniu z tradycyjnymi produktami zbożowymi, pieczywo bezglutenowe ma znacznie niższą wartość odżywczą, zwłaszcza pod względem obniżonej zawartości błonnika pokarmowego, składników mineralnych i białka (Rybicka et al., 2019; Rybicka & Gliszczyńska-Świgło, 2017; Torbica et al., 2010). Uwagę warto również zwrócić na odmienny proces starzenia się chleba bezglutenowego. Czerstwienie chleba to proces wielu fizycznych i chemicznych zmian zachodzących w chlebie w czasie, powodujących stwardnienie miękiszu, zmiękczenie skórki i utratę charakterystycznego aromatu świeżego pieczywa (Gray & Bemiller, 2003). Brak glutenu, który oprócz właściwości strukturotwórczych, odpowiada także za wiązanie wody, sprawia, że proces czerstwienia rozpoczynający się zaraz po wyjęciu chleba z pieca może przebiegać w sposób niekontrolowany.

Rynek spożywczy oferuje jednak różnorodne naturalne produkty spożywcze i składniki, które mogą poprawić wartość odżywczą chleba bezglutenowego i rekompensować deficyty tejże diety. Przeprowadzono liczne badania nad poprawą jakości pieczywa bezglutenowego, zarówno pod względem wartości odżywczych, jak i aromatu, który jednak do dziś nie jest w stanie zastąpić niepowtarzalnego smaku i aromatu związanego ze świeżo upieczonym pieczywem pszennym (Cappelli, Oliva, & Cini, 2020; Pacyński et al., 2015; Rybicka et al., 2019). Do najczęściej badanych dodatków należą hydrokoloidy, białka, lipidy i emulgatory, które, jak stwierdzono, poprawiają właściwości technologiczne i lepkością ciasta

(Conte et al., 2020). Ponadto obserwuje się rosnącą popularność ubocznych produktów owocowych i warzywnych, dodatków bogatych w białko, błonnik i związki bioaktywne (Föste et al., 2020). Jednak stosowane dodatki mogą znacząco wpływać na aromat chleba bezglutenowego, co ma szczególne znaczenie, ponieważ smak jest kluczem do rynkowego sukcesu (Heenan et al., 2008). Przyjemny aromat tradycyjnego pieczywa pszennego jest wynikiem fermentacji, utleniania lipidów i reakcji Maillarda (Pico et al., 2017). Reakcja Maillarda, zachodzące między aminokwasami a cukrami redukującymi, odpowiadają za brązowienie skórki i charakterystyczny palony i orzechowy aromat chleba (Cerny, 2008). Składniki produktów bezglutenowych, takie jak białka, lipidy, a także cukry, pełnią rolę prekursorów i silnie wpływają na generowanie związków lotnych (Pico et al., 2017). Jednak ze względu na niższą zawartość kilku aminokwasów, aromat chleba bezglutenowego znacznie różni się od aromatu chleba pszennego (Pico et al., 2017). Zatem ze względu na niską zawartość białka, wpływając tym samym na zawartość kluczowych aminokwasów oraz związków mineralnych w produktach bezglutenowych, z żywieniowego punktu widzenia owady jadalne stanowią interesujący dodatek do wzbogacania tego typu produktów.

Mając na uwadze powyższe, można zatem przypuszczać, że zastosowanie mączki ze świerszczy w pieczywie bezglutenowym z jednej strony podniesie wartość odżywczą, z drugiej zaś pozwoli na uzyskanie produktów o nowych, atrakcyjnych, zarówno biologicznych, jak i sensorycznych, właściwościach.

### ***1.2.2 Cel naukowy osiągnięcia oraz omówienie wyników badań***

Przeprowadzone badania, będące przedmiotem niniejszego wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego, skupiały się na scharakteryzowaniu komercyjnie dostępnych mączek ze świerszczy pochodzących z różnych części świata po względem ich potencjału stosowania w produkcji żywności oraz na analizie wpływu stosowania mączki ze świerszczy na układzie modelowym pieczywa bezglutenowego. W związku z powyższym sformułowano następujące hipotezy badawcze:

- 1) Pochodzenie geograficzne wpływa na właściwości technologiczne i wartość odżywczą mączek ze świerszczy.**
- 2) Zastosowanie mączki ze świerszczy poprawia wartość odżywczą i bioaktywność pieczywa.**

- 3) **Wzbogacenie receptury chleba bezglutenowego w mąkę ze świerszczy zmienia przebieg procesu czerstwienia.**
- 4) **Składniki mączki ze świerszczy stanowią prekursory związków nadających przyjemny aromat pieczywa.**

Szczegółowe cele pracy to:

- 1) ocena różnic we właściwościach technologicznych wybranych mączek ze świerszczy różnego pochodzenia geograficznego z wykorzystaniem spektroskopii fourierowskiej w podczerwieni (FTIR), skaningowej kalorymetrii różnicowej (DSC), dyfrakcji rentgenowskiej (XRD) oraz niskopolewego, magnetycznego rezonansu jądrowego (LF NMR).
- 2) analiza składu odżywczego (w tym zawartości tłuszczu, zawartości i profilu składników mineralnych metodą płomieniowej atomowej spektroskopii absorpcyjnej (F-AAS), białka i peptydów (techniką wysokorozdzielczej tandemowej spektrometrii mas sprzężonej z wysokosprawną chromatografią cieczową (UHPLC-QTOF-MS/MS)) w wybranych mączkach ze świerszczy różnego pochodzenia.
- 3) ocena wpływu mączki ze świerszczy na właściwości reologiczne ciasta i teksturę świeżo wypieczonego pieczywa bezglutenowego. Ponadto przeanalizowano dynamikę molekularną wody w badanych próbkach chleba za pomocą LF NMR.
- 4) analiza wpływu dodatku mączki ze świerszczy na zmiany aktywności i dynamiki wody oraz teksturę pieczywa bezglutenowego w czasie jego przechowywania/czerstwienia.
- 5) Ocena wartości odżywczej wzbogaconego w mąkę ze świerszczy chleba bezglutenowego (zawartość i profilu związków mineralnych, zawartości białka, zawartości tłuszczu i profilu kwasów tłuszczowych, zawartości błonnika pokarmowego frakcji rozpuszczalnej i nierozpuszczalnej) oraz barwy. Ponadto poddano analizie wpływ na mikroflorę jelitową, zawartość polifenoli, aktywność przeciwutleniającą i aktywność  $\beta$ -glukuronidazy wzbogaconego chleba po procesie symulowanego trawienia w warunkach *in vitro*.
- 6) analiza zawartości prekursorów kilku lotnych związków organicznych (VOCs), czyli wolnych aminokwasów, a także zmian powstawania VOCs w chlebie bezglutenowym z mąką ze świerszczy pieczywie w połowie czasu pieczenia i po wypieku, oraz właściwości sensorycznych wzbogaconego pieczywa.

Założenia badawcze realizowano w dwóch etapach:

**Etap I.** Ocena właściwości technologicznych i odżywczych mączek ze świerszczy różnego pochodzenia geograficznego (**D.1.1.1 – D.1.1.2**).

**Etap II.** Analiza wpływu stosowania mączki ze świerszczy na ogólną charakterystykę ciasta i chleba bezglutenowego, a także na wartość odżywczą, aktywność biologiczną i kształtowanie się aromatu wzbogaconego w owady pieczywa (**D.1.1.3 – D.1.1.6**).

**Badania pierwszego etapu** skupiono się na scharakteryzowaniu i porównaniu właściwości mączek ze świerszczy dostępnych handlowo, różnego pochodzenia geograficznego. Przeanalizowano zarówno mączkę wyprodukowaną w Unii Europejskiej (Zjednoczone Królestwo Wielkiej Brytanii i Irlandii Północnej), ale także z Ameryki Północnej (Kanada) i Azji (Tajlandia). Literatura naukowa wskazuje, że owady jadalne, a w konsekwencji mączki z nich wyprodukowane, zawierają znaczne ilości białek, lipidów (zwłaszcza wielonienasyconych kwasów tłuszczowych) oraz składników mineralnych, takich jak wapń, żelazo i cynk (Ayieko et al., 2016; van Huis, 2013). Ze względu na wysoką wartość odżywczą można zatem uznać je za wartościowy dodatek do nowej produkcji żywności. Warto w tym miejscu zaznaczyć, że Unia Europejska zezwoliła na wprowadzenie do obrotu *Acheta domesticus*, czyli świerszcza domowego, w częściowo odtłuszczonym proszku jako nowej żywności. Tak stanowi rozporządzenie wykonawcze Komisji UE 2023/5 z dnia 3 stycznia 2023 r. opublikowane w Dzienniku Urzędowym Wspólnoty. Jednak w zależności od stadium rozwoju owadów, rodzaju hodowli (hodowla owadów lub odławianie w środowisku naturalnym), sposobu karmienia, a nawet płci przetwarzanych na żywność osobników, zawartość związków odżywczych istotnie się różni. Jak donoszą Kouřimská i Adámková (2016) zawartość białka wynosić może od 13% do nawet ponad 77% suchej masy owadów. Nie bez znaczenia na wartość odżywczą jest zatem także kraj pochodzenia owadów, warunki środowiskowe oraz rodzaj obróbki termicznej (gotowanie, pieczenie, pieczenie), jakiej poddaje się owady w czasie przetwarzania na mączkę (de Castro et al., 2018). W związku z powyższym postanowiono przeanalizować właściwości mączek różnego pochodzenia, które determinują ich przydatność w technologii żywności (**D.1.1.1**).

**D.1.1.1 Kowalczewski P.Ł.\*;** Siejak P.; Jarzębski M.; Jakubowicz J.; Jeżowski P.; Walkowiak K.; Smarzyński K.; Ostrowska-Ligęza E.; Baranowska H.M. Comparison of technological and physicochemical properties of cricket powders of different origin. *Journal of Insects as Food and Feed* **2022** [w druku/online first]. DOI: 10.3920/JIFF2022.0030

Wykonano wstępną charakterystykę chemiczną, odpowiedzialną dalej za istotne, analizowane parametry technologiczne, jak zdolność do wiązania oleju, wodochłonność, zdolność do tworzenia i stabilizowania piany w różnych warunkach (pH 2, 6 oraz 10). Z

wykorzystaniem analizy spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR) oraz dyfrakcji rentgenowskiej (Empyrean X-ray diffractometer, Malvern Panalytical, Malvern, UK) oceniono strukturę analizowanych mączek. Zbadano również wpływ obróbki termicznej na stabilność mączek z wykorzystaniem różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC - Q20 DSC, TA Instruments Inc., New Castle, DE, USA) w zakresie temperatur od 50 do 400 °C. Ponadto przeanalizowano zmiany dynamiki molekularnej wody z wykorzystaniem niskopolewego magnetycznego rezonansu jądrowego (LF NMR - pulse NMR spectrometer PST, Ellab, Poznań, Poland), pracującego z częstotliwością 20 MHz, hydratowanych mączek. Oznaczono zarówno czas spin-sieć ( $T_1$ ), jak i spin-spin ( $T_2$ ).

Możliwość zastosowania dodatków białkowych jako składników żywności uzależniona jest od ich właściwości technologicznych, które w istotny sposób wpływają na proces produkcji, ale także na jakość produktów końcowych. Do najczęściej opisywanych właściwości białek należą zdolność do tworzenia i stabilizowania piany oraz wchłanianie wody i oleju. Zdolność do chłonności oleju i zdolność wiązania wody to, z punktu widzenia technologii przetwórstwa zbożowego, ważne właściwości, które znacząco wpływają nie tylko na konsystencję tworzonego z użyciem dodatku ciasta, ale także na smak i trwałość gotowego pieczywa (Jideani, 2011). Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że analizowane mączki ze świerszczy charakteryzowały się niską zdolnością wiązania zarówno oleju, jak i wody. Jedynie mączka z Wielkiej Brytanii wykazywała nieco wyższą absorpcję wody, wynoszącą 2,31 g<sub>wody</sub>/g<sub>mączki</sub>, podczas gdy wodochłonność pozostałych analizowanych mączek nie przekraczała 1,9 g<sub>wody</sub>/g<sub>mączki</sub>. Olejochłonność wszystkich trzech mączek nie różniła się statystycznie istotnie ( $\alpha=0.05$ ) i wynosiła od 1,23 do 1,50 ml<sub>oleju</sub>/g<sub>mączki</sub>. Zdolność pienienia preparatów białkowych określana jest na podstawie przyrostu objętości piany w wyniku ubijania, a roztwory białkowe osiągają największą pianotwórczość w punkcie izoelektrycznym (Mir et al., 2019). Wysoka pianotwórczość jest szczególnie istotna w kształtowaniu pożądanых cech sensorycznych, m.in. konsystencji wyrobów cukierniczych czy chleba, ale przede wszystkim deserów, w tym bitej śmietany (Sajedi et al., 2014; Wilde, 2012). Stabilność piany natomiast wyraża zdolność do utrzymania maksymalnej objętości przez określony czas dzięki gromadzeniu się łańcuchów polipeptydowych na granicy faz woda/powietrze. Im wyższa stabilność piany, tym lepsze właściwości użytkowe białek i większa ich przydatność w produkcji żywności. Niestety żadna z analizowanych mączek ze świerszczy nie wykazała zdolności do tworzenia piany, a tym samym jej stabilizacji. Mączki ze świerszczy produkowane są na drodze termicznego

utrwalenia całych owadów i dalszego ich rozdrobnienia, które zawierają również inne związki potencjalnie degradujące strukturę pianki, ale przede wszystkim stosuje się obróbkę cieplną, która może denaturować białka i obniżać ich właściwości użytkowe (Kato et al., 1983; Raymundo et al., 1998).

Do scharakteryzowania pasm absorpcyjnych w widmach w podczerwieni analizowanych mączek ze świerszczy wykorzystano metodę FTIR-ATR. Różnice w pochodzeniu mączek nie wpływają na zmiany w przebiegu widm w podczerwieni. Podczas analizy przebiegu zmian absorpcji przy wyższych liczbach falowych zaobserwowano obecność sygnałów w zakresie  $3100\text{--}2750\text{ cm}^{-1}$ , które są spowodowane drganiami rozciągającymi grup C-H, charakterystycznymi dla kwasów tłuszczowych obecnych w analizowanej próbce lipidów, a w obszarze liczby falowej  $2983\text{ cm}^{-1}$  zaobserwowano drgania związane z obecnością cholesterolu. Specyficzne pasma dla cholesterolu obserwuje się również przy niższych długościach fali  $1035\text{ cm}^{-1}$ . Wszystkie widma wykazały typowe pasmo drgań rozciągających C-O-C przypisanych do obszaru polisacharydów ( $1200\text{--}900\text{ cm}^{-1}$ ), w szczególności chityny i chitozanu pochodzących z egzoszkieletów owadów. Zawartość polisacharydów różniła się między próbkami, a najwyższą zawartość wykazano w mączce z Wielkiej Brytanii. Analiza z wykorzystaniem XRD potwierdziła natomiast amorficzną strukturę mączek ze świerszczy.

Analiza zmian zachodzących podczas ogrzewania wydaje się kluczowa w przypadku dalszego wykorzystania CP jako składnika żywności. Białko owadów rozkłada się w temperaturze około  $80\text{--}90\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Iancu et al., 2018; Purschke et al., 2018), ale na wykresie DSC zaobserwowano pierwszy pik endotermiczny przy maksymalnej temperaturze  $121,32\text{ }^{\circ}\text{C}$ , co może być spowodowane obecnością mieszaniny białek świerszczy i polisacharydów (chityny), których obecność wykazano w analizie FTIR. Drugi znaczący pik endotermiczny wskazuje na rozkład polisacharydów, a maksymalna temperatura tego piku wynosiła  $364,17\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Dla mączki pochodzącej z Tajlandii zaobserwowano również łagodny pik endotermiczny z maksymalną temperaturą  $114,39\text{ }^{\circ}\text{C}$ , wskazujący na degradację białka. Przebieg krzywych DSC wszystkich analizowanych mączek charakteryzował się zbliżonym kształtem, wskazując tym samym na podobne właściwości. Zaobserwowane temperatury rozkładu białek sugerują, że mączki mogą być z powodzeniem stosowane w produkcji żywności poddanej działaniu niższych temperatur, w szczególności mogą to być produkty których temperatura w środku geometrycznym podczas przygotowania nie przekracza  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

LF NMR umożliwia badanie różnic w ruchliwości molekularnej różnych składników żywności a polega na pomiarze czasów relaksacji spin-sieć ( $T_1$ ) i spin-spin ( $T_2$ ). Pierwszy związany jest ze stosunkiem wody wolnej do uwięzionej w strukturze trzeciorzędowej biopolimerów, a drugi z dynamiką cząsteczek wody. Zaobserwowano różnice wartości czasów relaksacji  $T_1$  hydratowanych mączek ze świerszczy, w zależności od ich pochodzenia. Największą wartość zarejestrowano dla próbki z Tajlandii i wyniosła  $79,4 \pm 0,3$  ms, a najniższą dla mączki kanadyjskiej:  $65,3 \pm 1,6$  ms. Sygnał relaksacji spinowo-spinowej  $T_2$  może pochodzić zarówno od protonów wody, jak i oleju, jednak w przypadku analizowanych próbek wartość czasu  $T_2$  zależy tylko od wody dodanej podczas hydratacji, co potwierdza to również brak możliwości pomiaru tego czasu relaksacji w próbkach nieuwodnionych. Wartości czasów  $T_1$  mierzone przy 20 MHz wskazują uporządkowane struktury molekularnej analizowanych mączek. Zgodnie z danymi literaturowymi (Brosio & Gianferri, 2009), bardzo niskie wartości czasów relaksacji  $T_{21}$  (dla analizowanych mączek 4,1–4,7 ms), przy jednoczesnych wysokich wartościach czasów relaksacji  $T_{22}$  (dla analizowanych mączek 55,3–59,4 ms) są charakterystyczne dla uporządkowanych struktur ciała stałego, co również stwierdzono w niniejszej pracy.

W dalszych badaniach przeanalizowano wartości żywieniowe powszechnie dostępnych na terenie UE 3 mączek ze świerszczy, w tym zawartości tłuszczu, związków mineralnych i ich profilu, błonnika pokarmowego, a także białka i peptydów (**D.1.1.2**). 2 mączki wyprodukowano w Tajlandii (nr 1 i 2), jedna natomiast została wyprodukowana w Kanadzie (oznaczona numerem 3).

**D.1.1.2** Montowska, M.; **Kowalczewski, P.\***; Rybicka, I. Fornal, E. Nutritional Value, Protein and Peptide Composition of Edible Cricket Powders. *Food Chemistry* **2019**, 289, 130-138. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.03.062

Białka owadzie są znane ze swojej wysokiej wartości odżywczej, która jest przypisywana wysokiej strawności i pożądanemu profilowi aminokwasowemu (Rumpold & Schlüter, 2013). Zgodnie z danymi literaturowymi, wszystkie analizowane mączki ze świerszczy były bogate w białko, które było ich dominującym składnikiem, a zawartość wahała się od 42,0% do 45,8%, podczas gdy zawartość tłuszczu wyniosła od 23,6% do 29,1%, co czyniło tłuszcz drugą co do wielkości frakcją makroskładników odżywczych. Różnice pomiędzy mączkami różnego pochodzenia zaobserwowano także w przypadku zawartości błonnika pokarmowego, zarówno frakcji rozpuszczalnej (SDF), jak i nierozpuszczalnej (IDF). Wykazano, że mączka z Kanady zawierała największą ilość błonnika pokarmowego (odpowiednio 6,4% IDF i 1,0% SDF), a najmniej jedna z próbek



tajskich (2,9% i 0,6% odpowiednio). Obliczona metodą różnicową zawartość węglowodanów wahała się w analizowanych mączkach od 19,6 do 21,8%, a wartość energetyczna od 486 kcal do 524 kcal/100 g. Ponadto oznaczono zawartość związków mineralnych takich jak Ca, K, Mg, Na, Cu, Fe, Mn i Zn oraz obliczono dla każdej mączki wartości procentowe zalecanego dziennego spożycia (RDA) i odpowiedniego spożycia (AI).

Najczęstsze niedobory składników mineralnych dotyczą wapnia, żelaza i magnezu, dlatego też ich zawartości można uznać za decydujące dla określenia wartości odżywczej produktu w aspekcie jego składu mineralnego. Chociaż zawartość Ca była różna w badanych mączkach ze świerszczy (139–218 mg/100 g), wszystkie były bogatym źródłem tego makroelementu. Zawartość Mg we wszystkich mączkach mieściła się w przedziale od 86 do 113 mg/100 g, natomiast Fe w przedziale od 4,06 do 5,99 mg/100 g. Zawartości te odpowiadały odpowiednio 27–35% RDA i 23–33% RDA dla Mg i Fe, co czyni je także dobrym źródłem Mg i Fe. Zawartość analizowanych mikroelementów (Cu, Mn i Zn) w analizowanych mączkach ze świerszczy była wyjątkowo wysoka. Stugramowa każdej z nich dostarczała ponad 100% RDA dla wszystkich w/w pierwiastków. Tak wysoka zawartość tych mikroelementów jest jednak niepokojąca, ponieważ oznaczone zawartości były zbliżone do górnego tolerowanego poziomu spożycia (ang. *tolerable upper intake level*, UL) dla porcji 100 g wg EFSA. W przypadkach zawartość Cu wynosiło 4,51 mg i 4,30 mg, podczas gdy UL dla Cu wynosi 5 mg dziennie, natomiast zawartość Zn w jednej z analizowanych mączek również była zbliżona do górnej granicy spożycia, która wynosi 25 mg na dobę. Warto jednak zaznaczyć, że mączki ze świerszczy stosowane są raczej jako dodatki do żywności, a nie finalny, spożywany produkt spożywczy, dlatego też niewielki udział mączki w produkcie finalnym, np. chlebie, nie stwarza ryzyka dostarczenia zbyt dużej ilości mikroelementów w diecie.

Wiarygodna identyfikacja białek i peptydów w produktach spożywczych jest trudna, ponieważ na wyniki mają wpływ operacje technologiczne. Obróbka cieplna podczas pieczenia lub prażenia ma jeden z najbardziej destrukcyjnych skutków dla białek w produktach spożywczych. Wysoka temperatura powoduje z jednej strony denaturację i agregację białek na skutek zmian rozpuszczalności białek, z drugiej strony powoduje znaczną degradację białek oraz rozpad podjednostek i łańcuchów na krótsze fragmenty. Obróbka cieplna zastosowana podczas produkcji mączek owadzych spowodowała pojawienie się agregatów białkowych, widocznych w analizie SDS-PAGE. W przypadku mączki 1 i 3 zaobserwowano znaczną degradację białek i zanik prawie wszystkich prążków

białkowych z wyjątkiem agregatów białkowych o dużej masie cząsteczkowej. Na podstawie wyniku otrzymanego dla próbki 2 wydaje się prawdopodobne, że stosowano łagodniejsze warunki obróbki termicznej podczas produkcji tej mączki, gdyż zaobserwowano wiele prążków w zakresie od 200 kDa do 10 kDa. Należy jednak zauważyć, że obróbka cieplna może mieć pozytywny wpływ na bezpieczeństwo mikrobiologiczne produktów opartych na owadach, które są surowcem, który może stwarzać pewne ryzyko ze względu na znaczne zanieczyszczenie mikrobiologiczne (Caparros Megido et al., 2017). Co więcej, opisywane w literaturze aktywne peptydy, grupa bioaktywnych związków występujących w świerszczach, mają małą masę cząsteczkową i jako takie nie są tak podatne na degradację termiczną jak większe białka.

Negatywny, destrukcyjny wpływ obróbki cieplej w czasie produkcji mączek ze świerszczy zaobserwowano również w analizie spektrometrycznej, opartej na wysoce czułej i dokładnej metodzie UHPLC-QTOF-MS/MS. W tabeli 3 w **D.1.1.2** zaprezentowano liczbę wykrytych peptydów i sekwencji 15 najczęściej występujących białek zidentyfikowanych w mączkach ze świerszczy. Zidentyfikowano te same najczęściej występujące białka miofibrylarne, które występują w również w tkance mięśniowej, takie jak łańcuchy miozyny (MHC), aktyna,  $\alpha$ -aktynina, tropomiozyna, tubulina, troponina T czy paramiozyna. Liczba zidentyfikowanych białek cytoplazmatycznych była mniejsza, ponieważ białka cytoplazmatyczne są mniej odporne na obróbkę termiczną, której poddawane są owady w czasie ich przetwarzania do postaci mączki. Wysokie wartości uzyskano jednak dla trzech enzymów - ATPazy transportującej wapń, syntazy ATP i kinazy argininowej, co może wskazywać na to, że te cytoplazmatyczne białka świerszczy są termostabilne. Pomimo obserwowanej znacznej degradacji białka w mączkach ze świerszczy, udało się wygenerować dobrej jakości widma masowe, a tym samym wykryć ponad 1100 różnych fragmentów peptydów. Proteom świerszcza został jak dotąd stosunkowo słabo opisany i zaledwie 206 wpisów w bazie NCBI dotyczy świerszczy *Acheta domesticus*, baza danych białek jest świerszczy jest stosunkowo niewielka. Dla porównania baza danych muszek owocowych zawiera 135 778 wpisów dotyczących *Drosophila*. Wiele białek świerszcza domowego nie zostało jeszcze zsekwencjonowanych, a dla niektórych z nich dostępne są tylko częściowe sekwencje. Wobec braku sekwencji specyficznych dla świerszczy w bazie danych NCBI zidentyfikowano białka najbardziej spokrewnionych gatunków (np. muszki owocowej, szarańczy czy komara). W bazie danych NCBI nie ma, między innymi, dostępnych sekwencji białek miofibrylarnych świerszcza, dlatego zidentyfikowane

sekwencje peptydowe MHC były głównie związane z drugą częścią izoform MHC, pochodzących z muszki owocowej. Porównano także izoformy MHC muszki owocówki i świerszczy. Co ciekawe, wykrycie głównego białka kapsydu pochodzącego z wirusa IIV-31 (*Invertebrate iridescent virus 3*) infekującego owady, zwanego również wirusem Chilo (Jakob et al., 2001), może wskazywać, że partia jedna z partii świerszczy wykorzystana do produkcji mączki została zakażona tym wirusem. Zakażenia irydowirusami owadów roślinożernych, o objawach od łagodnych do bardzo ciężkich, mają szczególny wpływ ekonomiczny i ekologiczny na rolnictwo. Główne białko kapsydu, zidentyfikowane w tym badaniu z wysokim wynikiem i intensywnością, reprezentuje około połowy całkowitej masy białka wirionu.

Ostatnim etapem była identyfikacja markerów peptydowych swoistych dla przetworzonego białka świerszcza domowego. W tym celu wszystkie 206 wpisów białek świerszcza domowego (*Acheta domestica*) obecnych w bazie danych NCBI zaimportowano do Spectrum Mill MS Proteomics Workbench. Wpisy składały się głównie z białek cytoplazmatycznych. Wiele z nich było tylko częściowych. We wszystkich badanych próbkach zidentyfikowano te same białka, takie jak czynnik elongacji translacji-1 alfa, apolipoporyna-III, histon 3, kinaza białkowa, dehydrogenaza glukozofosforanowa. Protein BLAST wykorzystano do przeszukania bazy danych NCBI pod kątem specyficzności gatunkowej i białkowej peptydów zidentyfikowanych w próbkach. Liczebność peptydów wahała się od 105 do 107. Zawierają one cztery specyficzne dla świerszcza peptydy (unikatowe wyłącznie dla rodzaju *Acheta*) zidentyfikowane na podstawie aktualnego stanu wiedzy wyrażonego w bazie danych NCBI. Trzy z tych peptydów były unikalne dla apolipoporyny III świerszcza (AAELSGDAQTA VR, QQFPDGAQAADK i VQEA VQPHADAVAESLK), a jeden – dla dehydrogenazy fosforanu glukozy (LSNHLSNLFK). Oznaczone w niniejszych badaniach cztery peptydy specyficzne dla świerszczy mogą zatem służyć jako markery do celów oznaczania autentyczności produktów ze świerszczy.

**Badania drugiego etapu** dotyczyły oceny zmian spowodowanych zamianą skrobi na mączkę ze świerszczy w chlebie bezglutenowym. Dane literaturowe i przeprowadzone badania własne wskazują na wysoką wartość odżywczą mączek, a także na ich aktywność biologiczną. Dodawanie jednak nowych składników do tradycyjnych receptur produktów spożywczych spowodować może szereg zmian, zarówno na etapie przygotowania i formowania produktu, jak i dalszego jego przechowywania czy trawienia po jego spożyciu.

Dlatego też postanowiono prześledzić wpływ zamiany skrobi na mączkę owadzią, w ilości 2, 6 i 10%, na właściwości lepkosprężyste ciasta określone za pomocą reometru RheoStress1 (Haake Technik GmbH, Vreden, Niemcy) w trybie kontrolowanego odkształcenia (CD) oraz charakterystykę finalnego pieczywa w zakresie profilu tekstury analizowanego z użyciem teksturometru TA.XTplus (Stable Micro System Co. Ltd., Surrey, Anglia), analiz relaksometrycznych z użyciem spektrometru NMR MSL30 WL Electronics, Poznań, Polska) pracującego przy częstotliwości 30 MHz oraz zmian aktywności i dyfuzji wody miękiszu pieczywa analizowanych z użyciem analizatora ADA-7 (COBRABID, Poznań, Polska). Jako próbę odniesienia stosowano ciasto i chleb bez zamiany skrobi na mączkę ze świerszczy (**D.1.1.3**).

**D.1.1.3 Kowalczewski, P.L.\*:** Walkowiak, K.; Masewicz, Ł.; Bartczak, O.; Lewandowicz, J.; Kubiak, P.; Baranowska, H.M. Gluten-Free Bread with Cricket Powder - Mechanical Properties and Molecular Water Dynamics in Dough and Ready Product. *Foods* **2019**, *8*(7), 240. DOI: 10.3390/foods8070240

Większość surowców spożywczych, w tym ciasta, wykazują właściwości reologiczne uniemożliwiające zaklasyfikowanie ich stanu skupienia jako stałego lub ciekłego. Takie materiały wykazują zarówno właściwości sprężyste, jak i lepkie. Właściwości sprężyste są reprezentowane przez moduł zachowawczy ( $G'$ ), który opisuje energię tymczasowo zmagazynowaną w próbce, którą można odzyskać, podczas gdy właściwości lepkie są opisywane przez moduł stratności ( $G''$ ), który odpowiada energii zużytej do zapoczątkowania przepływu, który jest nieodwracalnym rozpraszaniem energii. Widma mechaniczne ciast bezglutenowych, zarówno wzbogaconych w mączkę ze świerszczy, jak i kontrolnego, przedstawiono na rysunku S1 w materiałach uzupełniających publikację **D.1.1.3**, natomiast parametry równań potęgowych, opisujących właściwości lepkosprężyste ciasta bezglutenowego wzbogaconego proszkiem ze świerszczy, przedstawiono w tabeli 1 **D.1.1.3**. Wszystkie badane ciasta wykazywały właściwości ciała stałego, na co wskazuje fakt, że wartości  $K'$  były znacznie większe niż  $K''$ . Zastąpienie skrobi mączką ze świerszczy, nawet w ilości 6%, nie spowodowało zmian właściwości reologicznych analizowanych próbek ciasta. Jediną istotną obserwowaną zmianą był spadek lepkości zespolonej ( $K^*$ ), który był wynikiem obniżenia obu typów właściwości mechanicznych ( $K'$  i  $K''$ ) wskutek stosowania dodatku. Niewielki spadek lepkości w szerokim zakresie wartości prędkości kątowych, wyrażony zbliżonymi wartościami  $n^*$ ,  $n'$  i  $n''$ , zaobserwowano dla ciasta kontrolnego, oraz ciast z 2% i 6% zamianą skrobi na mączkę ze świerszczy. Dalsze zwiększanie zamiany skrobi na mączkę ze świerszczy w cieście skutkowało istotnym spadkiem lepkości przy jednoczesnym wzroście wszystkich parametrów  $n$  równania, co

więzało się z silniejszym spadkiem lepkości przy wyższych siłach ścinających w porównaniu z pozostałymi próbkami analizowanych ciast.

Następnie wyznaczono parametry dynamiki molekularnej wody w cieście i miększu chleba na podstawie badań  $^1\text{H}$  NMR. Stwierdzono obecność dwóch frakcji wody (molekularnie związanej i wolnej), co jest typowym wynikiem dla tego typu materiału. Wykazano, że im więcej skrobi zastąpiono mączką ze świerszczy, tym większy spadek wartości czasu relaksacji spin-sieć  $T_1$  i obu składowych czasów relaksacji spin-spin  $T_2$ , co wskazuje, że obecność mączki ze świerszczy spowodował zmniejszenie stosunku frakcji wody molekularnie wolnej do frakcji związanej. Dane literaturowe (Bassett, 2018) oraz badania własne (D.1.1.1) wskazują, że sposób wytwarzania mączki ze świerszczy (prażenie i mielenie owadów) sprawia, że surowiec ten cechuje się zwiększonymi właściwościami hydrofobowymi zamiast hydrofilowymi. Na podstawie otrzymanych wyników można zatem stwierdzić, że zastosowanie mączki ze świerszczy w recepturze ciasta prowadzi do większej dostępności wody dla innych biopolimerów w cieście, pochodzących z pozostałych użytych surowców, co wpływa na obserwowane właściwości lepkośćowe ciasta – sieć utworzoną przez skrobię i hydrokoloidy. Pomiar czasu relaksacji w miększu chleba wykazały natomiast, że po obróbce termicznej (wypieku) ilość frakcji wody molekularnie wolnej w stosunku do frakcji wody związanej maleje wraz ze wzrostem stopnia zamiany skrobi na mączkę ze świerszczy. W przypadku pieczywa kontrolnego i z 2% zamianą skrobi na mączkę owadzią wartość parametru  $T_1$  była po wypieku niższa o około 15%, w porównaniu do czasów relaksacji  $T_1$  ciast wyjściowych. Pozostałe dwa chleby, z 6% i 10% zamianą skrobi na mączkę ze świerszczy, charakteryzowały się 20% spadkiem wartości tego czasu relaksacji. Nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic wartości czasu relaksacji spinowo-spinowej  $T_{22}$  dla próbek miększu chlebow kontrolnego oraz z 2% i 6% zamianą skrobi na mączkę ze świerszczy. Dwukrotnie zmniejszyła się jednak wartość  $T_{22}$  dla miększu z 10% zamianą skrobi, w porównaniu do wyjściowego ciasta. Fakt, że czas  $T_{22}$  uległ skróceniu we wszystkich próbkach chleba w porównaniu z odpowiednimi próbkami ciasta wskazuje, że w wyniku procesu wypieku usunięto wolną wodę, a woda dostępna dla biopolimerów i hydrokoloidów została w dużej mierze zatrzymana w strukturze miększu o czym świadczą może zarówno stosunkowo niewielki spadek wartości  $T_1$  dla miększu i ciasta w poszczególnych próbkach, jak i brak istotnych statystycznie zmian wartości obu składowych czasów relaksacji spinowo-spinowej. W badaniach aktywność wody w stanie równowagi ( $a_w$ ) i granicznej aktywności wody ( $a_p$ ) miększu nie zaobserwowano wpływu zamiany skrobi

mączką ze świerszczy na żadnym z 3 analizowanych poziomów, jednak szybkość transportu wody ( $V_D$ ) była istotnie niższa w mięksiszach chlebów ze świerszczami, niż w chlebie referencyjnym. Ograniczenie szybkości transportu jest wynikiem interakcji między wodą a skrobią oraz między wodą a hydrokoloidami, co potwierdza wcześniejszą obserwację opartą na analizie czasów relaksacji, że obecna w mięksiszu chleba mączka ze świerszczy prowadzi do zwiększonej dostępności wody dla biopolimerów. Również znacznie niższa była szybkość przewodnictwa powierzchniowego ( $V_p$ ) w próbkach mięksiszów zawierających mączkę ze świerszczy. Obserwowane zmiany właściwości wody na poziomie molekularnym są powodem obserwowanych makroskopowo zmian, analizowanych reometrycznie, ale także wpływają na właściwości mechaniczne (teksturalne) chleba, które oceniono poprzez analizę uniwersalnego profilu tekstury (test TPA). Pieczywo referencyjne charakteryzowało się najwyższymi wartościami twardości ( $37.21 \pm 4.28$  N) i żujności ( $2238 \pm 286$ ), a wartości tych parametrów malały wraz ze wzrostem zawartości mączki ze świerszczy w recepturze chleba odpowiednio dla twardości:  $35.73 \pm 1.53$ ,  $25.08 \pm 2.19$  i  $24.53 \pm 1.79$  N dla chlebów z 2, 6 i 10% zamianą skrobi na mączkę owadzią oraz dla żujności, analogicznie:  $2096 \pm 277$ ,  $1726 \pm 293$  i  $171 \pm 77$ . W technologii piekarniczej w celu zmniejszenia twardości mięksiszu stosowane są różnego rodzaju emulgatory, zatem obniżenie twardości wzbogaconego w świerszcze chleba można wiązać z właściwościami emulgującymi białek owadów. Spoistość mięksiszu, parametr opisujący stopień odkształcenia struktury żywności przed jej pęknięciem, istotnie wzrosła po dodaniu mączki ze świerszczy z  $0.556 \pm 0.022$  do nawet  $0.691 \pm 0.062$  dla 10% zamiany skrobi na mączkę owadzią. Poprawiona konsystencja mięksiszu w przypadku próbek chlebów zawierających świerszcze w porównaniu z próbą kontrolną jest niewątpliwie cechą pożądaną, gdyż chleby bezglutenowe mają zwykle dużą podatność na pęknięcie i/lub kruszenie. Pomimo tego, że wartości sprężystości nie różniły się istotnie pomiędzy badanymi próbkami, mączka ze świerszczy istotnie zwiększyła zdolność mięksiszu do powrotu do stanu pierwotnego po ściśnięciu, o czym świadczą wyższe wartości sprężystości obserwowane we wszystkich próbkach chleba wzbogaconego. Może to być bezpośrednio związane z wysoką zawartością białka w mączce ze świerszczy, co istotnie wpłynęło na kształtowanie się tekstury chleba.

Woda odgrywa ważną rolę w tworzeniu struktury żywności, ale także w przemianach strukturalnych zachodzących w produktach żywnościowych i przejawiających się na poziomie makrostrukturalnym. Zaobserwowane w badaniach **D.1.1.3.** zmiany w cieście i pieczywie świeżym mogą mieć istotny wpływ na proces czerstwienia wzbogaconego w

świerszcze pieczywa. Dlatego też rozszerzono badania zmian tekstury, aktywności i dyfuzji wody oraz jej dynamiki molekularnej na 6 dniowy okres analizowanych codziennie właściwości, w porównaniu do pieczywa kontrolnego analizowanego w dniu wypieku (D.1.1.4.).

**D.1.1.4 Kowalczewski, P.Ł.\*:** Walkowiak, K.; Masewicz, Ł.; Smarzyński, K.; Le Thanh-Blicharz, J.; Kačániová, M.; Baranowska, H.M. LF NMR Spectroscopy Analysis of Water Dynamics and Texture of Gluten-Free Bread with Cricket Powder During Storage. *Food Science and Technology International* **2021**, 27(8), 776-785. DOI: 10.1177/1082013220987914

Równowagowa aktywność wody ( $a_r$ ) we wszystkich analizowanych świeżo wypieczonych miękiszach chleba bezglutenowego (zarówno wzbogaconego, jak i bez dodatku świerszczy) różni się nieznacznie. Parametr ten jest często używany jako charakteryzujący stabilność mikrobiologiczną produktów spożywczych (Chirife et al., 1996; Sablani et al., 2007) i w tym kontekście na podstawie uzyskanych wyników w dniu wypieku można stwierdzić, że dodatek mączki ze świerszczy nie wpływa na końcową stabilność produktu, natomiast najniższe wartości tego parametru zaobserwowano pomiędzy 3 a 4 dniem przechowywania, po czym wartości  $a_r$  ponownie zaczęły wzrastać. Na podstawie samej tylko analizy aktywności wody nie jest możliwe ocenienie zjawisk zachodzących w produkcie, zatem konieczne jest przeanalizowanie zmian związanych z dynamiką wody w układzie miękiszu chleba na poziomie molekularnym. Jednocześnie zauważono, że miękisz chleba zawierający mączkę ze świerszczy charakteryzował się niższymi wskaźnikami szybkości transportu wody ( $V_D$ ) niż miękisz chleba kontrolnego, co wskazuje na istotny wpływ dodatku mączki na szybkość transportu cząsteczek wody w miękiszu, a obserwowane zmiany były największe w okresie 2-4 dni przechowywania chleba. Stwierdzono, że 2% zamiana skrobi na mączkę ze świerszczy stabilizuje transport wody w całym zakresie czasu czerstwienia pieczywa.

Przeanalizowano właściwości molekularne protonów wody w próbkach miękiszu chleba podczas przechowywania na podstawie zmian wartości czasu relaksacji. W badanych próbkach oznaczono dwie składowe czasu relaksacji spinowo-spinowej ( $T_2$ ) oraz jedną składową czasu relaksacji spinowo-sieciowej ( $T_1$ ). Zawartość frakcji wody molekularnie wolnej w stosunku do frakcji wody związanej w pieczywie jest najwyższa w chlebie bez dodatku mączki ze świerszczy. Im więcej skrobi zamieniono mączką owadzią, tym mniej zaobserwowano wody molekularnie wolnej. Podczas przechowywania pieczywa notowano zmiany wartości parametru  $T_1$  dla każdego analizowanego wariantu pieczywa (zwłaszcza w okresie 3-5 dni). Najmniejszą zmiennością wartości czasów relaksacji  $T_1$  charakteryzował

się chleb z 6% zamianą skrobi na mączkę ze świerszczy, natomiast największe zmiany odnotowano w przypadku chleba o najwyższej, 10% zamianie skrobi na mączkę. Wartości krótkiej składowej czasu relaksacji spinowo-spinowej ( $T_{21}$ ) sugerują, że cząsteczki wody w porowatej strukturze miękiszu są silnie unieruchomione na skutek oddziaływań między protonami wody a stałą matrycą, w konsekwencji związana cząsteczka wody nie może swobodnie obracać się wokół wiązania. Początkowe wartości czasu  $T_{21}$  są tym wyższe, im więcej skrobi zastąpiono mączką ze świerszczy. Stwierdzono również, że po 6 dniach przechowywania wszystkie badane chleby charakteryzowały się zbliżonymi wartościami parametru  $T_{21}$ , co oznacza, że w procesie czerstwienia pieczywa, a w szczególności w procesie retrogradacji skrobi, cząsteczki frakcji związanej ulegają immobilizacji. Pomiar relaksometryczny przeprowadzony w miękiszu chleba w ciągu kilku godzin po wypieku wykazały, że dynamika rotacji cząsteczek wody w miękiszu jest podobna dla każdego analizowanego wariantu pieczywa, niezależnie od poziomu zastąpienia skrobi mączką z owadów. Podczas przechowywania obserwuje się spadek wartości składowej długiej czasu relaksacji spinowo-spinowej  $T_{22}$ . W przypadku pieczywa kontrolnego, spadek ten jest monotoniczny i związany z retrogradacją skrobi (Sikora et al., 2019). Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że zamiana 2% i 6% skrobi na mączkę ze świerszczy powoduje wzrost dynamiki molekularnej cząsteczek wody w porównaniu z próbką kontrolną. Im mniej skrobi w składzie chleba, tym większa możliwość ruchu cząsteczek wody, jednak duża, bo 10% zamiana skrobi na mączkę spowodowała dodatkowe pochłanianie wody analizowane molekularnie, niekorzystne zwłaszcza z uwagi na proces czerstwienia pieczywa. Z punktu widzenia właściwości molekularnych wody tak wysoka zawartość mączki ze świerszczy w recepturze chleba jest zatem niekorzystna, ponieważ może zakłócić zarówno proces retrogradacji, jak i zwiększyć dostępność wody dla mikroorganizmów powodując przyspieszenie jego psucia.

Redystrybucja wody może odgrywać kluczową rolę w zmianie tekstury chleba podczas przechowywania. Po przeanalizowaniu parametru twardości badanego pieczywa, w analizie TPA wyrażonej jako maksymalna siła zmierzona podczas pierwszego ściśnięcia miękiszu stwierdzono, że w dniu wypieku pieczywo bez dodatku mączki ze świerszczy miało istotnie wyższe wartości tego parametru (37,2 N) niż pieczywo z udziałem mączek (24,5 - 35,7 N) i zależność tę obserwowano przez cały okres przechowywania analizowanych chlebów. Największy wzrost twardości (123,93%) odnotowano dla pieczywa kontrolnego, co oznacza, że pod względem atrakcyjności sensorycznej zmienił się on najbardziej,



zmniejszając swoją atrakcyjność dla konsumentów. Chleby z dodatkiem mączki ze świerszczy na poziomie 2, 6 i 10% charakteryzowały się istotnie mniejszymi zmianami twardości (41,08 i 43,71, 88,30%, odpowiednio dla 2, 6 i 10% zamiany skrobi na mączkę ze świerszczy). Można zatem stwierdzić, że mączka ze świerszczy pozytywnie wpłynęła na zmiany cech chleba podczas jego czerstwienia, co może być związane z wchłanianiem wody i oleju przez białka owadzie, a w konsekwencji zmniejszeniem strat wody podczas przechowywania. Spójność i sprężystość miękiszu wszystkich badanych chlebów sukcesywnie malała przez cały okres przechowywania. Stwierdzono jednak, że mączka ze świerszczy nie wpłynęła niekorzystnie na spoistość miękiszu, zarówno w dniu wypieku, jak i podczas 6-dniowego przechowywania, w stosunku do chleba bez dodatku, a spoistość wszystkich badanych chlebów była podobna. Żujność, czyli energia potrzebna do zmiążdżenia (przeżucia) produktu i doprowadzenia go do stanu gotowego do połknięcia, jest iloczynem twardości, konsystencji i sprężystości (Bourne, 2002). Podczas sześciodniowego okresu przechowywania badanego pieczywa istotnie zwiększył się parametr żujności miękiszu. Zamiana skrobi na mączkę ze świerszczy na poziomie 10% spowodowała największy wzrost żujności, aż o 70,41%, co sugeruje, że chleby z tak wysokim poziomem mączki ze świerszczy mogą być mniej akceptowane przez konsumentów.

Jak wspomniano we wprowadzeniu, Stull i in. (2018) wykazali, że spożywanie świerszczy może poprawiać stan jelit, zmniejszać stany zapalne oraz pozytywnie wpływać na wzrost mikroflory jelitowej. Można przypuszczać, że zastosowanie świerszczy w chlebach bezglutenowych z jednej strony podniesie wartość odżywczą, z drugiej zaś pozwoli na uzyskanie produktów o nowych, atrakcyjnych właściwościach biologicznych. Dlatego też postanowiono kompleksowo scharakteryzować wartość odżywczą (wilgotność, popiół, białko, tłuszcz, węglowodany, błonnik pokarmowy, mikro i makroelementy), barwę, a także po symulowanym procesie trawienia *in vitro* wpływ na mikroflorę jelitową, zawartość polifenoli oraz aktywność przeciwutleniającą chlebów bezglutenowych z 2%, 6% i 10% substytucją skrobi przez mączkę ze świerszczy (**D.1.1.5.**).

**D.1.1.5 Kowalczewski, P.Ł.\*:** Gumienna, M.; Rybicka, I.; Górna, B.; Sarbak, P.; Dziedzic, K.; Kmiecik, D. Nutritional Value and Biological Activity of Gluten-Free Bread Enriched with Cricket Powder. *Molecules* **2021**, *26*(4), 1184. DOI: 10.3390/molecules26041184

Żywność bezglutenowa często wykazuje niewłaściwy profil żywieniowy, z niedoborem wielu składników odżywczych (Rybicka, 2018). Zastosowana w recepturze chleba mączka ze świerszczy istotnie zwiększała zawartość białka, tłuszczu i błonnika pokarmowego w

chlebach z nim wzbogaconych. Zastąpienie skrobi mączką owadzią w ilości 2%, 6% i 10% spowodowało odpowiednio dwukrotny, czterokrotny i siedmiokrotny wzrost zawartości białka. Zawartość tłuszczu wzrosła odpowiednio o 23%, 59% i 105% w porównaniu z pieczywem referencyjnym. Oprócz makroskładników owady są również źródłem błonnika pokarmowego, głównie nierozpuszczalnego (Kinyuru et al., 2015), co spowodowało trzykrotny wzrost jego zawartości w pieczywie wzbogaconym w świerszcze. Co ważne, pomimo różnic w zawartości poszczególnych makroskładników w pieczywie, w tym węglowodanów, nie zaobserwowano istotnej zmiany wartości energetycznej, co jest niewątpliwie korzystne z uwagi na odpowiednie bilansowanie podaży makroskładników i limitację dostarczanej z pokarmem energii. Mączka ze świerszczy zmieniła zawartość większości składników mineralnych w analizowanych chlebach, chociaż stopień tych zmian był zróżnicowany wśród ocenianych składników mineralnych. Zgodnie z danymi prezentowanymi w **D.1.1.2.**, mączki ze świerszczy są dobrym źródłem związków mineralnych, zatem przeanalizowano profil składników mineralnych wzbogaconego w nie chleba bezglutenowego oraz wyliczono procent pokrycie referencyjnych wartości dla poszczególnych związków dostarczanych przez 100 g pieczywa (odpowiednik dwóch zwykłych lub czterech cienkich kromek chleba). Zawartość Ca wzrosła z  $17.0 \pm 1.9$  do  $28.4 \pm 2.9$  mg/100 g, co odpowiada pokryciu 3% dziennego zapotrzebowania. 100 gramów chleba z 10% zamianą skrobi na mączkę ze świerszczy pokrywa także 3% dziennego na K i Mg. Zawartość Na była na tym samym poziomie we wszystkich analizowanych chlebach (około 300 mg/100 g) i wynikała z receptury, w składzie której zawarta jest sól. Najbardziej pożądaną poprawę profilu mineralnego uzyskano dla Cu, P, Mn i Zn. Chleb o najwyższym udziale mączki ze świerszczy można uznać za ważne źródło Cu (23% DRI) i P (13% DRI), podczas gdy chleb niewzbogacony dostarczał zaledwie odpowiednio 8% i 5% DRI dla tych minerałów. Zawartość Zn wzrosła z 0,40 mg w chlebie kontrolnym (4% DRI) do 1,08 mg w chlebie z najwyższym udziałem mączki (11% DRI), a Fe z 0,24 do 0,59 mg (2% do 4% DRI).

Zastosowanie mączki ze świerszczy spowodowało również zmianę profilu kwasów tłuszczowych w przygotowanym pieczywie. We wszystkich badanych chlebach głównym kwasem tłuszczowym był kwas oleinowy (C18:1), który stanowił od 54,97% do 68,72% wszystkich kwasów tłuszczowych, który pochodził z oleju dodawanego jako składnik recepturowy ciasta. Dla kwasu C18:1 zaobserwowano jednak spadek udziału wraz ze wzrostem udziału mączki owadziej. Wysoką zawartością charakteryzował się również kwas

linolowy (C18:2), którego udział wzrastał od 18,56% do 25,29% wraz ze wzrostem dodatku mączki ze świerszczy. Zaobserwano także wzrost udziału kwasu palmitynowego (C16:0), którego zawartość wzrosła od 4,04% w pieczywie kontrolnym do 8,80% w pieczywie z 10% zamianą skrobi na mączkę ze świerszczy. Zmiany udziału poszczególnych kwasów tłuszczowych zaobserwowano także analizując zawartości poszczególnych grup kwasów tłuszczowych. Wraz ze wzrostem udziału mączki ze świerszczy w recepturze chleba obserwowano wzrost zawartości nasyconych kwasów tłuszczowych (SFA) i wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (PUFA) oraz spadek jednonienasyconych kwasów tłuszczowych (MUFA). Zmiany te są wynikiem dużej zawartości kwasu linolowego (C18:2; 35%), kwasu palmitynowego (C16:0; 25,52%) i kwasu stearynowego (C18:0; 7,76%) w tłuszczu świerszczy (Osimani et al., 2018).

Zastąpienie skrobi mączką z owadów zmieniło istotnie barwę otrzymanych chlebów. Miękkisz chleba był tym ciemniejszy, im więcej skrobi zastępowano mączką, a spadek wartości parametru  $L^*$ , odpowiadającego za jasność, wyniosła o 16,4% dla chleba z 2% zamianą skrobi, 27,3% dla 6% i 33,2% dla chleba o najwyższym udziale mączki z owadów, w odniesieniu do próby referencyjnej. Ciemniejszy kolor pieczywa jest postrzegany przez konsumentów jako bardziej pożądaný, ponieważ kojarzy się im ze zdrowszym pieczywem pełnoziarnistym (Sandvik et al., 2018), można zatem wnioskować, że zmiana koloru na ciemniejszy zostanie dobrze przyjęta przez konsumentów. Zaobserwowano również znaczny wzrost wartości parametru nasycenia barwą czerwoną (parametr  $a^*$ ), przy nieznacznym spadku nasycenia barwą żółtą ( $b^*$ ). Wyliczona całkowita różnica barwy ( $\Delta E$ ) wahała się od 13,8 do 27,5, co oznacza bardzo duże różnice, zauważalne przez niedoświadczonego obserwatora, w barwie oszacowanie w stosunku do chleba bez dodatku mączki ze świerszczy.

Owady jadalne, oprócz podstawowych składników odżywczych, dostarczają również związków biologicznie czynnych, w tym przeciwutleniaczy (Zielińska et al., 2018). Przeanalizowano zatem aktywność biologiczną świeżych chlebów, jak również poddanych procesowi trawienia, pobierawszy próby do analiz po każdym z etapów procesu trawienia *in vitro*: po trawieniu żołądkowym (pH 2,0), po przepasażowaniu do jelita cienkiego (pH 7,4), po trawieniu w jelicie cienkim z dodaną mikroflorą fekalną (pH 7,4), po 2-godzinnym trawieniu w jelicie cienkim z mikroflorą (pH 7,4), po przepasażowaniu do jelita grubego (pH 8,0) i po 18-godzinnym trawieniu w jelicie grubym (pH 8,0).

Wraz ze wzrostem ilości skrobi zastępowanej mączką ze świerszczy zawartość polifenoli w pieczywie wzrosła o 336% (kontrola vs. chleb z 10% zamianą), co skutkowało także wzrostem analizowanej metodą ABTS aktywnością przeciwutleniającą. Podobnie jak w przypadku innych składników odżywczych, przeciwutleniacze muszą najpierw zostać uwolnione z matrycy żywności, początkowo poprzez mechaniczne rozdrobnienia żywności, a następnie chemicznie i enzymatycznie w czasie trawienia i mogą być wówczas wchłaniane przez przewód pokarmowy, zwłaszcza w górnym odcinku jelita cienkiego. Po procesie trawienia zaobserwowano znaczny wzrost zawartości związków polifenolowych. Podobnie jak w przypadku zawartości polifenoli ogółem (TPC) pieczywa niepoddanego trawieniu, również po procesie trawienia najwyższą wartość odnotowano dla chleba z 10% zamianą skrobi na mączkę ze świerszczy (6,2 mg/g) vs. chleba niewzbogacony (1,9 mg/g). Całkowita aktywność przeciwutleniająca pieczywa po trawieniu również istotnie wzrosła dla każdego z analizowanych rodzajów pieczywa. Najwyższą wartość TEAC odnotowano dla chleba z najwyższą zamianą skrobi na mączkę owadzią (42,79 mg/g), i był to jednocześnie największy wzrost aktywności przeciwutleniającej spowodowany procesem trawienia (aż o 2009%). Poziom aktywności  $\beta$ -glukuronidazy ( $\beta$ -Glu) w płynach ustrojowych jest uważany za potencjalny biomarker w diagnostyce niektórych stanów patologicznych jelit, dlatego, ze względu na ich rolę w karcynogenezie okrężnicy, poszukiwanie silnych inhibitorów  $\beta$ -Glu w ludzkiej mikroflorze jelitowej przyciąga coraz większą uwagę na przestrzeni lat (Awolade et al., 2020; Waszkiewicz et al., 2015). W szczególności trwają prace nad odkryciem naturalnych, dietetycznych inhibitorów tego enzymu. Otrzymane wyniki analizy zdolności do inhibicji  $\beta$ -Glu przez wzbogacony w mączkę ze świerszczy chleb bezglutenowy wskazują na znaczną zdolność do zmniejszania aktywności  $\beta$ -Glu przez tę mączkę. Zastosowanie 6% i 10% zamiany skrobi na mączkę owadzią w recepturze chleba spowodowało spadek aktywności  $\beta$ -Glu odpowiednio o 63,5% i 65,9%. Aktywność  $\beta$ -Glu jest również skutecznie hamowana w kolejnych etapach procesu trawienia w jelicie grubym. Po 18 godzinach trawienia w/w chlebów w jelicie grubym aktywność  $\beta$ -Glu zmniejszyła się odpowiednio o 70,6% i 78,9%. Wydaje się zatem, że mączka ze świerszczy ma potencjał do wykorzystania jako nowy, dietetyczny inhibitor  $\beta$ -Glu, a dalsze badania jej aktywności biologicznej mogą pogłębić nasze zrozumienie mechanizmów leżących u podstaw korzystnych efektów. Związki przeciwutleniające bardzo często wykazują również działanie przeciwdrobnoustrojowe, co może mieć negatywny wpływ na rozwój mikroflory jelitowej. Po procesie trawienia *in vitro* nie zaobserwowano jednak hamującego wpływu składników pochodzących z chleba z mączką ze świerszczy na wzrost mikroorganizmów, zarówno

korzystnych (*Bifidobacterium* i *Lactobacillus*), jak i patogennych (*Enterococcus* i *Escherichia coli*).

W badaniach opisanych powyżej scharakteryzowano wartości odżywcze oraz bioaktywne produkowanych chlebów świadczące o ich potencjale jako elementu zróżnicowanej diety ludzi cierpiących na celiakię. W kolejnym etapie zdecydowano się na analizę związków kształtujących aromat analizowanych chlebów, gdyż zgodnie z aktualną wiedzą jest to główny czynnik determinujący właściwości smakowo-zapachowe produktu spożywczego. W tym celu przeanalizowano i opisano w **D.1.1.6**, zmiany profilu związków lotnych, ich prekursorów (tj. aminokwasów) oraz przeprowadzono analizę sensoryczną celem skorelowania uzyskanych wyników z ich potencjalnym wpływem na aromat gotowego produktu. Badaniom poddano chleb wzbogacony różnymi zawartościami mączki ze świerszczy (analogicznie jak w poprzednich badaniach 2, 6 i 10% zamiany skrobi) w połowie czasu pieczenia (15 min) i po całkowitym wypieku (30 min). Ekstrakcję związków lotnych przeprowadzono z zastosowaniem techniki mikroekstracji do fazy stałej (SPME), a następnie analizowano z zastosowaniem dwuwymiarowej chromatografii gazowej (GCxGC, Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA) sprzężonej ze spektrometrem masowym z analizatorem czasu przelotu (ToF-MS, LECO, St. Joseph, MI, USA). Zawartość wolnych aminokwasów (FAA) oznaczono z wykorzystaniem chromatografu gazowego Agilent 7890A (Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA) wyposażonego w kolumnę ZB-AAA EZ Faast™ capillary column (10 m × 0.25 mm, Phenomenex, Aschaffenburg, Niemcy). Ponadto przeanalizowano również właściwości sensoryczne zgodnie z procedurą opisaną w normie ISO 13299:2016.

**D.1.1.6** Wieczorek, M.N., **Kowalczewski, P.Ł.\***, Drabińska, N., Różańska, M.B., Jeleń, H.H. Effect of Cricket Powder Incorporation on the Profile of Volatile Organic Compounds, Free Amino Acids and Sensory Properties of Gluten-Free Bread. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences* **2022**, 72(4), 431-442. DOI: 10.31883/pjfn/156404

Na początku porównano zawartość wolnych aminokwasów w skórce i miększu, aby określić różnice w ich zawartościach między tymi częściami. W obu analizowanych częściach pieczywa występowało dziewięć aminokwasów egzogennych (EAA) w podobnym zakresie zawartości, niemniej jednak dla większości EAA stwierdzono nieznacznie niższą zawartość w skórce w porównaniu z mięszem. Zawartości pozostałych aminokwasów (NEAA) nie różniły się istotnie w obu analizowanych częściach chleba. Zbadano również wpływ czasu pieczenia (15 vs 30 min) na skład aminokwasowy miększu i skórki. Czas całkowitego wypieku (30 min) nie miał wpływu na całkowitą zawartość

zarówno EAA, jak i NEAA w analizowanych chlebach. Dla poszczególnych FAA większość zmian w ich zawartości po 15 vs. 30 min pieczenia była niewielka i dla większości z nich nieistotna statystycznie. Jedyne istotne statystycznie różnice ( $p < 0,05$ ) w ogólnej zawartości EAA i NEAA jako funkcję czasu wypieku odnotowano dla skórki chleba kontrolnego oraz miększu chleba kontrolnego i z 2% zamianą skrobi na mączkę ze świerszczy. Ostatnim badanym czynnikiem był wpływ ilości zamienionej skrobi na mączkę ze świerszczy. W skórce pieczywa pieczonego przez 15 min zaobserwowano istotne ( $p < 0,05$ ) zmiany zawartości dwóch EAA: lizyny i metioniny; oraz trzech NEAA: proliny, asparaginy i kwasu asparaginowego, natomiast w miększu pieczywa pieczonego przez 15 min istotnie zmieniła się zawartość tylko treoniny, alaniny, glicyny, proliny i kwasu glutaminowego przy 2% zamianie skrobi na mączkę ze świerszczy. Zaobserwowano również istotne różnice między skórkami chleba kontrolnego i z 2% zamianą skrobi pieczonymi przez 30 min pod względem całkowitej zawartości EAA i NEAA, jednak różnice te nie zawsze były odzwierciedlone w przypadku poszczególnych FAA; istotną różnicę stwierdzono dla tryptofanu (EAA) i pięciu NEAA: alaniny, glicyny, proliny, kwasu asparaginowego, kwasu glutaminowego i tyrozyny w skórce chleba. Podobną zależność zaobserwowano dla izoleucyny, lizyny, alaniny, glicyny, proliny, asparaginy, kwasu asparaginowego i tyrozyny w miększu chleba. W porównaniu z chlebem kontrolnym, 6% zamiana skrobi na mączkę ze świerszczy spowodowała istotne różnice w zawartości większości FAA, zarówno w skórce, jak i miększu modelowego chleba. W chlebie tym zawartość dla wszystkich analizowanych aminokwasów wolnych wzrosła znacząco. W zewnętrznej i środkowej części chleba pieczonego przez 15 min łączna zawartość EAA wzrosła dwukrotnie (kontrola vs. chleb z 10% zamianą skrobi), natomiast zawartość NEAA wzrosła 2,3-krotnie. W próbkach pieczonych przez 30 min zmiany te były jeszcze większe; sumaryczna zawartość EAA w skórce i miększu była 2,6 razy większa niż w chlebie referencyjnym, a suma NEAA wzrosła 4-krotnie. Wolne aminokwasy są prekursorami lotnych związków aromatycznych kształtujących aromat pieczywa, zatem można zakładać, że zastosowanie mączki ze świerszczy istotnie wpływa na zmianę profilu VOCs chlebów, co przeanalizowano w dalszym etapie.

Analiza lotnych związków organicznych dostarczyła ważnych informacji dotyczących zmian jego aromatu wskutek zastosowania w recepturze mączki ze świerszczy. Porównując skład substancji lotnych w skórce i miększu pieczywa zaobserwowano liczne różnice wynikające z obecności mączki owadziej. Ponadto czas pieczenia wpłynął na profil

analizowanych związków lotnych. W miększu pieczywa pieczonego przez 15 min (połowa czasu wypieku) dominującą grupą substancji lotnych były alkohole. Po dłuższym, 30-minutowym czasie pieczenia proporcje zmieniły się we wszystkich analizowanych próbkach. Stwierdzono mniejszą zawartość alkoholi zarówno w miększach, jak i skórkach przy jednoczesnym obserwowanym wzroście zawartości pirazyn i związków siarki. Przy dłuższym pieczeniu zawartość związków ketonowych w miększu wzrastała, natomiast w skórce malała. Zarówno w miększu, jak i w skórce po 30 min pieczenia zaobserwowano zmniejszenie udziału estrów w ogólnej puli organicznych związków lotnych. W skórce chlebów skład substancji lotnych po 15 minutach pieczenia był inny niż w miększu. Udział alkoholi był wyraźnie mniejszy w skórce niż w miększu, natomiast aldehydów i estrów zdecydowanie większy w skórce. Duże zmiany zaobserwowano w miększu pieczywa pieczonego przez 30 min, ponieważ dłuższy czas pieczenia spowodował powstanie wielu produktów reakcji Maillarda. Najważniejsza obserwacja różniąca skórkę od miększu dotyczy zawartości pirazyn, których zasobność w skórce była istotnie większa w chlebach wzbogaconych w mąkę ze świerszczy.

We wszystkich analizowanych z użyciem GC×GC-ToF-MS próbkach zidentyfikowano łącznie 96 organicznych związków lotnych, a były to: 3 kwasy, 16 alkoholi, 13 aldehydów, 11 estrów, 6 furanów, 10 ketonów, 18 pirazyn, 6 terpenów, 5 związków siarki i 8 innych składników. Kwasy wykryto w miększu chleba kontrolnego, ale także chlebów z 2- i 4-procentową zamianą skrobi na mąkę ze świerszczy, podczas gdy nie było ich w miększu chleba z najwyższym udziałem mączki. Zawartość większości alkoholi zmniejszała się wraz z wydłużaniem czasu wypieku. Ponadto w miększu, w porównaniu do skórki, zaobserwowano większe powierzchnie pików dla wielu poszczególnych alkoholi, zwłaszcza dla 1-heksanolu, przy czym wzrost udziału mączki ze świerszczy nie powodował wzrostu zawartości alkoholi. Bardziej szczegółowa analiza wykazała, że 1-heksanol był dominującym alkoholem w miększu chleba kontrolnego (po 15 min pieczenia) i chleba z 10% zamianą skrobi na mąkę ze świerszczy (po 30 min pieczenia), podczas gdy 1-pentanol występował w największym udziale w tym chlebie pieczonym 15 min. Natomiast w skórce zawartość 1-heksanolu była mniejsza niż zawartości alkoholu fenetylowego, 1-propanolu i 2-metylo-1-propanolu. Poziom alkoholu fenetylowego malał wraz ze wzrostem zamiany skrobi na mąkę ze świerszczy w badanych chlebach. Kolejną ważną grupą związków, których ilość wzrosła po dodatku mączki ze świerszczy, są aldehydy. Wśród analizowanych aldehydów, heksanal był zauważalnie wyższy w próbkach

wzbogaconych w mączkę owadzią w porównaniu do pieczywa kontrolnego, a przyrost jego ilości wynikał prawdopodobnie z dużej zawartości lipidów obecnych w mączce ze świerszczy (skład mączek opisano w **D.1.1.2**). Największe różnice zaobserwowano w poziomie pirazyn w skórce analizowanych chlebów. Powstają one w chlebie w reakcji aminokwasów z cukrami poprzez reakcje Maillarda, z uwagi na właściwości zapachowe i niskie wartości progu wyczuwalności sensorycznej przyczyniają się one do kształtowania aromatu chleba. W skórkach pieczywa po czasie pieczenia 30 min powstało wiele pirazyn, w tym: 2-etylopirazyna, 3-etylo-2-metylopirazyna, 2-etylo-6-metyloetylopirazyna, 2-izopropenylopirazyna, 5-etylo-2,3-dimetylopirazyna, 2-metylo-3-(2-propenylo)pirazyna, 2-izobutylo-3-metylopirazyna, 3,5-dietylo- 2-metylopirazyna, 2,3-dietylopirazyna, 2-etylo-3,5-dimetylopirazyna, 2-acetylo-3-etylopirazyna, 2,5-dimetylo-3-(2-etylopropylo)pirazyna i 2-izoamilo-6-metylopirazyna, a związków tych nie wykryto w czasie analizy skórki pieczywa kontrolnego. Podwyższoną zawartość pirazyn stwierdzono w pieczywie z większą zawartością mączki ze świerszczy, prawdopodobnie z uwagi na wyższą zawartość FAA, dostarczonych wraz z tą mączką i opisanych powyżej. W miększu chlebów z mączką owadzią zidentyfikowano 2,3,5-trimetylopirazynę, która nie była obecna w miększu chleba kontrolnego, a jej zawartość wzrastała wraz ze wzrostem % zawartości mączki ze świerszczy. Zawartość furanów była wyraźnie wyższa w pieczywie bez dodatku mączki ze świerszczy niż w pieczywie nią wzbogaconym, przy czym ich ilość wzrastała wraz ze wzrostem udziału mączki owadziej w chlebie i podobnie jak w przypadku pirazyn tłumaczyć to można nasileniem reakcji Maillarda wynikającym z większej dostępności FAA pochodzących z owadów. Podobnie jak w przypadku pirazyn, furany występowały w większej ilości w skórce, czyli w części chleba bardziej narażonej na działanie wysokich temperatur.

Obserwowane analitycznie zmiany zweryfikowano także podczas analizy sensorycznej analizowanych chlebów. Chleb referencyjny charakteryzował się głównie nutami „ryżowymi”, „kwaśnymi”, „tłustymi” i „kwiatowymi”. Udział mączki ze świerszczy w recepturze chleba skutkowałą natomiast zwiększeniem intensywności nut „karmelowo-czekoladowych”, „pieczonych” i „gotowanych ziemniaków”. Chleby wzbogacone w mączkę ze świerszczy charakteryzowały się nutami typowymi dla pieczywa pszennego, takimi jak orzechowy, karmelowy i palony, które kojarzone są z pirazynami. Wyniki te wskazują, że mączką ze świerszczy może być cennym składnikiem wykorzystywanym do wytwarzania produktów bezglutenowych o ulepszonych właściwościach smakowych, które



obecnie są raczej nieatrakcyjne. Zwiększona zawartość związków potencjalnie aromatycznym zaobserwowana w pieczywie z udziałem mączki ze świerszczy skorelowana z wynikami analizy sensorycznej jednoznacznie wskazuje na poprawę aromatu chleba z tym surowcem.

### **1.2.3 Podsumowanie uzyskanych wyników**

Zrealizowane badania przedstawione w cyklu publikacji naukowych stanowiących osiągnięcie naukowe zawierają charakterystykę właściwości fizykochemicznych i odżywczych wybranych mączek ze świerszczy, a także ocenę wpływu stosowania mączki na modelowe pieczywo bezglutenowe. Uzyskane wyniki pozwoliły lepiej poznać właściwości coraz szerzej dostępnych mączek ze świerszczy, a tym samym lepsza ich aplikację w projektowaniu nowych, wzbogaconych w nie produktów spożywczych. Ponadto poznano także zmiany jaki powoduje zastosowanie mączki ze świerszczy w bezglutenowym chlebie, określono także korzystny wpływ na jakość i właściwości chleba. Badania wykonane w ramach osiągnięcia naukowego umożliwiły wyciągnięcie następujących wniosków:

- 1) pochodzenie geograficzne mączek ze świerszczy, w przeciwieństwie do opisywanej w literaturze tematu zmian wartości odżywczej, nie wpływa na ich właściwości technologiczne (olejo- i wodochłonność, zdolność do tworzenia i stabilizowania piany, stabilność termiczną i właściwości po hydratacji mączek). Niezależnie od pochodzenia i metody produkcji mączek ze świerszczy charakteryzują się one podobnymi właściwościami, co czyni ten surowiec uniwersalnym i łatwym do zastosowania do produkcji szerokiej gamy produktów spożywczych.
- 2) mączki ze świerszczy *Acheta domesticus*, niezależnie od pochodzenia, zawierają znaczne ilości składników odżywczych, w tym białka, tłuszczu, błonnika oraz składników mineralnych, w związku z czym mogą stanowić cenny składnik żywności.
- 3) wysoka zawartość składników mineralnych w mączkach ze świerszczy, po zastosowaniu ich w produktach bezglutenowych, może rekompensować deficyty żywieniowe u osób stosujących dietę bezglutenową, np. osób cierpiących na celiakię.
- 4) w lizatach trypsynowych mączek ze świerszczy, techniką wysokorozdzielczej tandemowej spektrometrii mas sprzężonej z wysokosprawną chromatografią cieczową UHPLC-QTOF-MS/MS znaleziono cztery peptydy specyficzne dla świerszczy, które mogą służyć jako markery do celów oznaczania autentyczności.

- 5) zastąpienie skrobi mączką ze świerszczy powoduje szereg zmian właściwości zarówno ciasta, jak i produktu końcowego. Pomimo tego, że w analizach reologicznych zaobserwowano jedynie niewielkie zmiany właściwości makroskopowych ciasta, analizy molekularnej dynamiki wody zawartej w cieście wykazały, że mączka ze świerszczy zwiększa dostępność wody dla biopolimerów, takich jak skrobia czy hydrokoloidy. W rezultacie zaobserwowano istotne zmiany w dynamice wody również w próbkach miękiszu gotowego chleba. Ponadto wykazano, że wprowadzenie mączki ze świerszczy prowadzi do zmniejszenia twardości pieczywa i poprawy jego konsystencji.
- 6) zamiana skrobi na mączkę ze świerszczy istotnie zmieniła zachowanie się wody zarówno pieczywa podczas 6-dniowego okresu przechowywania. Stwierdzono, że miękisz chleba zawierający mączkę ze świerszczy charakteryzuje się mniejszymi wskaźnikami transportu wody niż miękisz kontrolny, co wskazuje na istotny wpływ składników zawartych w mączce owadziej na właściwości cząsteczek wody w miękiszu, zwłaszcza w okresie 2–4 dni przechowywania. Stwierdzono również, że 2% dodatek mączki ze świerszczy stabilizuje transport wody w całym zakresie czasu analizowanego procesu czerstwienia chleba. Zmiany obserwowane na poziomie molekularnych właściwości wody powodowały również zmiany na poziomie makroskopowym, istotnie wpływające na zmianę teksturę chleba w czasie przechowywania. Wykazano, że 6% zastąpienie skrobi mączką ze świerszczy jest optymalne i spowalnia proces starzenia pieczywa.
- 7) otrzymane pieczywo wzbogacone w CP charakteryzowało się wyższą zawartością białka, wielonienasyconych kwasów tłuszczowych oraz składników mineralnych, pożądaných w żywieniu ludzi. Im więcej skrobi zastąpiono mączką ze świerszczy, tym większe zaobserwowano wzrosty zawartości tych składników odżywczych.
- 8) inne cenne korzyści ze wzbogacenia chleba bezglutenowego w mączkę ze świerszczy to zwiększona aktywność przeciwutleniająca chleba i zmniejszona aktywność  $\beta$ -glukuronidazy, a symulowane trawienie dodatkowo podkreśliło zaobserwowaną wyższą aktywność biologiczną chlebów wzbogaconych w mączkę owadzią.
- 9) dodatek mączki ze świerszczy do pieczywa bezglutenowego spowodował wzrost zawartości wolnych aminokwasów, a wyższa ich zawartość przyczyniła się do powstania bogatszego aromatu pieczywa bezglutenowego, który upodobił się do tradycyjnego pieczywa pszenneego. Wynik ten jest wyraźnie powiązany z wyższym

poziomem pirazyn w chlebach wzbogacanych w mączkę owadzią, gdyż związki z tej grupy odpowiadają za przyjemne orzechowe i palone nuty.

- 10) analiza lotnych związków organicznych (VOCs) wykazała, że dodatek mączki ze świerszczy w istotny sposób zmienił skład tej frakcji lotnej. Poza pirazynami główne zmiany dotyczyły zwiększonej zawartości aldehydów, co prawdopodobnie wynikało z większej zawartości ich prekursorów, które zostały wprowadzone wraz z mączką ze świerszczy.
- 11) różnice w składzie substancji lotnych istotnie wpłynęły na aromat pieczywa, co zostało potwierdzone oceną sensoryczną. Można zatem wnioskować, że CP jest atrakcyjnym dodatkiem wykazującym potencjał do wykorzystania w poprawie właściwości sensorycznych i odżywczych chleba GF.

#### 1.2.4 Wykaz cytowanej literatury

- Aguiar, E. V., Santos, F. G., Krupa-Kozak, U., & Capriles, V. D. (2021). Nutritional facts regarding commercially available gluten-free bread worldwide: Recent advances and future challenges. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–13. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1952403>
- Armstrong, M. J., Robins, G. G., & Howdle, P. D. (2009). Recent advances in coeliac disease. *Current Opinion in Gastroenterology*, 25(2), 100–109. <https://doi.org/10.1097/MOG.0b013e32831ef20d>
- Awolade, P., Cele, N., Kerru, N., Gummidi, L., Oluwakemi, E., & Singh, P. (2020). Therapeutic significance of  $\beta$ -glucuronidase activity and its inhibitors: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 187, 111921. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2019.111921>
- Ayieko, M. A., Ogola, H. J., & Ayieko, I. A. (2016). Introducing rearing crickets (gryllids) at household levels: adoption, processing and nutritional values. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2(3), 203–211. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0080>
- Baiano, A. (2020). Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 35–50. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.040>
- Bassett, F. (2018). Comparison of Functional, Nutritional, and Sensory Properties of Spray-Dried and Oven-Dried Cricket (*Acheta domesticus*) Powder. *All Theses and Dissertations*, 6790. <https://scholarsarchive.byu.edu/etd/6790>
- Bourne, M. C. (2002). Texture, Viscosity, and Food. In *Food Texture and Viscosity* (pp. 1–32). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012119062-0/50001-2>
- Brosio, E., & Gianferri, R. R. (2009). Low-resolution NMR – An analytical tool in foods characterization and traceability. In E. Brosio (Ed.), *Basic NMR in Foods Characterization* (pp. 9–37). Research Signpost.
- Caparros Megido, R., Desmedt, S., Blecker, C., Béra, F., Haubruge, É., Alabi, T., & Francis, F. (2017). Microbiological Load of Edible Insects Found in Belgium. *Insects*, 8(1), 12. <https://doi.org/10.3390/insects8010012>
- Cappelli, A., Cini, E., Lorini, C., Oliva, N., & Bonaccorsi, G. (2020). Insects as food: A review on risks assessments of Tenebrionidae and Gryllidae in relation to a first machines and plants development. *Food Control*, 108, 106877. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106877>
- Cappelli, A., Oliva, N., Bonaccorsi, G., Lorini, C., & Cini, E. (2020). Assessment of the rheological properties and bread characteristics obtained by innovative protein sources (*Cicer arietinum*, *Acheta domesticus*, *Tenebrio molitor*): Novel food or potential improvers for wheat flour? *LWT*, 118, 108867. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108867>
- Cappelli, A., Oliva, N., & Cini, E. (2020). A systematic review of gluten-free dough and bread: dough rheology, bread characteristics, and improvement strategies. *Applied Sciences*, 10(18), 6559.

- <https://doi.org/10.3390/app10186559>
- Cerny, C. (2008). The Aroma Side of the Maillard Reaction. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1126(1), 66–71. <https://doi.org/10.1196/annals.1433.011>
- Chirife, J., del Pilar Buera, M., & Labuza, T. P. (1996). Water activity, water glass dynamics, and the control of microbiological growth in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 36(5), 465–513. <https://doi.org/10.1080/10408399609527736>
- Conte, P., Del Caro, A., Urgeghe, P. P., Petretto, G. L., Montanari, L., Piga, A., & Fadda, C. (2020). Nutritional and aroma improvement of gluten-free bread: is bee pollen effective? *LWT*, 118, 108711. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108711>
- Conte, P., Fadda, C., Drabińska, N., & Krupa-Kozak, U. (2019). Technological and Nutritional Challenges, and Novelty in Gluten-Free Breadmaking: a Review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 69(1), 5–21. <https://doi.org/10.31883/pjfn-2019-0005>
- Conte, P., Fadda, C., Piga, A., & Collar, C. (2016). Techno-functional and nutritional performance of commercial breads available in Europe. *Food Science and Technology International*, 22(7), 621–633. <https://doi.org/10.1177/1082013216637724>
- de Castro, R. J. S., Ohara, A., Aguilar, J. G. dos S., & Domingues, M. A. F. (2018). Nutritional, functional and biological properties of insect proteins: Processes for obtaining, consumption and future challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 76, 82–89. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.006>
- Duda, A., Adamczak, J., Chełmińska, P., Juskiewicz, J., & Kowalczewski, P. (2019). Quality and nutritional/textural properties of durum wheat pasta enriched with cricket powder. *Foods*, 8(2), 46. <https://doi.org/10.3390/foods8020046>
- FAO. (2012). Assessing the potential of insects as food and feed in assuring food security. In *Technical Consultation Meeting*.
- FAO. (2013). Edible Insects - Future prospects for food and feed security. In *FAO FORESTRY PAPER* (Vol. 171). <http://www.fao.org/3/i3253e/i3253e.pdf>
- Fernandez-Cassi, X., Supeanu, A., Vaga, M., Jansson, A., Boqvist, S., & Vagsholm, I. (2019). The house cricket (*Acheta domestica*) as a novel food: a risk profile. *Journal of Insects as Food and Feed*, 5(2), 137–157. <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0021>
- Föste, M., Verheyen, C., Jekle, M., & Becker, T. (2020). Fibres of milling and fruit processing by-products in gluten-free bread making: A review of hydration properties, dough formation and quality-improving strategies. *Food Chemistry*, 306, 125451. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125451>
- Garofalo, C., Osimani, A., Milanović, V., Taccari, M., Cardinali, F., Aquilanti, L., Riolo, P., Ruschioni, S., Isidoro, N., & Clementi, F. (2017). The microbiota of marketed processed edible insects as revealed by high-throughput sequencing. *Food Microbiology*, 62, 15–22. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.09.012>
- Grabowski, N. T., & Klein, G. (2017). Microbiology of cooked and dried edible Mediterranean field crickets (*Gryllus bimaculatus*) and superworms (*Zophobas atratus*) submitted to four different heating treatments. *Food Science and Technology International*, 23(1), 17–23. <https://doi.org/10.1177/1082013216652994>
- Gray, J. A., & Bemiller, J. N. (2003). Bread Staling: Molecular Basis and Control. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(1), 1–21. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00011.x>
- Green, P. H. R. (2005). The many faces of celiac disease: Clinical presentation of celiac disease in the adult population. *Gastroenterology*, 128(4), S74–S78. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2005.02.016>
- Green, P. H. R., & Cellier, C. (2007). Celiac Disease. *New England Journal of Medicine*, 357(17), 1731–1743. <https://doi.org/10.1056/NEJMra071600>
- Gujral, H. S., & Rosell, C. M. (2004). Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Research International*, 37(1), 75–81. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2003.08.001>
- Heenan, S. P., Dufour, J.-P., Hamid, N., Harvey, W., & Delahunty, C. M. (2008). The sensory quality of fresh bread: Descriptive attributes and consumer perceptions. *Food Research International*, 41(10), 989–997. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.08.002>

- Iancu, L., Dean, D. E., & Purcarea, C. (2018). Temperature influence on prevailing necrophagous diptera and bacterial taxa with forensic implications for postmortem interval estimation: a review. *Journal of Medical Entomology*, 55(6), 1369–1379. <https://doi.org/10.1093/jme/tjy136>
- Jakob, N. J., Müller, K., Bahr, U., & Darai, G. (2001). Analysis of the First Complete DNA Sequence of an Invertebrate Iridovirus: Coding Strategy of the Genome of Chilo Iridescent Virus. *Virology*, 286(1), 182–196. <https://doi.org/10.1006/viro.2001.0963>
- Jideani, V. A. (2011). Functional properties of soybean food ingredients in food systems. In *Soybean - Biochemistry, Chemistry and Physiology*. InTech. <https://doi.org/10.5772/14668>
- Kato, A., Osako, Y., Matsudomi, N., & Kobayashi, K. (1983). Changes in the emulsifying and foaming properties of proteins during heat denaturation. *Agricultural and Biological Chemistry*, 47(1), 33–37. <https://doi.org/10.1080/00021369.1983.10865579>
- Kauppi, S.-M., Pettersen, I. N., & Boks, C. (2019). Consumer acceptance of edible insects and design interventions as adoption strategy. *International Journal of Food Design*, 4(1), 39–62. [https://doi.org/10.1386/ijfd.4.1.39\\_1](https://doi.org/10.1386/ijfd.4.1.39_1)
- Kinyuru, J. N., Mogendi, J. B., Riwa, C. A., & Ndung'u, N. W. (2015). Edible insects—a novel source of essential nutrients for human diet: Learning from traditional knowledge. *Animal Frontiers*, 5(2), 14–19. <https://doi.org/10.2527/af.2015-0014>
- Klunder, H. C., Wolkers-Rooijackers, J., Korpela, J. M., & Nout, M. J. R. (2012). Microbiological aspects of processing and storage of edible insects. *Food Control*, 26(2), 628–631. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.02.013>
- Kouřimská, L., & Adámková, A. (2016). Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal*, 4, 22–26. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2016.07.001>
- Kulma, M., Kouřimská, L., Plachý, V., Božik, M., Adámková, A., & Vrabec, V. (2019). Effect of sex on the nutritional value of house cricket, *Acheta domestica* L. *Food Chemistry*, 272, 267–272. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.049>
- Lazaridou, A., Duta, D., Papageorgiou, M., Belc, N., & Biliaderis, C. G. (2007). Effects of hydrocolloids on dough rheology and bread quality parameters in gluten-free formulations. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 1033–1047. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.032>
- Lebwohl, B., Sanders, D. S., & Green, P. H. R. (2018). Coeliac disease. *The Lancet*, 391(10115), 70–81. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)31796-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31796-8)
- Lindfors, K., Ciacci, C., Kurppa, K., Lundin, K. E. A., Makharia, G. K., Mearin, M. L., Murray, J. A., Verdu, E. F., & Kaukinen, K. (2019). Coeliac disease. *Nature Reviews Disease Primers*, 5(1), 3. <https://doi.org/10.1038/s41572-018-0054-z>
- Liu, P., Piao, X. S., Thacker, P. A., Zeng, Z. K., Li, P. F., Wang, D., & Kim, S. W. (2010). Chito-oligosaccharide reduces diarrhea incidence and attenuates the immune response of weaned pigs challenged with *Escherichia coli* K881. *Journal of Animal Science*, 88(12), 3871–3879. <https://doi.org/10.2527/jas.2009-2771>
- Mézes, M. (2018). Food safety aspect of insects: A review. *Acta Alimentaria*, 47(4), 513–522. <https://doi.org/10.1556/066.2018.47.4.15>
- Mir, N. A., Riar, C. S., & Singh, S. (2019). Effect of pH and holding time on the characteristics of protein isolates from *Chenopodium* seeds and study of their amino acid profile and scoring. *Food Chemistry*, 272, 165–173. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.048>
- Naqash, F., Gani, A., Gani, A., & Masoodi, F. A. (2017). Gluten-free baking: Combating the challenges - A review. *Trends in Food Science & Technology*, 66, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.004>
- Niewinski, M. M. (2008). Advances in Celiac Disease and Gluten-Free Diet. *Journal of the American Dietetic Association*, 108(4), 661–672. <https://doi.org/10.1016/J.JADA.2008.01.011>
- Osimani, A., Milanović, V., Cardinali, F., Roncolini, A., Garofalo, C., Clementi, F., Pasquini, M., Mozzon, M., Foligni, R., Raffaelli, N., Zamporlini, F., & Aquilanti, L. (2018). Bread enriched with cricket powder (*Acheta domestica*): A technological, microbiological and nutritional evaluation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 48(May), 150–163. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.007>
- Pacyński, M., Wojtasiak, R. Z., & Mildner-Szkudlarz, S. (2015). Improving the aroma of gluten-free bread. *LWT - Food Science and Technology*, 63(1), 706–713. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.03.032>

- Pauter, P., Róžańska, M., Wiza, P., Dworzak, S., Grobelna, N., Sarbak, P., & Kowalczewski, P. Ł. (2018). Effects of the replacement of wheat flour with cricket powder on the characteristics of muffins. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 17(3), 227–233. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2018.0570>
- Phillips, J., & Burkholder, W. (1995). Allergies related to food insect production and consumption. *The Food Insects Newsletter*, 8(2), 1–2.
- Pico, J., Bernal, J. L., & Gómez, M. (2017). Influence of different flours and starches on gluten-free bread aroma. *Journal of Food Science and Technology*, 54(6), 1433–1441. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2562-3>
- Pruska-Kędzior, A., Kędzior, Z., Gorący, M., Pietrowska, K., Przybylska, A., & Sychalska, K. (2008). Comparison of rheological, fermentative and baking properties of gluten-free dough formulations. *European Food Research and Technology*, 227(5), 1523–1536. <https://doi.org/10.1007/s00217-008-0875-1>
- Purschke, B., Meinschmidt, P., Horn, C., Rieder, O., & Jäger, H. (2018). Improvement of techno-functional properties of edible insect protein from migratory locust by enzymatic hydrolysis. *European Food Research and Technology*, 244(6), 999–1013. <https://doi.org/10.1007/s00217-017-3017-9>
- Raheem, D., Carrascosa, C., Oluwole, O. B., Nieuwland, M., Saraiva, A., Millán, R., & Raposo, A. (2019). Traditional consumption of and rearing edible insects in Africa, Asia and Europe. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(14), 2169–2188. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1440191>
- Ramos-Elorduy, J. (1997). Insects: A sustainable source of food? *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2–4), 247–276. <https://doi.org/10.1080/03670244.1997.9991519>
- Raymundo, A., Empis, J., & Sousa, I. (1998). Method to evaluate foaming performance. *Journal of Food Engineering*, 36(4), 445–452. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00063-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00063-6)
- Reese, G., Ayuso, R., & Lehrer, S. B. (1999). Tropomyosin: An Invertebrate Pan-Allergen. *International Archives of Allergy and Immunology*, 119(4), 247–258. <https://doi.org/10.1159/000024201>
- Reverberi, M. (2020). Edible insects: cricket farming and processing as an emerging market. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(2), 211–220. <https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0052>
- Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57(5), 802–823. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>
- Rybicka, I. (2018). The Handbook of Minerals on a Gluten-Free Diet. *Nutrients*, 10(11), 1683. <https://doi.org/10.3390/nu10111683>
- Rybicka, I., Doba, K., & Bińczak, O. (2019). Improving the sensory and nutritional value of gluten-free bread. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(9), 2661–2667. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14190>
- Rybicka, I., & Gliszczyńska-Swigło, A. (2017). Minerals in grain gluten-free products. The content of calcium, potassium, magnesium, sodium, copper, iron, manganese, and zinc. *Journal of Food Composition and Analysis*, 59, 61–67. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.02.006>
- Sablani, S. S., Kasapis, S., & Rahman, M. S. (2007). Evaluating water activity and glass transition concepts for food stability. *Journal of Food Engineering*, 78(1), 266–271. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.09.025>
- Sajedi, M., Nasirpour, A., Keramat, J., & Desobry, S. (2014). Effect of modified whey protein concentrate on physical properties and stability of whipped cream. *Food Hydrocolloids*, 36, 93–101. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.09.007>
- Sandvik, P., Nydahl, M., Kihlberg, I., & Marklinder, I. (2018). Consumers' health-related perceptions of bread – Implications for labeling and health communication. *Appetite*, 121, 285–293. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2017.11.092>
- Scherf, K. A., Koehler, P., & Wieser, H. (2016). Gluten and wheat sensitivities – An overview. *Journal of Cereal Science*, 67, 2–11. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.07.008>
- Sikora, M., Krystyjan, M., Dobosz, A., Tomasik, P., Walkowiak, K., Masewicz, Ł., Kowalczewski, P. Ł., & Baranowska, H. M. (2019). Molecular Analysis of Retrogradation of Corn Starches. *Polymers*, 11(11), 1764. <https://doi.org/10.3390/polym11111764>
- Smarzyński, K., Sarbak, P., Kowalczewski, P. Ł., Róžańska, M. B., Rybicka, I., Polanowska, K., Fedko,

- M., Kmieciak, D., Masewicz, Ł., Nowicki, M., Lewandowicz, J., Jeżowski, P., Kačániová, M., Ślachciński, M., Piechota, T., & Baranowska, H. M. (2021). Low-field NMR study of shortcake biscuits with cricket powder, and their nutritional and physical characteristics. *Molecules*, 26(17), 5417. <https://doi.org/10.3390/molecules26175417>
- Smarzyński, K., Sarbak, P., Musiał, S., Jeżowski, P., Piątek, M., & Kowalczewski, P. Ł. (2019). Nutritional analysis and evaluation of the consumer acceptance of pork pâté enriched with cricket powder - preliminary study. *Open Agriculture*, 4(1), 159–163. <https://doi.org/10.1515/opag-2019-0015>
- Stull, V. J., Finer, E., Bergmans, R. S., Febvre, H. P., Longhurst, C., Manter, D. K., Patz, J. A., & Weir, T. L. (2018). Impact of edible cricket consumption on gut microbiota in healthy adults, a double-blind, randomized crossover trial. *Scientific Reports*, 8(1), 10762. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29032-2>
- Torbica, A., Hadnadev, M., & Dapčević, T. (2010). Rheological, textural and sensory properties of gluten-free bread formulations based on rice and buckwheat flour. *Food Hydrocolloids*, 24(6–7), 626–632. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.03.004>
- van Heel, D. A. (2006). Recent advances in coeliac disease. *Gut*, 55(7), 1037–1046. <https://doi.org/10.1136/gut.2005.075119>
- van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual Review of Entomology*, 58(1), 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
- van Huis, A. (2015). Edible insects contributing to food security? *Agriculture & Food Security*, 4(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s40066-015-0041-5>
- van Huis, A. (2017). New Sources of Animal Proteins: Edible Insects. In *New Aspects of Meat Quality* (pp. 443–461). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100593-4.00018-7>
- Vandeweyer, D., Lenaerts, S., Callens, A., & Van Campenhout, L. (2017). Effect of blanching followed by refrigerated storage or industrial microwave drying on the microbial load of yellow mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). *Food Control*, 71, 311–314. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.07.011>
- Waszkiewicz, N., Szajda, S. D., Konarzewska-Duchnowska, E., Zalewska-Szajda, B., Gałązkowski, R., Sawko, A., Nammous, H., Buko, V., Szulc, A., Zwierz, K., & Ładny, J. R. (2015). Serum  $\beta$ -glucuronidase as a potential colon cancer marker: a preliminary study. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 69, 436–439. <https://doi.org/10.5604/17322693.1148704>
- Wilde, P. (2012). Foam formation in dough and bread quality. In *Breadmaking* (pp. 370–399). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857095695.2.370>
- Wynants, E., Crauwels, S., Verreth, C., Gianotten, N., Lievens, B., Claes, J., & Van Campenhout, L. (2018). Microbial dynamics during production of lesser mealworms (*Alphitobius diaperinus*) for human consumption at industrial scale. *Food Microbiology*, 70, 181–191. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.09.012>
- Wynants, E., Frooninckx, L., Crauwels, S., Verreth, C., De Smet, J., Sandrock, C., Wohlfahrt, J., Van Schelt, J., Depraetere, S., Lievens, B., Van Miert, S., Claes, J., & Van Campenhout, L. (2019). Assessing the Microbiota of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) Reared on Organic Waste Streams on Four Different Locations at Laboratory and Large Scale. *Microbial Ecology*, 77(4), 913–930. <https://doi.org/10.1007/s00248-018-1286-x>
- Xhakollari, V., Canavari, M., & Osman, M. (2019). Factors affecting consumers' adherence to gluten-free diet, a systematic review. *Trends in Food Science & Technology*, 85, 23–33. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.12.005>
- Zannini, E., & Arendt, E. K. (2018). Low FODMAPs and gluten-free foods for irritable bowel syndrome treatment: Lights and shadows. *Food Research International*, 110, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.04.001>
- Zielińska, E., Baraniak, B., & Karaś, M. (2017). Antioxidant and anti-inflammatory activities of hydrolysates and peptide fractions obtained by enzymatic hydrolysis of selected heat-treated edible insects. *Nutrients*, 9(9), 970. <https://doi.org/10.3390/nu9090970>
- Zielińska, E., Baraniak, B., & Karaś, M. (2018). Identification of antioxidant and anti-inflammatory peptides obtained by simulated gastrointestinal digestion of three edible insects species (*Gryllobes sigillatus*, *Tenebrio molitor*, *Schistocerca gregaria*). *International Journal of Food Science & Technology*, 53(11), 2542–2551. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13848>

Zielińska, E., Baraniak, B., Karaś, M., Rybczyńska, K., & Jakubczyk, A. (2015). Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Research International*, 77, 460–466. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.008>

## E) WSPÓŁPRACA Z JEDNOSTKAMI NAUKOWYMI KRAJOWYMI I ZAGRANICZNYMI, DZIAŁALNOŚĆ MIĘDZYNARODOWA

Podczas pracy na stanowisku adiunkta w Katedrze Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu nawiązałem współpracę z licznymi naukowcami, łącznie z różnych jednostek naukowych z kraju oraz z zagranicy. Efektami tej współpracy są liczne publikacje naukowe w czasopismach z listy JCR, których pełny wykaz znajduje się w **Załączniku 4**.

Do najważniejszych, długoterminowych współpracy z krajowymi i zagranicznymi jednostkami naukowymi, potwierdzonymi w **Załączniku 6**, zaliczyć mogę współpracę z Instytutem Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego – Państwowym Instytutem Badawczym, w którym odbyłem także miesięczny staż naukowy (**Załącznik 6: 1**) w ramach którego uczestniczyłem w szkoleniu z zakresu modyfikacji i analizy skrobi i produktów skrobiowych. W toku realizacji wspólnych badań powstały 3 publikacje naukowe (oznaczone numerami II.3.18, II.3.47, II.3.55 w **Załączniku 4**), oraz jedno doniesienie konferencyjne (**Załącznik 4: II.1.5.**).

Współpracuję również z zagranicznymi ośrodkami naukowymi. Od 2019 roku prowadzę wspólne badania z zespołem pod kierownictwem prof. Ing. Miroslava Kačániová, PhD ze *Slovak University of Agriculture in Nitra*. Nasza współpraca polega na analizie aktywności biologicznej i przeciwdrobnoustrojowej surowców i produktów roślinnych, głównie olejków eterycznych, w ramach grantu APVV-20-0058 „Potencjał olejków eterycznych z roślin aromatycznych do użytku medycznego i konserwacji żywności” (PI: Miroslava Kačániová). Wspólna współpraca zaowocowała opublikowaniem licznych artykułów naukowych, indeksowanych w bazie JCR (**Załącznik 4: II.3.14, II.3.19, II.3.23, II.3.28, II.3.29, II.3.32, II.3.44, II.3.37, II.3.40, II.3.42, II.3.48, II.3.50, II.3.51, II.3.53, II.3.54, II.3.59, II.3.61, II.3.62, II.3.63, II.3.64, II.3.65, II.3.66, II.3.70, II.3.75, II.3.76, II.3.78**). Zrealizowałem także krótkoterminowy staż szkoleniowy (17.08-11.09.2020) z analizy drobnoustrojów techniką MALDI-TOF MS, poprzez pomiar unikatowych białek (**Załącznik 6: 2**). Ponadto trzykrotnie odwiedziłem Słowacki Uniwersytet Rolniczy w Nitrze w ramach programu ERASMUS+ (**Załącznik 8: 3, 5, 6**).



Długoletnią współpracę mam także z *University of Tennessee* (UTK) (**Załącznik 6: 3**) oraz *University of British Columbia* (UBC) (**Załącznik 6: 4**). W ramach wspólnie realizowanych badań analizuję wpływ zabiegów agrotechnicznych na wzrost i jakość zbóż (UTK) oraz właściwości żywności roślinnej oraz możliwości wykorzystania ekstraktów roślinnych w stabilizacji emulsji (UBC).

Współpracuję ponadto z kilkoma innymi zagranicznymi ośrodkami naukowymi, m.in. z *Miguel Hernández University of Elche*, Spain; *National Institute of Technology*, India; *University of Castilla-La Mancha*, Spain; *University of Sargodha*, Pakistan), a współpraca ta zaowocowała opublikowaniem licznych artykułów naukowych w renomowanych czasopismach ze współczynnikiem wpływu IF (**Załącznik 4**).

Do działalności międzynarodowej zaliczyć można także pełnienie przeze mnie funkcji edytora w 6 międzynarodowych czasopismach, w tym 5 z listy JCR (z listy JCR: *Open Chemistry*, *Applied Rheology*, *Frontiers in Nutrition*, *Open Life Sciences*, *PLoS One* oraz spoza listy JCR: *Open Agriculture*). Jestem także edytorem tematycznym w *International Journal of Food Properties* („Plant-based food alternatives – sensory, physicochemical and rheological properties”).

Ponadto prowadziłem wykłady w języku angielskim w zagranicznych ośrodkach naukowych w ramach Staff Mobility for Teaching (Erasmus+), trzykrotnie na Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia (8.08-15.08.2022, 9.08-12.08.2021, 8.04-11.04.2019) oraz raz na Latvia University of Agriculture, Latvia (13.09-17.09.2021).

Poniżej lista odbytych staży i wyjazdów zagranicznych:

- 1.1. Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego – Państwowy Instytut Badawczy – 4.05-25.05.2021 (**Załącznik 6: 1**)
- 1.2. Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia - 17.08-11.09.2020 (**Załącznik 6: 2**)
- 1.3. Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia – 8.08-15.08.2022 (**Załącznik 8: 3**)
- 1.4. Latvia University of Agriculture, Latvia – 13.09-17.09.2021 (**Załącznik 8: 4**)

- 1.5. Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia – 9.08-12.08.2021  
(Załącznik 8: 5)
- 1.6. Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia – 8.04-11.04.2019  
(Załącznik 8: 6)

## F) INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ

### 1.1 Promotorstwo pomocnicze prac doktorskich

Promotor pomocniczy realizowanej w ramach Szkoły Doktorskiej Uniwersytetu Morskiego w Gdyni pracy naukowej na stopień doktora w dziedzinie nauk społecznych w dyscyplinie *nauki o zarządzaniu i jakości* pana magistra inżyniera Macieja Świtalskiego (Uchwała nr 27/2021/2022, **Załącznik 8: 1**). Temat pracy - "Doskonalenie jakości produktów przekąskowych poprzez zastosowanie białka pozyskanego ze źródeł niekonwencjonalnych" [termin złożenia pracy: kwiecień 2023]. Promotor główny: dr hab. inż. Millena Ruszkowska, prof. UMG.

### 1.2 Działalność dydaktyczna

Od początku mojego zatrudnienia jako nauczyciela akademickiego, początkowo w Instytucie Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego, przemianowanego następnie na Katedrę Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego, aktywnie uczestniczyłem w kształceniu studentów oraz przygotowywaniu i doskonaleniu prowadzonych ćwiczeń laboratoryjnych i wykładów. Realizuję zajęcia w ramach przedmiotów takich jak m.in.: "Przetwórstwo surowców roślinnych", "Zasady projektowania produktów żywnościowych", "Technologiczne projektowanie zakładów przemysłu spożywczego", "Kierunki rozwoju przetwórstwa i analityki żywności", "Pracownia specjalizacyjna II", "Kierunki rozwoju przetwórstwa żywności", "Zaawansowane metody badania i oceny żywności", czy "Żywność nowej generacji". Na realizowanym wspólnie z Uniwersytetem im. Adama Mickiewicza kierunku studiów „Analityka żywności” byłem kierownikiem oraz prowadziłem zajęcia w ramach przedmiotu "Fizykochemiczne i sensoryczne właściwości żywności". W ramach zajęć dydaktycznych dla studentów anglojęzycznych prowadzę zajęcia z przedmiotów „*Starch Technology*” oraz „*Gluten-free food - problems in production*”. Podczas zatrudnienia na stanowisku adiunkta realizowałem zajęcia dydaktyczne średnio w wymiarze przekraczającym wymagane pensum (ok. 10%). Od roku 2021, z uwagi na realizację

projektu LIDER finansowanego przez NCBiR i konieczność nadzoru własnego zespołu badawczego, na mocy decyzji JM Rektora realizuję pensum w pomniejszonym o 50% wymiarze godzin.

Dużą część swojej dydaktycznej kariery zawodowej poświęcam na opiekę naukową nad studentami realizującymi prace inżynierskie i magisterskie na Wydziale Nauk o Żywności i Żywieniu, na kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka oraz licencjackie na kierunku Dietetyka. Byłem promotorem 14 prac magisterskich oraz 14 prac inżynierskich i 2 prac licencjackich. Ponadto wykonałem 31 recenzji prac dyplomowych realizowanych na WNoŻiŻ.

Od roku 2018 jestem także opiekunem Studenckiego Koła Naukowego Technologów Żywności (KNTŻ), działającego przy Wydziale Nauk o Żywności i Żywieniu Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu (<http://www1.up.poznan.pl/kntz>). Dzięki zindywidualizowanej pracy ze studentami poszerzyłem swoje umiejętności dydaktyczne oraz organizacyjne pracy w grupie. Współpraca z ambitnymi studentami zaowocowała szeregiem zrealizowanych projektów badawczych, których wyniki prezentowane były zarówno na konferencjach krajowych jak i zagranicznych. Ponadto wyniki te opublikowano z udziałem studentów, w większości w czasopiśmie z listy JCR.

W czerwcu 2020 roku celem poszerzenia swoich kompetencji zawodowych zostałem uczestnikiem programu wsparcia dla kadry dydaktycznej "PKD - Program Podnoszenia Kompetencji Dydaktycznych Kadry Uczelni", prowadzonego w ramach projektu „Najlepsi z natury! Zintegrowany Program Rozwoju Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu” (POWR.03.05.00-00-Z218/17), w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój (**Załącznik 8: 47**). Ukończyłem szkolenia oraz program rozwojowy z coachem kariery, który pozwolił mi na zidentyfikowanie moich mocnych stron w pracy dydaktycznej. Uczestniczyłem także w szkoleniach rozwijając dalsze umiejętności dydaktyczne, m.in. „Tworzenie i komponowanie infografik” (**Załącznik 8: 42**), „Wystąpienia publiczne, retoryka, erystyka, prowadzenie dyskusji i debat, nowoczesna dydaktyka” (**Załącznik 8: 44**), "Rozwiązywanie konfliktów i praca w grupie". Ukończyłem również szkolenie, realizowane przez Collegium Wratislaviense (Wrocław), uzyskując tym samym uprawnienia tutora akademickiego (**Załącznik 8: 46**). Od roku akademickiego 2022/2023 program tutoringu został wprowadzony na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu i jestem jednym z tutorów UPP (<https://cwr.up.poznan.pl/tutoring/program>).

### 1.3 Działalność organizacyjna

Poza aktywnością naukową i dydaktyczną podczas całego okresu zatrudnienia staram się aktywnie uczestniczyć w działalności organizacyjnej zarówno Katedry Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego (dawniej Instytutu Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego), jak również Wydziału Nauk o Żywności i Żywieniu oraz Uczelni. W związku z realizacją projektu LIDER NCBiR, jestem kierownikiem własnej grupy badawczej młodych naukowców, która realizuje badania w ramach wymienionego projektu.

W grudniu 2022 roku Prorektor ds. nauki i współpracy międzynarodowej powołał mnie na wydziałowego koordynatora współpracy międzynarodowej w ramach programu CEEPUS (**Załącznik 8: 2**).

Od roku 2022 jestem członkiem Komisji ds. Internetowej Promocji Wydziału (**Załącznik 8: 26**), której głównym celem jest promowanie Wydziału w mediach społecznościowych i dotarcie do jak najszerszego grona odbiorców, w tym potencjalnych kandydatów na studia. Od 2020 roku, na mocy powołania przez JM Rektora, byłem członkiem Rektorskiej Komisji ds. Strategii Uczelni, a za aktywną działalność w tejże komisji otrzymałem nagrodę JM Rektora w roku 2022 (**Załącznik 8: 13**). W latach 2019-2020 pełniłem funkcję członka Rady Naukowej Dyscypliny Technologia Żywności i Żywienia z grupy nauczycieli akademickich (adiunktów) (**Załącznik 8: 27**). Dwukrotnie byłem także członkiem komisji przetargowej, w 2018 i 2019 roku (**Załącznik 8: 23, 24**), której głównym zadaniem było przeprowadzenie kompleksowego remontu sal laboratoryjnych. W roku 2017 powołany zostałem przez JM Rektora na członka Komitetu organizacyjnego obchodów Jubileuszu stulecia studiów rolniczo-leśnych w Poznaniu, które obchodziliśmy w roku 2019 (**Załącznik 8: 25**). To okres intensywnej, dwuletniej pracy w przygotowanie wspólnych obchodów 100-lecia wspólnej historii czterech wiodących uczelni poznańskich (UAM, UMP, UPP oraz AWF). W 2016 roku, Dziekan WNoŻiŻ powołała mnie także na członka Komisji ds. pozyskania środków na rozwój infrastruktury Wydziału (**Załącznik 8: 22**).

Od roku 2016 aktywnie działam w ramach Polskiego Towarzystwa Technologów Żywności, Oddziału Wielkopolskiego. W ramach swoich działań, byłem odpowiedzialny za stworzenie strony internetowej Oddziału, którą prowadzę aż do dziś.

#### 1.4 Działalność popularyzująca naukę

Prowadzona przeze mnie działalność popularyzatorska obejmuje prowadzenie wykładów oraz warsztatów dla uczniów szkół średnich, a także dorosłych. Zorganizowałem i przeprowadziłem zajęcia dla młodzieży z Zespołu Szkół Gastronomicznych im. Karola Libelta w Poznaniu (wykład) pt. „Alternatywne źródła białka”) (**Załącznik 8: 28**), oraz Zespołu Szkół Ponadgimnazjalnych nr 2 w Łowiczu ćwiczenia laboratoryjne na temat „Produkcja i ocena makaronów – oznaczenie białka, analiza tekstury makaronów” (**Załącznik 8: 29**) w czasie których przyszli adepci nauki mogli zapoznać się z nowinkami technologicznymi i poznać proste metody analityczne. Ponadto działałem aktywnie w ramach organizowanych cyklicznie wydarzeniach promujących naukę wśród dzieci i młodzieży, takich jak „Noc Naukowców” (realizowana w ramach Programu Ramowego Unii Europejskiej HORIZON 2020) oraz organizowanego przez poznańskie uczelnie „Festiwalu Nauki i Sztuki”.

Popularyzację wiedzy naukowej prowadzę także wśród dorosłych, dla których przeprowadziłem prelekcje pt. „Chleba naszego powszedniego” w ramach Tygodnia Bibliotek 2022 (**Załącznik 8: 31**), a także uczestniczyłem w konferencji p.n. „Innowacje, wiedza i rozwój” organizowanej przez Urząd Pracy w Iławie (**Załącznik 8: 32**) wygłaszając prelekcję o trendach i innowacjach w produkcji żywności.

Upowszechniam wiedzę z zakresu technologii żywności i żywienia w mediach regionalnych i krajowych. 13.04.2020 wystąpiłem w programie “Witaj Wielkopolsko!” w stacji TVP3 omawiając zalety diety roślinnej. 11.10.2020 byłem gościem audycji radiowej w Radio TOK FM, gdzie pytano mnie o wpływ diety roślinnej i sposoby dostarczania związków odżywczych. 14.10.2020 wystąpiłem w programie Teleexpress TVP1, również poruszając temat diet wegańskich. W audycji “Na zdrowie”, realizowanej przez Radio Poznań, 24.04.2022 omawiałem zalety białka ziemniaczanego, jego wartość odżywczą i bioaktywną, izolowanego z soku ziemniaczanego. Na łamach "Tygodnika TVP" opowiedziałem o przyszłości „mięsa z grządki” i próbówki. 11.01.2023 w Teleskopie TVP3 wspomniałem o realizowanych przeze mnie badaniach nad alternatywnymi do mięsa produktami roślinnymi, dedykowanymi weganom. 20.01.2023 w Radio ESKA, 23.01.2023 w RMF FM, oraz 24.01.2023 w Teleexpress Extra TVP i Teleskop TVP3 opowiadałem o obiecujących właściwościach soku ziemniaczanego w terapii schorzeń przewodu pokarmowego. Na ten sam temat wywiad udzieliłem w programie “Witaj Wielkopolsko!” w stacji TVP3 dnia 25.01.2023.

Ponadto, za swoją aktywność w promowanie Społecznej Odpowiedzialności Uczelni w roku akademickim 2019/2020, otrzymałem pisemne podziękowanie od Prorektora ds. Studiów (**Załącznik 8: 30**).

## **G) INNE WAŻNE INFORMACJE DOTYCZĄCE KARIERY ZAWODOWEJ**

### **1.1 Dorobek publikacyjny**

W mojej działalności naukowo-badawczej, poza stanowiącym osiągnięcie naukowe opisane w punkcie D.1.1., można wyróżnić następujące obszary tematyczne:

- 1.1.1 Wykorzystanie produktów ubocznych przetwórstwa rolno-spożywczego jako źródła związków biologicznie aktywnych;
- 1.1.2 Projektowanie i testowanie właściwości nowych produktów spożywczych, ze szczególnym uwzględnieniem żywności roślinnej;
- 1.1.3 Wykorzystanie skrobi natywnych i modyfikowanych w celu nadania odpowiednich właściwości fizyko-chemicznych żywności;
- 1.1.4 Analiza wpływu zabiegów agrotechnicznych i czynników stresowych na stan fizjologiczny zbóż;
- 1.1.5 Analiza czynników odpowiedzialnych za choroby zbóż.

**Ad. 1.1.1.** Wykorzystanie bioaktywnych związków z produktów ubocznych jest tematem zainteresowań, z którym związany jestem już od czasów realizowania pracy naukowej na stopień doktora, w której zajmowałem się, pod kierunkiem prof. dr hab. Grażyny Lewandowicz oraz dr hab. Anny Olejnik, charakterystyką soku z ziemniaka, będącego produktem ubocznym w procesie produkcji skrobi ziemniaczanej, oraz jego potencjałem bioaktywnym (w tym badaniami aktywności przeciwutleniającej, przeciwzapalnej i antyproliferacyjnej *in vitro*). Badania prowadziłem we współpracy z wieloma zespołami badawczymi, zarówno macierzystej uczelni (*Katedry Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności, Katedra Fizyki i Biofizyki, Katedra Żywienia Człowieka i Dietetyki*), jak również z innymi ośrodkami naukowymi (*Uniwersytet Medyczny im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego – Państwowy Instytut Badawczy, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu*). Tematem tym zajmuję się aż do dziś, realizując kolejne projekty badawcze związane z sokiem ziemniaczanym. W toku realizacji badań, wraz ze zespołem

badawczym, przeanalizowałem szeroko w/w aktywności soku ziemniaczanego, również poddanego obróbce termicznej i procesowi trawienia. Opracowałem metodę izolacji białka z soku, o wysokiej wartości odżywczej i działaniu cytotoksycznym przeciwko komórkom nowotworowym przewodu pokarmowego. Ponadto opracowałem technologie produkcji linii produktów spożywczych, zawierających w swoim składzie sok ziemniaczany, a także przeanalizowałem ich właściwości. Efektami prac w ramach tego tematu są liczne publikacje naukowe, zarówno z listy JCR (**Załącznik 4:** II.3.6, II.3.7, II.3.11, II.3.36, II.3.58, II.3.83, II.3.84, II.3.85, II.3.103, II.3.105), jak i spoza tej listy (**Załącznik 4:** II.3.1, II.3.2, II.3.3, II.3.5, II.3.109, II.3.110, II.3.111), oraz 1 rozdziałem w monografii (**Załącznik 4:** II.1.2), a także przyznanymi przez Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej 8 patentami na wynalazki (**Załącznik 4:** III.1.1-III.1.8) oraz 2 zgłoszeniami patentowymi (**Załącznik 4:** III.1.14, III.1.15).

**Ad. 1.1.2.** Tworzenie nowych produktów spożywczych nie jest procesem łatwym. Konsumenci poszukują nie tylko zaspokojenia zapotrzebowania na podstawowe makroskładniki, ale także oczekują dostarczenia z pożywieniem związków korzystnie oddziałujących na ich organizm. Projektowanie nowych produktów i analiza interakcji ich składników, w tym bioaktywnych, na właściwości produktów finalnych to kolejna tematyka, w której poszerzam swoją wiedzę i umiejętności współpracując z kilkoma zróżnicowanymi zespołami badawczymi krajowymi (w tym z *Politechniką Poznańską*, *Uniwersytetem Przyrodniczym we Wrocławiu*, *Szkołą Główną Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*, *Uniwersytetem Ekonomicznym w Poznaniu*, *Uniwersytetem Morskim w Gdyni*), oraz zagranicznymi (*Slovak University of Agriculture in Nitra*, Slovakia; *The University of British Columbia*, Canada; *University of Sargodha*, Pakistan; *University of Kragujevac*, Serbia; *National Institute of Technology*, India; *Latvia University of Life Sciences and Technologies*, Latvia), w obrębie których analizuję zmiany właściwości fizykochemicznych i sensorycznych nowych produktów spożywczych, a także potencjał bioaktywny (właściwości antyoksydacyjne, cytotoksyczne) tychże produktów. Są to zarówno produkty z dodatkiem mączki owadziej, niewłączone do cyklu 6 głównych publikacji niemniejszego wniosku postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego (**Załącznik 4:** II.3.13, II.3.51, II.3.79, II.3.96, II.3.102, II.3.106), jak i z dodatkiem innych surowców podnoszących wartość odżywczą i bioaktywną nowych produktów spożywczych (pozostałe publikacje z **Załącznika 4**, niewymienione w innych miejscach autoreferatu).

Na szczególną uwagę zasługują badania realizowane aktualnie w ramach projektu LIDER, finansowanego z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, skupiających się na opracowaniu pełnowartościowych roślinnych analogów produktów mięsnych. Z uwagi na kompleksowe podejście, analizowane są zarówno surowce, jak i otrzymany z nich półprodukty i produkty. Jak dotąd opublikowano prace związane z oceną właściwości soku ziemniaczanego (wspomniane w pkt 1.1.1.), ale także olejów i sposobu kapsułkowania olejów o korzystnym żywieniowo stosunku kwasów tłuszczowych  $\omega 6/\omega 3$  wynoszącym 5:1 (**Załącznik 4:** II.3.33, II.3.38), a także zgłoszono nowe wynalazki do ochrony patentowej w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej (**Załącznik 4:** III.1.9-III.1.13).

**Ad. 1.1.3.** Skrobia jest jednym z dwóch najpowszechniej występujących biopolimerów na Ziemi. Produkowana jest przez rośliny w celu magazynowania energii. Jest to także podstawowy polisacharyd w diecie ludzi. Naturalna skrobia, choć od lat szeroko stosowana w wielu dziedzinach życia, ma pewne wady, które wpływają na jej funkcjonalność. Główną wadą skrobi natywnej jest niestabilność kleików, które tworzy. W celu poprawy właściwości, przeprowadza się szereg modyfikacji metodami fizycznymi, chemicznymi czy biologicznymi, w konsekwencji których otrzymuje się skrobię o właściwych, użytecznych w produkcji żywności cechach. Analiza wykorzystania skrobi oraz metody jej modyfikacji są jednym z tematów badawczych, którymi się interesuję. We współpracy z *Instytutem Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego - Państwowym Instytutem Badawczym, Politechniką Poznańską* oraz *Katedrą Fizyki i Biofizyki UPP* prowadzę badania nad wpływem stosowanych modyfikacji skrobi na właściwości produktów spożywczych skrobię zawierających. Szczególnie interesujące dla naszego zespołu jest wykorzystanie skrobi natiwnych i modyfikowanych do stabilizowania emulsji wodno-tłuszczowych. W celu oceny wpływu stosowanej skrobi na analizowane produkty stosowane są różne techniki laboratoryjne, w tym analiza reologicznych właściwości żeli i kleików skrobiowych oraz emulsji. Dzięki odbytemu w 2016 roku szkoleniu w IBPRS, a także odbytemu stażowi w 2021 w IBPRS-PIB poznałem dokładnie metody analiz reologicznych, które stosujemy w prowadzonych badaniach. Ponadto wykorzystywany w badaniach niskopolowy magnetyczny rezonans jądrowy (LF NMR) pozwala na analizę dynamiki molekularnej wody w produktach spożywczych i układach biologicznych. W wyniku prowadzonych prac opublikowano 6 artykułów w czasopiśmie z listy JCR (**Załącznik 4:** II.3.4, II.3.18, II.3.21, II.3.47, II.3.55, II.3.95) oraz 2 rozdziały w monografii (**Załącznik 4:** II.1.4, II.1.5).



**Ad. 1.1.4.** Zmiany środowiskowe powodują liczne trudności w uprawie roślin. Wśród najbardziej znaczących zagrożeń są stropy abiotyczne, a wśród nich stres suszy. Wraz z zespołem badawczym Katedry Agronomii UPP od roku 2020 analizujemy wpływ czynników stresowych na rozwój roślin, ze szczególnym uwzględnieniem zbóż. W ramach prowadzonych badań analizowane są zarówno czynniki stanu fizjologicznego roślin (m.in. przebieg procesu fotosyntezy czy fluorescencja chlorofilu), podanych czynnikom stresowym, ale także wpływu stosowanych zabiegów agrotechnicznych. W rezultacie wykazano, że stosowanie odpowiednich biostymulatorów, nawozów oraz zapraw nasiennych może skutecznie wzmocnić odporność roślin na czynniki stresowe, a tym samym – w konsekwencji – zwiększyć uzyskany plon. Przeanalizowano także właściwości bioaktywne roślin poddanych stresom abiotycznym. Jako efekty współpracy opublikowano 5 artykułów w czasopismach z listy JCR, oznaczonych w **Załączniku 4** numerami: II.3.27, II.3.31, II.3.69, II.3.70, II.3.72.

**Ad. 1.1.5.** Oprócz tematyk związanych z naukami o żywności, w kręgu moich zainteresowań leżą również zagadnienia związane z ekspresją genów odporności zbóż. We współpracy z Katedrą Genetyki i Hodowli Roślin UPP rozwijam swoje umiejętności analizy genetycznych uwarunkowań odporności różnych zbóż. Badania te wpisują się zarówno w charakter badań podstawowych, ale również istotne są z aplikacyjnego punktu widzenia pozwalając poprawiać warunki hodowli roślin, które cechować się będą wyższą odpornością na patogeny, a w konsekwencji lepszą jakością zebranych plonów, wykorzystywanych dalej do produkcji żywności. Współpraca z dr hab. Agnieszką Tomkowiak z Katedry Genetyki i Hodowli Roślin UPP zaowocowała opublikowaniem 9 artykułów w czasopismach z listy JCR, oznaczonych w **Załączniku 4** numerami: II.3.12, II.3.15, II.3.57, II.3.60, II.3.74, II.3.98, II.3.100, II.3.101.

Pełna lista moich osiągnięć naukowych znajduje się w **Załączniku 4** do wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego.

Dotychczas opublikowałem 117 pozycje, w tym: 11 przed uzyskaniem stopnia doktora, oraz 106 po uzyskaniu stopnia doktora. 91 publikacji znajduje się w czasopismach znajdujących się w bazie JCR oraz 20 w czasopismach spoza bazy JCR (6 przed i 14 po uzyskaniu stopnia doktora). Ponadto opublikowałem 5 rozdziałów w monografiach (2 przed i 3 po uzyskaniu stopnia doktora). Mój całkowity dorobek naukowy według punktacji MNiSW do 2018 roku wynosi 307 punktów oraz według punktacji MEiN (od roku 2019)

wynosi 7750 (w tym 650 stanowi podstawę wniosku habilitacyjnego). Ponadto jestem autorem 14 zgłoszeń patentowych, z których 8 uzyskało już status prawa wyłącznego.

Sumaryczny Impact Factor (IF) dla opublikowanych prac, według listy JCR zgodnie z rokiem opublikowania, to 321,894. Po wyłączeniu 5 prac stanowiących szczególne osiągnięcie naukowe (IF\*\* = 25.798, MEiN\* = 650 pkt.), wartość mojego pozostałego dorobku naukowego wynosi IF\*\* = 296.096, i MEiN\* = 7 100 pkt. Liczba cytowań z pominięciem autocytowań według bazy Web of Science (na dzień 11.01.2023) – 840, Index Hirscha – 19.

W Tabeli 1 przedstawione zostało zestawienie dorobku naukowego z podziałem na podstawowe formy aktywności naukowej, w którym uwzględniono ocenę punktową czasopism wg MNiSW/MEiN, zgodną z rokiem wydania publikacji oraz IF za rok wydania.

Tabela 1. Zestawienie dorobku publikacyjnego przed i po uzyskaniu stopnia doktora.

Dorobek publikacyjny	Przed uzyskaniem stopnia doktora				Po uzyskaniem stopnia doktora			
	Liczba	MNiSW*	MEiN*	IF**	Liczba	MNiSW*	MEiN*	IF**
<b>Publikacje naukowe</b>								
Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie JCR	3	80	-	5,760	89	100	7640	321,894
Publikacje naukowe w czasopismach nie uwzględnione w bazie JCR w roku wydania	6	53	-	-	14	66	110	-
Rozdziały w monografii naukowej w języku angielskim/polskim	2	8	-	-	3	-	0	-
<b>SUMARYCZNIE</b>	<b>11</b>	<b>141</b>	<b>-</b>	<b>5,760</b>	<b>106</b>	<b>166</b>	<b>7750</b>	<b>321,894</b>
<b>Patenty i zgłoszenia patentowe</b>								
Udzielone patenty	-	-	-	-	8	-	600	-
Zgłoszenia patentowe	7	-	-	-	7	-	-	-
<b>SUMARYCZNIE</b>	<b>7</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>15</b>	<b>-</b>	<b>600</b>	<b>-</b>

\* Łączna liczba punktów opublikowanych artykułów zgodna z rokiem wydania wg list MNiSW (do roku 2018) i MEiN (od 2019).

\*\* Impact factor zgodnie z rokiem wydania, w przypadku prac z roku 2022-2023 podano IF z roku 2021.

## 1.2 Udział w konferencjach

Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora brałem udział w 6 konferencjach naukowych w tym 2 konferencjach międzynarodowych, w organizację której byłam zaangażowana jako członek komitetu organizacyjnego oraz 3 o zasięgu międzynarodowym,

na których wyniki swoich prac badawczych prezentowałem łącznie w postaci 9 plakatów oraz 3 referatów ustnych. Po obronie pracy doktorskiej uczestniczyłem w 5 konferencjach naukowych, w tym 2 międzynarodowych, na których prezentowałem w formie plakatu lub referatu rezultaty dotychczasowej mojej pracy naukowej.

Warto podkreślić, że plakat: Kowalczewski P.Ł., Czerniak A., Smarzyński K., Jeżowski P., Kmiecik D., Baranowska H., Ostrowska-Ligęza E., Lesiecki M. A physicochemical and morphological study of the *Saccharomyces cerevisiae* cell based microcapsules with cold-pressed oils, prezentowany na International Conference "Agriculture for Life, Life for Agriculture" w Bukareszcie w Rumunia w roku 2022 otrzymał nagrodę "Best Poster Award" w kategorii posterów sekcji "Biotechnologia" (Załącznik 8: 9). Ponadto poster naukowy pt. „Aktywność przeciwzapalna suszonego soku ziemniaczanego w badaniach *in vitro* i *in vivo*” został wyróżniony przez Komisję na X Jubileuszowej Konferencji Naukowej z cyklu „Ziemniak spożywczy i przemysłowy oraz jego przetwarzanie” w roku 2018 (Załącznik 8: 10).

### 1.3 Udział w projektach badawczych

Aktualnie prowadzę, jako kierownik, projekt naukowy w ramach programu LIDER, finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju pt. „Opracowanie linii innowacyjnych pełnowartościowych zastępników produktów mięsnych na bazie surowców roślinnych z zastosowaniem dodatków funkcjonalnych” o łącznym budżecie 1 413 625,00 zł i okresie realizacji od 01.01.2021 do 31.12.2023. Jestem także Koordynatorem projektu prac przedwdrożeniowych 2 tematów w ramach projekt „Inkubator Innowacyjności 4.0”, współfinansowanego ze środków finansowych na naukę w ramach projektu pozakonkursowego „Wsparcie zarządzania badaniami naukowymi i komercjalizacja wyników prac B+R w jednostkach naukowych i przedsiębiorstwach”, realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020 (Działanie 4.4). Ponadto jestem Opiekunem Naukowym w realizowany w ramach Programu Ministerstwa Edukacji i Nauki projekcie pn. „Studenckie Koła Naukowe Tworzą Innowacje”.

Wcześniejsza aktywność grantowa to również kierowanie zadaniem badawczym w ramach programu MINIATURA finansowanego z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, a także Kierownik B+R z ramienia Uniwersytetu w ramach projektu z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Osi Priorytetowej 1 Regionalnego Programu Operacyjnego – Lubuskie 2020 przyznanego firmie Leks Sp. z o.o.

Działalem także jako Wykonawca w 4 innych projektach badawczych:

- Projekt współfinansowany z Funduszy Europejskich przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, w ramach działania 1.1 „Projekty B+R przedsiębiorstw”, Poddziałania 1.1.1 „Badania przemysłowe i prace rozwojowe realizowane przez przedsiębiorstwa” Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój.
- Projekt „Inkubator Innowacyjności +” jest współfinansowany ze środków finansowych na naukę w ramach projektu pozakonkursowego „Wsparcie zarządzania badaniami naukowymi i komercjalizacja wyników prac B+R w jednostkach naukowych i przedsiębiorstwach”, realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020 (Działanie 4.4).
- Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka, w priorytecie I "Badania i rozwój nowoczesnych technologii", działanie 1.1. "Wsparcie badań naukowych dla gospodarki opartej na wiedzy" i poddziałanie 1.1.2. "Strategiczne programy badań naukowych i prac rozwojowych". Tematyka ta została także wymieniona w Krajowym Programie Badań i Rozwoju: "Innowacyjne produkty żywnościowe o wysokiej wartości odżywczej i prozdrowotnej".
- Program Operacyjny Inteligentny Rozwój, 2.3. Proinnowacyjne usługi dla przedsiębiorstw, Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego, 2014 – 2020.

Szczegółowe dane realizowanych projektów badawczych, z podaniem pełnych tytułów, okresów realizacji, budżetów oraz beneficjentów, zawarto w **Załączniku 4**, pkt. 6.

#### **1.4 Otrzymane nagrody i wyróżnienia**

Moja aktywność naukowa i organizacyjna została dostrzeżona przez szereg gremiów. Bardzo ważne jest dla mnie otrzymanie w czerwcu 2020 roku **stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego dla wybitnych młodych naukowców**. Stypendium takie otrzymuje zazwyczaj 200 osób w całej Polsce. Poznawane jest ono za wymierne wysokie efekty działalności naukowej w postaci publikacji naukowych oraz zastosowań praktycznych wyników prowadzonych badań naukowych lub prac rozwojowych.

Miasto Poznań corocznie włącza młodych naukowców w prace na rzecz miasta oraz promuje osiągnięcia naukowe poznańskiego ośrodka akademickiego. W 2017 roku moja praca doktorska została wyróżniona w konkursie „Nagroda Miasta poznania za wyróżniająca się prace doktorską”. Nagrodę tę otrzymałem z rąk prezydenta Miasta Poznania.

Od 2020 r. corocznie otrzymuję nagrody JM Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego za osiągnięcia organizacyjne, oryginalne i twórcze osiągnięcia naukowe udokumentowane publikacjami naukowymi, dla najlepszego młodego naukowca w wiodącej dyscyplinie naukowej UPP czy oryginalne i twórcze osiągnięcia naukowe w 2019 roku we współautorstwie z pracownikami Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu. Ponadto w latach 2020 i 2022 otrzymałem premię motywacyjną z tytułu wysokiej jakości osiągnięć publikacyjnych oraz w 2022r. nagrodę Prorektora ds. Kadr i Rozwoju Uczelni w związku z wyjątkowo starannym przygotowaniem dokumentacji do ewaluacji działalności naukowej za lata 2017-2021 w dyscyplinie technologia żywności i żywienia. Szczegółowy wykaz nagród i wyróżnień znajduje się poniżej.

- a) **2020.06** – **Stypendium Ministra dla wybitnych młodych naukowców** (decyzja nr STYP/15/0606/E-308/2020) – Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego
- b) **2017.04** – **Wyróżnienie w Konkursie „Nagroda Miasta Poznania za wyróżniającą się pracę doktorską”** – Prezydent Miasta Poznania
- c) **2022.10** – Nagroda zespołowa II stopnia JM Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu za osiągnięcia organizacyjne, a w szczególności za pracę przy przygotowaniu strategii rozwoju Uniwersytetu
- d) **2022.11** – Nagroda zespołowa II stopnia JM Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu za oryginalne i twórcze osiągnięcia naukowe udokumentowane publikacjami naukowymi
- e) **2022.10** – Nagroda Prorektora ds. Kadr i Rozwoju Uczelni w związku z wyjątkowo starannym przygotowaniem dokumentacji do ewaluacji działalności naukowej za lata 2017-2021 w dyscyplinie *technologia żywności i żywienia*
- f) **2022.08** – Premia motywacyjna, przyznana przez JM Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, z tytułu wyróżniających osiągnięć naukowych.
- g) **2021.11** – Nagroda zespołowa II stopnia JM Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu za oryginalne i twórcze osiągnięcia naukowe udokumentowane publikacjami naukowymi
- h) **2021.11** – Nagroda zespołowa II stopnia JM Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu dla najlepszego młodego naukowca w wiodącej dyscyplinie naukowej UPP
- i) **2020.11** – Nagroda zespołowa II stopnia JM Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu za osiągnięcia naukowe udokumentowane publikacjami naukowymi

- j) **2020.05** – Nagroda zespołowa JM Rektora Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu za oryginalne i twórcze osiągnięcia naukowe w 2019 roku we współautorstwie z pracownikami Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu
- k) **2020.09** – Premia motywacyjna, przyznana przez Prorektora ds. Kadr i Rozwoju Uczelni, z tytułu wysokiej jakości osiągnięć publikacyjnych

Potwierdzenia otrzymania nagród i wyróżnień znajdują się **Załączniku 8** do wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego.

### **1.5 Ukończone kursy i szkolenia**

Warto także zaznaczyć, że w celu poszerzania swojej wiedzy i umiejętności w zakresie technik i nowoczesnych metod badawczych, a także praktycznym zastosowaniu uzyskanych wyników badań uczestniczyłem w licznych kursach i szkoleniach:

- a) **2022.11** – Szkolenie „Przepisów prawa żywnościowego w kontekście komercjalizacji wyników badań naukowych i wdrażania nowych produktów spożywczych na rynek” – IGI FOOD LAW Sp. z o. o
- b) **2021.12** – Szkolenie „Oświadczenia zdrowotne i żywieniowe – prawo i praktyka” – IGI FOOD CONSULTING sp. z o.o.
- c) **2021.12** – Szkolenie „Zezwolenia na nową żywność i oświadczenia zdrowotne” – IGI FOOD CONSULTING sp. z o.o.
- d) **2021.10** – Szkolenie „Tworzenie i komponowanie infografik” – MrCertified sp. z o.o.
- e) **2021.05** – Szkolenie „Chromatografia cieczowa sprzężona ze spektrometrią mas (LC-MS) wykorzystywana w analizie żywności – Politechnika Poznańska
- f) **2021.09** – Szkolenie „Wystąpienia publiczne, retoryka, erystyka, prowadzenie dyskusji i debat, nowoczesna dydaktyka” – Kuźnia Ekspertów
- g) **2019.12** – Szkolenie „Unijne i krajowe przepisy prawa żywnościowego w kontekście przygotowania projektów badawczo-rozwojowych” – IGI FOOD CONSULTING sp. z o.o.
- h) **2017.06** – Szkolenie „Strategie wdrożeniowe i strategie produktowe: scenariusze, macierze, ryzyka” – Centrum Innowacji i Transferu Technologii UPP
- i) **2017.04** – Szkolenie „Efektywna prezentacja dla biznesu: oferta, teaser inwestycyjny, prototyp i wizualizacja” – Centrum Innowacji i Transferu Technologii UPP
- j) **2017.02** – Szkolenie „Komercjalizacja wyników badań – ocena potencjału” – Centrum Innowacji i Transferu Technologii UPP

- k) **2016.05** – Szkolenie „Badania reologiczne skrobi i ich pochodnych” – Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego
- l) **2013.06** – Szkolenie „Zastosowanie skaningowej mikroskopii elektronowej i technik mikroskopii optycznej do analizy preparatów pochodzenia roślinnego” – Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności Polskiej Akademii Nauk w Olsztynie

Potwierdzenia odbycia kursów i szkoleń znajdują się **Załączniku 8** do wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego.