

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Akademicka 13
20-950 Lublin
za pośrednictwem:
Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Piotr Zarzycki
(imię i nazwisko wnioskodawcy)

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Katedra Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego
i Gastronomii, Zakład Inżynierii i Technologii Zbóż
ul. Skromna 8, 20-704 Lublin
(miejsce pracy/jednostka naukowa)

Wniosek
z dnia 12.06.2023

o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie **nauk rolniczych** w dyscyplinie¹ **technologia żywności i żywienia**

Określenie osiągnięcia naukowego będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego: cykl siedmiu prac, ujętych pod wspólnym tytułem:

„Ocena możliwości wykorzystania surowców ubocznych z tłoczenia nasion roślin oleistych do fortyfikacji produktów zbożowych”

Wnioskuje – na podstawie art. 221 ust. 10 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 zm.) – aby komisja habilitacyjna podejmowała uchwałę w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w głosowaniu **tajnym/jawnym***²

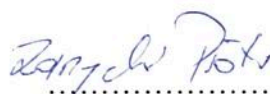
Zostałem poinformowany, że:

Administratorem w odniesieniu do danych osobowych pozyskanych w ramach postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego jest Przewodniczący Rady Doskonałości Naukowej z siedzibą w Warszawie (pl. Defilad 1, XXIV piętro, 00-901 Warszawa).

Kontakt za pośrednictwem e-mail: kancelaria@rdn.gov.pl, tel. 22 656 60 98 lub w siedzibie organu. Dane osobowe będą przetwarzane w oparciu o przesłankę wskazaną w art. 6 ust. 1 lit. c) Rozporządzenia UE 2016/679 z dnia z dnia 27 kwietnia 2016 r. w związku z art. 220 - 221 oraz art.

232 – 240 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, w celu przeprowadzenia postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego oraz realizacji praw i obowiązków oraz środków odwoławczych przewidzianych w tym postępowaniu.

Szczegółowa informacja na temat przetwarzania danych osobowych w postępowaniu dostępna jest na stronie www.rdn.gov.pl/klauzula-informacyjna-rodo.html



(podpis wnioskodawcy)



PODPIS ZAUFANY

PIOTR
ZARZYCKI

14.06.2023 12:13:23 [GMT+2]

Dokument podpisany elektronicznie
podpisem zaufanym

¹ Klasyfikacja dziedzin i dyscyplin wg. rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1818).

Załączniki:

1. Dane wnioskodawcy
2. Kopia dokumentu potwierdzającego posiadanie stopnia doktora
3. Autoreferat przedstawiający opis kariery zawodowej oraz istotnej aktywności naukowej
4. Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny technologia żywności i żywienia
5. Kopie publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe
6. Oświadczenia współautorów określające indywidualny wkład każdego z nich w powstanie prac stanowiących osiągnięcie naukowe
7. Zaświadczenie o odbyciu stażu naukowego
8. Kopie wybranych publikacji dotyczących pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

dr inż. Piotr Zarzycki

Zakład Inżynierii i Technologii Zbóż

Katedra Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego i Gastronomii

Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

AUTOREFERAT
PREZENTUJĄCY OPIS OSIĄGNIĘĆ I DOROBKU NAUKOWO-
BADAWCZEGO



Lublin, 2023

Spis treści

I. Imię i Nazwisko	3
II. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne	3
III. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych 4	
IV. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)	5
IV.1. Tytuł osiągnięcia naukowego	5
IV.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego	5
IV.3. Omówienie celu naukowego i uzyskanych wyników osiągnięcia	8
IV.3.1. Wprowadzenie	8
IV.3.2. Cel naukowy Osiągnięcia.....	16
IV.3.3. Omówienie wyników prac wskazanych jako szczególne osiągnięcie naukowe	16
IV.3.4. Podsumowanie	35
IV.3.5. Literatura.....	35
V. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczegółności zagranicznej.....	40
V.1. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.....	41
VI. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę	59
VI.1. Osiągnięcia dydaktyczne	59
VI.2. Działalność organizacyjna	60
VI.3. Działalność popularyzująca naukę	61
VII. Dodatkowe informacje dotyczące kariery zawodowej.....	62
VII.1. Udział w kursach i szkoleniach	62
VII.2. Otrzymane nagrody i wyróżnienia	65
VII.3. Tabelaryczne zestawienie osiągnięć w pracy naukowo-dydaktycznych i popularyzatorskich.....	65

I. Imię i Nazwisko

Piotr Zarzycki

II. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne

2005.06.21 **doktor nauk rolniczych** w zakresie technologii żywności i żywienia, specjalność technologia zbóż, Akademia Rolnicza w Lublinie (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie), Wydział Rolniczy (obecnie Wydział Agrobioinżynierii).

Tytuł rozprawy doktorskiej: „*Badania nad zastosowaniem razówki owsa nagonasiennego i oplewionego w technologii ekstruzji*” promotor prof. dr hab. inż. Zbigniew Rzedziecki

1999.06.22 **magister inżynier techniki rolno spożywczej**, Akademia Rolnicza w Lublinie (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie), Wydział Techniki Rolniczej (obecnie Wydział Inżynierii Produkcji). Jednolite stacjonarne studia magisterskie ukończone z wynikiem bardzo dobrym.

Tytuł pracy magisterskiej: „*Badanie nad wykorzystaniem okrywy nasiennej grochu do produkcji ekstrudatów spożywczych z wykorzystaniem ekstrudera 2S-9/5*” promotor prof. dr hab. inż. Zbigniew Rzedzicki

Inne posiadane dyplomy:

2000.08. 31 kwalifikacje pedagogiczne do pracy nauczycielskiej, Międzywydziałowe Studium Pedagogiczne, Akademia Rolnicza w Lublinie (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie)

III. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

2017.10.01 - obecnie **adiunkt**, Katedra Technologii Żywności Pochodzenia Roślinnego i Gastronomii (po restrukturyzacji Wydziału 1.X.2017 r; poprzednia nazwa: Katedra Technologii Surowców Pochodzenia Roślinnego i Gastronomii)

2005.10.01 – 2017.09.30 **adiunkt**, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii, Katedra Inżynierii i Technologii Zbóż

2000.05.01 – 2003.09.30 **asystent**, Akademia Rolnicza w Lublinie (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie), Wydział Rolniczy (obecnie Wydział Agrobiotechnologii), Zakład Projektowania Procesów Produkcyjnych

2000.01.01 – 2000.04.30 **asystent**, Akademia Rolnicza w Lublinie (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie), Wydział Techniki Rolniczej (obecnie Wydział Inżynierii Produkcji), Zakład Projektowania Procesów Produkcyjnych

1999.11.01 – 1999.12.31 **asystent**, Akademia Rolnicza w Lublinie (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie), Wydział Techniki Rolniczej (obecnie Wydział Inżynierii Produkcji), Katedra Inżynierii Procesowej

Staż zawodowe:

2017.12.01 – 2018.02.28 Staż badawczo-rozwojowy 3 miesięczny. Staż zrealizowany w przedsiębiorstwie P.P.H. Kosiek, Działki Suskowolskie 43A, 26-670 Pionki, w terminie od 01.12.2017 do 28.02.2018. Efektem stażu było „Opracowanie założeń technologicznych produkcji pieczywa gastronomicznego z dodatkami funkcjonalnymi”

IV. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)

Osiągnięciem naukowym, będącym podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego na podstawie art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) jest cykl siedmiu powiązanych tematycznie publikacji opublikowanych w latach 2020-2023.

IV.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

„Ocena możliwości wykorzystania surowców ubocznych z tłoczenia nasion roślin oleistych do fortyfikacji produktów zbożowych”

IV.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

I.2.1. Piotr Zarzycki, Anna Wirkijowska, Agnieszka Nawrocka, Katarzyna Kozłowicz, Marta Krajewska, Konrad Kłosok, Ada Krawęcka. Effect of Moldavian dragonhead seed residue on the baking properties of wheat flour and bread quality. Lebensm. - Wiss. Technol. 2022 Vol. 155 112967, DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112967

IF₂₀₂₂ = 6,056

MEiN₂₀₂₂ = 100

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował autorstwo koncepcji badań i nadzorowanie prowadzonych badań. Współudział w wykonaniu części badawczej w zakresie: oceny jakości surowców, właściwości farinograficznych, wypieku laboratoryjnego, oceny jakości pieczywa (wydajność, upiek, strata piecowa, porowatość, objętość), oznaczenia barwy i składu chemicznego (frakcje błonnika pokarmowego, wilgotność, popiół). Analiza statystyczna wyników i ich interpretacja. Wiodący udział w przygotowaniu manuskryptu oraz korekcie (po recenzjach).

I.2.2. Piotr Zarzycki, Dorota Teterycz, Anna Wirkijowska, Katarzyna Kozłowicz, Dariusz Mirosław Stasiak. Use of moldavian dragonhead seeds residue for pasta production. Lebensm. - Wiss. Technol. 2021 Vol. 143 Article number 111099, DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111099

IF₂₀₂₁ = 6,056

MEiN₂₀₂₁ = 100

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował autorstwo koncepcji badań i nadzorowanie prowadzonych badań. Dobór parametrów wytłaczania i suszenia makaronu oraz przeprowadzenie produkcji w skali półtechnicznej. Współudział w wykonaniu części badawczej w zakresie: oceny jakości surowców, oceny jakości kulinarnej makaronu, barwy oraz składu chemicznego (frakcje błonnika

pokarmowego, popiół, wilgotność). Analiza statystyczna wyników i ich interpretacja. Wiodący udział w przygotowaniu manuskryptu oraz korekcie (po recenzjach).

I.2.3. Piotr Zarzycki, Emilia Sykut-Domańska, Aldona Sobota, Dorota Teterycz, Ada Krawęcka, Agata Blicharz-Kania, Dariusz Andrejko, Beata Zdybel. Flaxseed enriched pasta—chemical composition and cooking quality. Foods 2020 Vol. 9(4) Article no. 404, DOI: 10.3390/foods9040404

IF₂₀₂₀ = 4,350

MEiN₂₀₂₀ = 100

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował autorstwo koncepcji badań i nadzorowanie prowadzonych badań. Dobór parametrów wylączania i suszenia makaronu oraz przeprowadzenie produkcji w skali półtechnicznej. Współudział w wykonaniu części badawczej w zakresie: oceny jakości surowców, jakości kulinarnej makaronu, barwy oraz oznaczeń składu chemicznego (frakcje błonnika pokarmowego, wilgotność, popiół). Analiza statystyczna wyników i ich interpretacja. Wiodący udział w przygotowaniu manuskryptu oraz korekcie (po recenzjach).

I.2.4. Anna Wirkijowska, Piotr Zarzycki, Aldona Sobota, Agnieszka Nawrocka, Agata Blicharz-Kania, Dariusz Andrejko. The possibility of using by-products from the flaxseed industry for functional bread production. Lebensm. - Wiss. Technol. 2020 Vol. 118 Article 108860, DOI: 10.1016/j.lwt.2019.108860

IF₂₀₂₀ = 4,952

MEiN₂₀₂₀ = 100

*Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował autorstwo koncepcji badań w zakresie wykorzystania produktów ubocznych z tłoczenia siemienia lnianego. Współudział w tworzeniu planu doświadczeń i nadzorowaniu doświadczeń. Współudział w wykonaniu części badawczej w zakresie oceny jakości surowców, oceny właściwości farinograficznych mieszanek, wypieku laboratoryjnego, i oceny jakości otrzymanego pieczywa. Analiza statystyczna i interpretacja wyników (opracowanie graficzne wyników). Opracowanie części wyników związanych z surowcami ubocznymi. Współudział w przygotowaniu i korekcie manuskryptu (po recenzjach). **Autor korespondencyjny.***

I.2.5. Emilia Sykut-Domańska, Piotr Zarzycki, Aldona Sobota, Dorota Teterycz, Anna Wirkijowska, Agata Blicharz-Kania, Dariusz Andrejko, Jarosław Mazurkiewicz. The potential use of by-products from coconut industry for production of pasta. Food Process. Preserv. 2020 Vol. 44 Issue 7 Article number e 14490 s. 1-9, DOI: 10.1111/jfpp.14490

IF₂₀₂₀ = 2,190

MEiN₂₀₂₀ = 40

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował autorstwo koncepcji badań związanych z wykorzystaniem produktów ubocznych otrzymanych z wylączania oleju z kopry. Współautorstwo w tworzeniu planu doświadczeń i nadzorowaniu ich przebiegu. Dobór parametrów wylączania i suszenia makaronu oraz przeprowadzenie produkcji w skali półtechnicznej. Współudział w części

badawczej związanej z oceną jakości surowców, jakości kulinarnej makaronu, barwy oraz składu chemicznego (frakcje błonnika pokarmowego, wilgotność, popiół). Analiza statystyczna i interpretacja wyników (opracowanie graficzne wyników). Znaczący udział w przygotowaniu manuskryptu oraz korekcie artykułu (po recenzjach). **Autor korespondencyjny.**

I.2.6. Anna Wirkijowska, Aldona Sobota, **Piotr Zarzycki**, Agnieszka Nawrocka, Agata Blicharz-Kania, Dariusz Andrejko. Chemical, technological, and sensory evaluation of the suitability of coconut by-products in white rolls. J. Sci. Food Agric. 2022 Volume 102, Issue 8 s. 3370-3378, DOI: 10.1002/jsfa.11684

IF₂₀₂₂ = 4,125

MEiN₂₀₂₂ = 100

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował współautorstwo koncepcji badań związanych z wykorzystaniem produktów ubocznych (wytłoki kokosowe). Udział w planowaniu i przeprowadzeniu doświadczeń. Ocena właściwości reologicznych ciasta, współudział w przeprowadzeniu wypieku laboratoryjnego i ocenie jakości produktu. Analiza statystyczna i interpretacja otrzymanych wyników (graficzna prezentacja wyników); współudział w przygotowaniu manuskryptu, analiza danych literaturowych.

I.2.7. Agnieszka Nawrocka, **Piotr Zarzycki**, Konrad Kłosok, Renata Welc, Anna Wirkijowska, Dorota Teterycz. Effect of dietary fibre waste originating from food production on the gluten structure in common wheat dough. Int. Agrophys. 2023 Vol. 37 Iss. 1 s. 101-109, DOI: 10.31545/intagr/159236

IF₂₀₂₃ = 1,627

MEiN₂₀₂₃ = 100

Mój wkład w powstanie tej pracy obejmował współautorstwo koncepcji badań, analizy widm FT-IF, pomiar widm FT-IR, przygotowanie widm FT-IR do analiz, przygotowanie manuskryptu do publikacji.

Sumaryczny Impact Factor (IF) dla siedmiu publikacji naukowych, stanowiących podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego wynosi IF 29,356. Suma punktów według, aktualnego na dzień składania wniosku, wykazu MEiN wynosi 640 pkt. Kopie prac wchodzących w skład jednotematycznego cyklu publikacji stanowiącego osiągnięcie naukowe wraz z oświadczeniami współautorów określających ich wkład w powstanie każdej publikacji stanowią odpowiednio załącznik nr 5 i 6.

Powyższym publikacjom przypisano oznaczenia porządkowe **I.2.1 – I.2.7** zgodne z załączonym wykazem osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny technologia żywności i żywienia (Załącznik 4). Wprowadzone symbole stanowią odnośniki do publikacji z cyklu przy powołaniach literaturowych w dalszej części autoreferatu.

IV.3. Omówienie celu naukowego i uzyskanych wyników osiągnięcia

IV.3.1. Wprowadzenie

Jednym z ważniejszych wyzwań, przed którym obecnie stoi przemysł rolno-spożywczy, jest eliminacja, ograniczenie lub ponowne wykorzystanie znacznych ilości odpadów i produktów ubocznych, generowanych na różnych etapach procesu produkcji żywności (Xue i in., 2017; Caldeira i in., 2017; Corrado i in., 2019). Działania te wpisują się w plan Unii Europejskiej (UE) na rzecz gospodarki o obiegu zamkniętym, którego celem jest ograniczenie marnotrawstwa żywności, podniesienie wartości i żywotności produktów, a także efektywniejsze wykorzystanie materiałów i zasobów w gospodarce (Faustino i in., 2019). Dobrym wskaźnikiem oceny efektywności wykorzystania zasobów naturalnych może być ilość, zakres oraz sposób wykorzystania produktów ubocznych i odpadów powstających w procesie produkcji żywności (Caldeira i in., 2019). W tym kontekście, coraz więcej uwagi poświęca się szerszemu wykorzystaniu produktów ubocznych powstałych w trakcie przetwarzania żywności (Ancuța i Sonia, 2020; Jimenez-Moreno i in., 2020; Machado i in., 2021).

Szacuje się, że w przypadku przetwarzania żywności około 30-38% całkowitej masy przetwarzanych surowców kończy jako odpady lub produkty uboczne (Helkar i in., 2016; Corrado i in., 2019). Wg danych Food Agriculture Organization (FAO) w przetwórstwie nasion oleistych jest to 20%, mięsa i nabiału 20%, zbóż 30%, ryb 35% oraz owoców i warzyw 40-50%. Biorąc pod uwagę całkowitą wielkość produkcji żywności na świecie, ilość marnowanej żywności wynosi ok. 1,3 miliarda ton (Ancuța i Sonia, 2020). Do produktów ubocznych, które powstają w znacznych ilościach i jednocześnie niosą w sobie znaczny potencjał do wykorzystania, można zaliczyć: łuski, skórki, łodygi, nasiona, pulpy oraz makuchy (Helkar i in., 2016; Corrado i in., 2019; Ancuța i Sonia, 2020). Wykorzystanie produktów ubocznych jest interesujące ze względu na ich potencjalne właściwości funkcjonalne, technologiczne, odżywcze oraz korzyści zdrowotne (Jimenez-Moreno i in., 2020; Machado i in., 2021). Ze względu na relatywnie niską cenę, obfitość występowania i łatwy dostęp, produkty uboczne posiadają także duży potencjał rynkowy, a ich wykorzystanie może przynieść korzyści całemu systemowi produkcji żywności (Jimenez-Moreno i in., 2020; Machado i in., 2021; Ruiz Rodriguez i in., 2021; Quero i in., 2021).

Do produktów ubocznych o znacznym potencjale można zaliczyć makuchy, będące pozostałością po procesie tłoczenia nasion roślin oleistych, zarówno tych tradycyjnych jak i mniej znanych. Niestety, w znacznej części makuchy traktowane są jako odpad, a ich wykorzystanie często ogranicza się do roli komponentu paszowego, opału lub nawozu do użyźniania pól uprawnych (Gutiérrez i in., 2010; Ancuța i Sonia, 2020; Nevara i in., 2022). Najpopularniejsze rośliny oleiste to m.in. słonecznik, rzepak, kokos, soja, bawełna, kukurydza, orzeszki ziemne i oliwki. Spośród nich, rzepak i słonecznik są uprawiane głównie ze względu na pozyskiwanie oleju. Według Departamentu Rolnictwa Stanów Zjednoczonych (USDA), światowa produkcja nasion oleistych w 2018/2019 wyniosła 600,47 milionów ton, co pośrednio wskazuje na dużą ilość potencjalnie dostępnych produktów ubocznych.

Dwie powszechnie stosowane metody otrzymywania oleju to proces mechaniczny oparty na jego tłoczeniu za pomocą prasy w niskich (50-60°C) lub wysokich temperaturach (do 100°C) oraz ekstrakcja oleju za pomocą rozpuszczalnika. W zależności od zastosowanej metody, powstałe produkty uboczne różnią się składem chemicznym. Dla przykładu, makuchy po tłoczeniu na zimno charakteryzują się niższą zawartością białka w porównaniu do tłoczenia na gorąco, a ogólnie makuchy uzyskane po tłoczeniu mają wyższą zawartość tłuszczu w porównaniu do pozostałości uzyskanych w wyniku ekstrakcji tłuszczu za pomocą rozpuszczalników (Ancuța i Sonia, 2020).

Makuchy i odtłuszczona mąka uzyskana po ich rozdrobnieniu są wartościowymi surowcami bogatymi w błonnik, białko, związki bioaktywne, witaminy i składniki mineralne, o jednocześnie obniżonej zawartości tłuszczu w porównaniu z samymi nasionami (Fernández-López i in., 2018; Prakash i in., 2018; Ancuța i Sonia, 2020). Szczególnie wysoka zawartość błonnika pokarmowego, ze względu na jego istotną rolę w prewencji niezakaźnych chorób cywilizacyjnych, czyni makuchy cennymi komponentami w produkcji żywności (Zeng i in., 2010; Kumar i in., 2020). Dodatkowo należy podkreślić, że proces tłoczenia nie zmienia stosunku poszczególnych kwasów tłuszczowych i w makuchu występują one w takich samych proporcjach jak w oleju z nasion (Ewerlin i in., 2018). Według Hanczakowskiego i in. (2009), tłoczenie na zimno nie wpływa negatywnie na zmiany wartości odżywczej białka w porównaniu do surowca oryginalnego. Dodatkową zaletą makuchów jest to, że często można je wykorzystać po niewielkiej obróbce, obejmującej suszenie i mielenie, bez konieczności stosowania skomplikowanych i kosztownych operacji technologicznych (Prakash i in., 2018). Powyższe cechy sprawiły, że w ostatnich latach coraz większą uwagę zwraca się na wykorzystanie makuchów do produkcji żywności o zwiększonej wartości odżywczej. Trend ten odnosi się zarówno do makuchów otrzymanych z popularnych roślin oleistych, jak i tych mniej znanych (Fernández-López i in., 2018; Prakash i in., 2018; Ancuța i Sonia, 2020). Dostępne piśmiennictwo dotyczące możliwości wykorzystania tego typu produktów ubocznych do produkcji żywności funkcjonalnej z pewnością nie jest kompletne i nie wyczerpuje tematu. **Przykładem makuchów, których potencjał nie został jeszcze w pełni dostrzeżony i wykorzystany, są makuchy otrzymane z tłoczenia na zimno oleju z nasion pszczelnika moldawskiego (MPM), siemienia lnianego (ML) oraz kopry z orzechów kokosowych (MKO). Przeprowadzona analiza dostępnych danych literaturowych wykazała ograniczoną ilość informacji dotyczących wykorzystania wymienionych produktów ubocznych w kontekście podniesienia wartości żywieniowej produktów zbożowych jakimi są makaron i pieczywo.**

Pszczelnik moldawski (PM) (*Dracocephalum moldavica* L., *Lamiaceae*) jest dobrze znaną rośliną zielarską należącą do rodziny *Lamiaceae* (*Labiatae*), tradycyjnie stosowaną w medycynie ludowej jako środek przeciwbólowy, przeciwzapalny, przeciwdrgawkowy, gojący rany i uspokajający (Nikitina i in., 2008). Głównymi częściami tej rośliny używanymi do celów medycznych są liście i kwiaty; przydatne w bólach głowy i zębów, omdleniach, tachykardii, chorobach nieżytowych, nerwobólach, chorobach żołądka i wątroby, sercowo-naczyniowych i wieńcowych (Dastmalchi i in., 2007; Nikitina i in., 2008; Yang in., 2014). Z kolei nasiona pszczelnika moldawskiego uznawane są za

dobrze źródło białka, błonnika i lipidów (Dziki i in., 2013a; Yang i in., 2014). Białko zawarte w nasionach (stanowiące około 21%) ma korzystny skład aminokwasowy i wysoką wartość biologiczną (Hanczakowski i in., 2009). Według Domokos i in. (1994) nasiona pszczelnika zawierają także znaczną ilość tłuszczu (18-29%), bogatego w niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe (~90%), głównie: linolenowy (61,0%), linolowy (20,0%), oleinowy (8,5%), palmitynowy (6,5%) i stearynowy (5,0%). Powyższe właściwości pozwalają na zaklasyfikowanie PM jako surowca nadającego się do zastosowania w produkcji żywności funkcjonalnej. Obecnie znane są przykłady wykorzystania liści pszczelnika do produkcji herbaty, a w formie rozdrobnionej jako dodatku poprawiającego wartość żywieniową chleba i ekspandowanych chrupków kukurydzianych (Yang i in., 2014; Wójtowicz i in., 2017; Dziki i in., 2019). Innym przykładem wykorzystania tej rośliny jest zastosowanie rozdrobnionych całych nasion oraz pozostałości po tłoczeniu oleju w przekąskach typu ready-to-eat (Oniszczyk i in., 2017; Oniszczyk i in., 2019). Znane jest także wykorzystanie wodnych destylatów z tej rośliny do otrzymywania napojów (Dmitruk i in., 2018).

Skład chemiczny nasion PM, a szczególnie frakcji tłuszczowej, czyni je pożądanym surowcem do ekstrakcji cennego oleju. Jednocześnie wysoka zawartość oleju umożliwia jego pozyskiwanie metodą mechaniczną (Horn i in., 2014). Produktem ubocznym tego procesu jest makuch, który można wykorzystać do otrzymania odtłuszczonej mąki. **W przeprowadzonych badaniach (prace I.2.2 i I.2.1. wchodzące w skład osiągnięcia) odnotowano zawartość tłuszczu w makuchach z pszczelnika moldawskiego (MPM) na poziomie 5,41 % s.m. Niewątpliwą zaletą tych makuchów jest korzystny profil kwasów tłuszczowych, w którym można wyróżnić kwas linolenowy (62,21 ± 0,81%), linolowy (20,39 ± 0,67%), oleinowy (9,86 ± 0,21%), palmitynowy (5,83 ± 0,84%) oraz stearynowy (2,05 ± 0,58%) (I.2.2).** Uzyskane wyniki wykazały, że profil kwasów tłuszczowych w makuchach był zbliżony do profilu kwasów w całych nasionach (Domokos i in., 1994). Warto zwrócić uwagę, że w ciągu ostatnich dziesięcioleci zachodnia dieta uległa znacznym zmianom, co doprowadziło do wysokiego stosunku kwasów tłuszczowych omega-6 do omega-3 w diecie, dochodzącego nawet do 15-20:1 (Husted i Bouzinova, 2016). Wiele badań wskazuje, że odpowiednie proporcje kwasów n-6:n-3 powinny mieścić się w przedziale od 1:1 do 4:1 (Renaud, 2002; Husted i Bouzinova, 2016). Wiele problemów zdrowotnych zależy od właściwej równowagi pomiędzy zawartością poszczególnych kwasów tłuszczowych (Husted i Bouzinova, 2016; Nindrea i in., 2019). Z tego względu MPM może być bardzo cennym dodatkiem do żywności. **Ponadto, MPM charakteryzuje się wysoką zawartością błonnika pokarmowego całkowitego (47,24-48,1% s.m.), frakcji rozpuszczalnej (15,26-16,51% s.m.), frakcji nierozpuszczalnej (30,73-32,84% s.m.), elementów mineralnych (5,71-5,76% s.m.) oraz białka (23,47-23,97-% s.m.), przy jednocześnie niższej zawartości węglowodanów (16,81-18,1% s.m.) w porównaniu z semoliną czy mąką chlebową (dane opublikowane w pracach I.2.1 oraz I.2.2).** Wyniki przeprowadzonej analizy chemicznej wykazały, że wprowadzenie tego surowca może pozytywnie wpłynąć na wartość odżywczą makaronu i chleba przy jednoczesnym zmniejszeniu kaloryczności otrzymywanych produktów. **Przeprowadzona analiza obecnego stanu wiedzy**

wykazała ograniczoną ilość informacji dotyczących możliwości wykorzystania makuchów z nasion pszczelnika moldawskiego w produkcji żywności. W większości dostępnych prac zastosowanie tej rośliny jest ograniczone i skupia się głównie na zielonych częściach rośliny oraz jej ekstraktach. Nie znaleziono prac, w których makuchy z nasion pszczelnika moldawskiego były wykorzystane do wzbogacania makaronu i chleba.

Kolejnym niezwykle interesującym produktem ubocznym jest makuch lniany (ML) otrzymywany podczas tłoczenia oleju z siemienia lnianego. W ostatnich latach siemię lniane (*Linum usitatissimum*) stało się ważnym i popularnym składnikiem w produkcji żywności funkcjonalnej (Roozegar i in., 2015; Sęczyk i in., 2017; Kaur i in., 2019), dzięki swojemu wartościowemu składowi chemicznemu i potwierdzonym właściwościom prozdrowotnym (Giada, 2010; Singh i in., 2011; Mantri i in., 2012; Carraro i in., 2012). Zawartość tłuszczu w siemieniu lnianym wynosi 44 % s.m., białka 22 % s.m., błonnika pokarmowego 30 % s.m., oraz popiołu 3,7 % s.m. (Singh i in., 2011). Siemię lniane jest bogatym źródłem kwasu α -linolenowego (ALA), który stanowi ponad połowę całkowitego tłuszczu zawartego w siemieniu lnianym (Imran i in., 2015). Frakcja błonnika nierozpuszczalnego składa się z celulozy i ligniny, a frakcje błonnika rozpuszczalnego to głównie gumy i śluzy, natomiast stosunek zawartości błonnika rozpuszczalnego do nierozpuszczalnego w nasionach lnu waha się od 20:80 do 40:60 (Singh i in., 2011). Wraz z błonnikiem występuje też wiele związków biologicznie aktywnych, w tym lignany, których główną frakcją w nasionach lnu jest diglukozyd secoizolarycyrezinolu (Hosseinian i in., 2006; Coskuner i Karababa, 2007). Badania *in vivo* na szczurach wykazały, że rozpuszczalny błonnik pokarmowy z lnu ma działanie przeciwrzodowe i znacznie zmniejsza liczbę wrzodów żołądka. Jednakże, ten efekt obserwowano przy stosunkowo dużej dawce, odpowiadającej spożyciu 10 g siemienia lnianego na 1 kg masy ciała (Dugani i in., 2009). W tym kontekście niezwykle praktyczne może być zastosowanie makuchów o skoncentrowanej zawartości błonnika. Błonnik z siemienia lnianego zmniejsza również ryzyko otyłości, cukrzycy, chorób serca oraz zapobiega rakowi jelita grubego (Oomah, 2001).

Makuch lniany (ML) uzyskiwany po tłoczeniu oleju na zimno zachowuje większość składników odżywczych obecnych w siemieniu lnianym i może być wykorzystywany do produkcji żywności funkcjonalnej. Jednakże jego potencjał w przemyśle spożywczym nie został jeszcze w pełni wykorzystany (Warrand i in., 2005; Zhao i in., 2013). Najczęściej ma on zastosowanie w produkcji pasz lub jako nawóz (Wanasundara i Shahidi, 2003; Gutiérrez i in., 2010). Ze względu na wysoką zawartość błonnika pokarmowego (35-45% s.m.), ML ma ogromny potencjał w poprawie wartości odżywczej produktów spożywczych (Rubilar i in., 2010; Bekhit i in., 2013). Proces tłoczenia oleju z siemienia lnianego prowadzi do zwiększenia zawartości błonnika i białka w ML, a co ważniejsze, pozostawia w nich skoncentrowaną ilość związków przeciwutleniających, w tym lignanów, które nie są ekstrahowane razem z olejem lnianym. Lignany te wykazują potencjalne działanie ochronne przed chorobami, takimi jak rak, cukrzyca i choroby układu krążenia (Regitz-Zagrosek i in., 2007; Zhang i in., 2008). Wyniki badań opublikowane przez Yu i in. (2020) wykazały, że ekspandowany makuch lniany

może efektywnie regulować metabolizm glukozy i lipidów we krwi u szczurów będących na diecie wysokotłuszczowej i wysokocukrowej. Natomiast badania przeprowadzone na ludziach wykazały, że wprowadzenie do diety częściowo odtłuszczonego makuchu lnianego może obniżyć całkowity poziom cholesterolu o 4,6% oraz frakcji cholesterolu LDL o 7,6% (Jenkins i in., 1999). W badaniach przeprowadzonych przez Zhao i in. (2023) porównano wpływ frakcji rozpuszczalnego (SDF) i nierozpuszczalnego (IDF) błonnika otrzymanego z makuchów lnianych na zmniejszenie otyłości i tkanki tłuszczowej u myszy będących na diecie wysokotłuszczowej. Wyniki badań sugerują, że zarówno SDF jak i IDF mogą wpływać na redukcję otyłości poprzez zwiększenie podstawowego metabolizmu, regulację flory jelitowej i promowanie produkcji SCFA (krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych). Jednak frakcje błonnika wywierają zróżnicowany wpływ na poszczególne aspekty. SDF wykazywał większy wpływ na redukcję masy ciała, regulację metabolizmu lipidów i poprawę bilansu energetycznego, podczas gdy IDF był bardziej skuteczny w ograniczeniu koncentracji lipidów w wątrobie i promowaniu produkcji SCFA.

Przeprowadzone badania składu chemicznego ML (opublikowane w pracach I.2.3 oraz I.2.4, wchodzących w skład osiągnięcia) wykazały, że **charakteryzuje się on niższą zawartością błonnika pokarmowego w porównaniu do MPM. Zarówno jeśli chodzi o zawartość błonnika pokarmowego całkowitego (32,45-32,78% s.m.), frakcji rozpuszczalnej (14,48-14,95% s.m.) jak i frakcji nierozpuszczalnej (17,83-17,97% s.m.). Jednocześnie ML odznacza się wyższą zawartością tłuszczu (11,93-12,41% s.m.), elementów mineralnych (6,07-6,08% s.m.) oraz białka (34,97-35,07% s.m.) w porównaniu do MPM.** Podobnie jak w przypadku MPM, wprowadzenie do receptury makaronu i chleba makuchu lnianego, stwarza możliwość uzyskania produktu zbożowego o zwiększonej wartości odżywczej przy jednocześnie niższej kaloryczności.

Ostatnim z analizowanych produktów ubocznych o dużym potencjale były makuchy uzyskane po tłoczeniu oleju kokosowego z kopry (MKO). Należą one, razem z pozostałościami po ekstrakcji mleczka kokosowego (PKM), do jednych z głównych produktów ubocznych przemysłu kokosowego. **Możliwość wykorzystania produktów ubocznych przemysłu kokosowego w technologii żywności nie jest jeszcze w pełni poznana, ze względu na fakt, że są to stosunkowo nowo rozpoznane surowce. Ilość dostępnych danych literaturowych, podejmujących problem zagospodarowania wycieków kokosowych jest nadal ograniczona** (Yalegama i in., 2013; Manikantan i in., 2015). Surowce te często są wykorzystywane jako pasza dla zwierząt (Manikantan i in., 2015). **Większość opublikowanych badań dotyczy możliwości wykorzystania mąki kokosowej otrzymanej z PKM, brakuje natomiast opracowań dotyczących właściwości MKO (w tym otrzymanej z nich mąki) oraz ich potencjalnego zastosowania w produkcji żywności zbożowej (makaron i pieczywo) o zwiększonej zawartości błonnika.**

Skład chemiczny produktów ubocznych przemysłu kokosowego (MKO i PKM) może się znacznie różnić ze względu na różnice w retencji poszczególnych składników wynikające z metody ekstrakcji. Podczas wytwarzania mleczka kokosowego prawie wszystkie składniki rozpuszczalne w

wodzie są ekstrahowane do wody, pozostawiając w wytlókach (PKM) głównie substancje nierozpuszczalne w wodzie. Tłuszcz nie jest ekstrahowany i pozostaje wraz ze składnikami ścian komórkowych w wytlókach, co prowadzi do uzyskania produktu ubocznego o wysokiej zawartości tłuszczu. Z drugiej strony, proces mechanicznego tłoczenia oleju (olej typu virgin) usuwa około 90% tłuszczu (z kopry lub wiórków kokosa) już podczas pierwszego tłoczenia, pozostawiając pozostałe składniki w makuchach (MKO). To skutkuje uzyskaniem produktu o niższej zawartości tłuszczu w porównaniu do PKM. Ponieważ węglowodany są nierozpuszczalne w oleju, prawie wszystkie pozostają w MKO, co czyni ten produkt znacznie lepszym źródłem węglowodanów w porównaniu do PKM. Rozpuszczalne w wodzie minerały, białka i cukry przechodzą do mleczka kokosowego w trakcie procesu ekstrakcji, co prowadzi do znacznego zmniejszenia zawartości tych składników w PKM w porównaniu do MKO. Ze względu na niską zawartość tłuszczu w MKO, jest on także produktem charakteryzującym się wyższą stabilnością oksydacyjną, w porównaniu do PKM. Badania przeprowadzone przez Yalegama i in. (2013) wykazały, że PKM odznacza się znacznie wyższą zawartością tłuszczu (42,6%) i włókna surowego (23,2%) w porównaniu do MKO, gdzie zawartość tych składników wynosi odpowiednio 9,2% oraz 13,0%. Jednocześnie PKM wykazuje niższą zawartość białka (4,2%), cukru (7,1%), popiołu (1,2%) i węglowodanów (19,2%); dla porównania w MKO wartości te wynoszą odpowiednio 12,6% (białko), 13,7% (cukier), 8,2% (popiół) oraz 39,1% (węglowodany). Dodatkowo, białko zawarte w produktach ubocznych z kokosa jest bogate w lizynę, która jest aminokwasem ograniczającym wartość odżywczą białka pszenicy (Gunathilake i in., 2009). Dlatego włączenie tych produktów ubocznych jako źródła błonnika pokarmowego i wartościowego białka może poprawić wartość odżywczą produktów otrzymywanych na bazie mąki pszennej.

Przeprowadzone badania wykazały, że MKO charakteryzuje się najwyższą spośród analizowanych makuchów zawartością błonnika całkowitego (51,96-55,76% s.m.) i jego frakcji nierozpuszczalnej (47,59-52,39% s.m.). Ma jednak, w porównaniu do MPM i ML znacznie niższą zawartość frakcji rozpuszczalnej (3,37-4,37% s.m.). Ponadto MKO charakteryzuje się znacznie wyższą, w porównaniu do MDF oraz ML, zawartością tłuszczu (15,9-16,1% s.m.) i jednocześnie mniejszą zawartością białka (17,12-18,97% s.m.) oraz elementów mineralnych (3,85-4,34% s.m.) (dane opublikowane w ramach prac I.2.6, I.2.3 i I.2.5 wchodzących w skład osiągnięcia). Podobnie jak dla dwóch pozostałych makuchów skład chemiczny MKO wskazuje, że jego dodatek stwarza możliwość uzyskania produktu zbożowego (makaron i chleb) o zwiększonej wartości odżywczej w odniesieniu do wyrobów tradycyjnych.

Wcześniejsze badania wykazały m.in. możliwość dodawania mąki kokosowej (otrzymanej z PKM) do wypieków, przekąsek i produktów gotowanych na parze w ilości do 25%. Taki udział wysokobłonnikowego surowca pozwalał uzyskać produkty o akceptowalnej jakości sensorycznej (Bayalan, 2000). W badaniach Sujirtha i Mahendran (2015) dodatek odtłuszczonej mąki kokosowej do biszkoptów w ilości 40% pozwalał na uzyskanie produktu o akceptowalnych cechach organoleptycznych przy jednoczesnym zwiększeniu zawartości białka i błonnika. Wyniki badań

Gunathilake i in. (2009) wykazały możliwość zastąpienia do 20% mąki pszennej w przypadku wypieku chleba. Większy dodatek mąki kokosowej negatywnie wpłynął na wygląd, teksturę i ogólną akceptowalność produktu. Dodanie produktów ubocznych pochodzących z przetwórstwa kokosa, bogatych w błonnik pokarmowy, do tradycyjnych produktów spożywczych pozwala uzyskać żywność o niskim indeksie glikemicznym (Trinidad i in., 2006). W trakcie fermentacji błonnika kokosowego powstają też duże ilości krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych, z przewagą kwasu masłowego (Trinidad i in., 2006; Raghavarao i in., 2008). Neutralne włókno detergentowe otrzymane z kokosa ma zdolność obniżania stężenia cholesterolu całkowitego, cholesterolu LDL i trójglicerydów (Sindurani i Rajamohan, 1998). Wykazano także, że spożywanie żywności wzbogaconej wysokobłonnikowymi produktami ubocznymi z kokosa przyczynia się do zwiększenia objętości masy kałowej (Arancon, 1999).

Ze względu na powszechne spożycie na całym świecie, produkty zbożowe takie jak wspomniane wcześniej pieczywo czy makaron stanowią doskonałą matrycę do wkomponowywania składników o wysokiej wartości odżywczej, w tym produktów ubocznych z przemysłu spożywczego (Borneo i Aguirre, 2008; Petitot i in., 2010; Almeida i in., 2013; Sobota i in., 2015; Badjona i in., 2019; Gunathilake i in., 2020). Obserwowany w ostatnich latach dynamiczny wzrost zainteresowania konsumentów zdrową dietą, w tym prozdrowotnymi właściwościami żywności, oraz zwiększona świadomość ekologiczna z jednej strony wymuszają ciągłe opracowywanie nowych i doskonalenie już istniejących produktów spożywczych, a z drugiej strony, dzięki akceptacji konsumentów, stwarzają możliwość wkomponowania produktów ubocznych do znanych produktów spożywczych w celu podniesienia ich wartości odżywczej.

Wśród powszechnie dostępnych produktów piekarniczych, ze względu na stosunkowo wysokie spożycie, za dobrą "matrycę żywieniową", mogącą być nośnikiem m.in. błonnika pokarmowego można uznać chleb i bułki (Rethinam, 2018). Według danych (GUS) Polacy w 2021 r. spożywali 5,16 kg pieczywa miesięcznie, podczas gdy w 2004 r. było to 8,68 kg. Przyczyn ograniczenia spożycia upatruje się m.in. w zwiększonej dbałości o stan zdrowia, popularności diet eliminacyjnych oraz chęci ograniczenia ilości spożywanych kalorii (Stanisławska i Kurzawa, 2016). Podniesienie wartości odżywczej pieczywa mogłoby przyczynić się do zmiany tego trendu. Należy zauważyć, że typowe "białe" pieczywo, otrzymane z mąki pszennej jasnej, charakteryzuje się niską zawartością błonnika pokarmowego (Trinidad i in., 2006; Almeida i in., 2013). Dla przykładu, bułki z mąki jasnej (dane US Department of Agriculture), charakteryzują się zawartością błonnika na poziomie 1,8-2,3 g/100 g, białka 9,3-9,9 g/100 g, tłuszczu 3,49-4,3 g/100 g, węglowodanów 45,5-52,73 g/100 g oraz kalorycznością wynoszącą 255-293 kcal/100 g.

Według International Pasta Organization (IPO, 2018) największe spożycie makaronu na mieszkańca/rok występuje kolejno we Włoszech (23,5 kg), Tunezji (17 kg), Wenezueli (12 kg), Grecji (11,1 kg) oraz Chile (9,4 kg). W Polsce ta ilość wynosi ok. 4-5 kg/rok (GUS). W dzisiejszych czasach makaron nie jest już kojarzony z produktem bogatym w węglowodany i skrobię, ale coraz więcej uwagi

poświęca się jego wartościom odżywczym: wysokiej strawności, wolno uwalniającym się węglowodanom i relatywnie niskiemu, w porównaniu z chlebem, pizzą i innymi produktami zbożowymi, indeksowi glikemicznemu (Riccardi i in., 2016). Podstawowym powszechnie stosowanym surowcem w przemyśle makaronowym jest semolina z pszenicy durum. Porcja 100 g nieugotowanego makaronu durum zawiera ok. 68,1 g skrobi, 10,9 g białka, 4,2 g cukrów rozpuszczalnych, 2,7 g błonnika pokarmowego i 1,4 g tłuszczu oraz dostarcza ok. 353 kcal (Giacco i in., 2016). Makaron, otrzymany z mąki nisko wyciągowej (o ile nie jest suplementowany) cechuje się niską zawartością błonnika, składników mineralnych, witamin oraz niezbędnych aminokwasów, w szczególności lizyny (Sobota i Zarzycki, 2013).

Kolejnym aspektem, który miał wpływ na zakres przeprowadzonych badań był fakt, że wprowadzenie produktów ubocznych, takich jak makuchy do receptury pieczywa i makaronu może mieć wpływ nie tylko na właściwości prozdrowotne otrzymanych wyrobów, ale również cechy reologiczne ciasta, co istotnie wpływa na jakość produktu końcowego. Zmiana cech reologicznych ciasta jest bezpośrednio związana ze zmianami strukturalnymi w sieci glutenowej. Białka glutenowe, tj. gliadyny i gluteniny, tworzą ciągłą, lepko-sprężystą sieć glutenową w cieście. Gluteniny zapewniają wytrzymałość i elastyczność podczas procesu wyrastania ciasta, a gliadyny nadają mu lepkość. Powstanie sieci glutenowej jest ściśle związane z dostępem wody, która wpływa na tworzenie wiązań między białkami glutenowymi. Gluteniny łączą się ze sobą za pomocą mostków disiarczkowych, natomiast gliadyny oddziałują z gluteninami za pomocą wiązań wodorowych oraz oddziaływań hydrofobowych. Wprowadzenie do ciasta surowców wysokobłonnikowych może zakłócać proces tworzenia sieci glutenowej poprzez tworzenie nowych wiązań wodorowych lub zmianę konformacji mostków disiarczkowych. Takie zmiany mogą wpłynąć na właściwości reologiczne ciasta poprzez nieprawidłowe zwijanie łańcuchów polipeptydowych lub agregację kompleksów białkowych (Miś i Dziki, 2013). Dodatek surowców bogatych w błonnik, ze względu na obecność w ich strukturze grup hydroksylowych tworzących wiązania wodorowe z wodą, może prowadzić do zwiększenia zdolności do wchłaniania wody (WA) (Chouaibi i in., 2019; Liu i in., 2018). Wysoka zdolność błonnika do wchłaniania wody może z jednej strony wpływać pozytywnie na właściwości wypiekowe mieszanki (Zecevic i in., 2013), ale z drugiej strony może prowadzić do odwodnienia siatki glutenowej, a przez to powodować utratę elastyczności i zmniejszoną odporność na mieszanie (Miś i in., 2017).

Przytoczone powyżej informacje oraz moje dotychczasowe doświadczenie wynikające z pracy badawczej oraz prowadzonej współpracy z przemysłem skłoniły mnie do podjęcia tematu związanego z oceną potencjalnych możliwości wykorzystania surowców ubocznych, takich jak makuchy z tłoczenia oleju z nasion pszczelnika mołdawskiego, siemienia lnianego i kopry, do produkcji makaronu i pieczywa o zwiększonej wartości odżywczej i cechach prozdrowotnych.

IV.3.2. Cel naukowy Osiągnięcia

Głównym celem przedstawianego Osiągnięcia, będącego podstawą ubiegania się o stopień doktora habilitowanego, było określenie potencjału wykorzystania ubocznych produktów z przetwórstwa nasion oleistych, takich jak makuchy z nasion pszczołnika mołdawskiego (MPM), siemienia lnianego (ML) oraz kopry (MKO), uzyskanych w procesie tłoczenia na zimno oleju, do produkcji żywności zbożowej o podwyższonej wartości żywieniowej. Szczegółowe, cele badawcze obejmowały:

- określenie wpływu makuchów na zmiany w strukturze drugorzędowej sieci glutenowej oraz rozmieszczenie wody w próbkach glutenu otrzymanego z ciasta pszennego z dodatkiem tych surowców, a także badanie właściwości reologicznych wzbogaconego ciasta;
- określenie możliwości wykorzystania makuchów do produkcji makaronu o zwiększonej wartości żywieniowej oraz ocena ich wpływu na właściwości fizyko-chemiczne gotowego produktu;
- określenie możliwości wykorzystania makuchów do produkcji pieczywa o zwiększonej wartości żywieniowej oraz ocena ich wpływu na właściwości fizyko-chemiczne gotowego produktu.

V.3.3. Omówienie wyników prac wskazanych jako szczególne osiągnięcie naukowe

Ad 1. Określenie wpływu makuchów na zmiany w strukturze drugorzędowej sieci glutenowej oraz rozmieszczenie wody w próbkach glutenu otrzymanego z ciasta pszennego z dodatkiem tych surowców, a także badanie właściwości reologicznych wzbogaconego ciasta.

W ramach przeprowadzonych badań w pracy **I.2.7** zbadano wpływ MPM, ML oraz MKO na zmiany w strukturze glutenu za pomocą spektroskopii FT-IR (spektrometr FT-IR Nicolet 6700 Thermo Scientific, USA). Makuchy otrzymano poprzez tłoczenie oleju na zimno z wykorzystaniem prasy ślimakowej (DUO, Farnet, Czechy; temperatura tłoczenia 50-60°C). Makuchy rozdrobiono uzyskując frakcję o uziarnieniu poniżej 250 μm (>95%) (opis zawarty w publikacjach **I.2.2**, **I.2.3** oraz **I.2.5**). Próbkę ciasta chlebowego, zarówno kontrolne jak i z dodatkiem zmielonych makuchów, zostały przygotowane zgodnie ze standardową metodą ICC 115/1, używając miksera Farinograph E o pojemności 50 g (Brabender, Niemcy). W celu oceny porównawczej przeprowadzono również ewaluację wpływu dodatku warzywnych produktów ubocznych pochodzących z papryki i pomidora. Dodatki warzywne są popularnym komponentem zwiększającym wartość odżywczą produktów, jednocześnie są przykładem produktów ubocznych otrzymanych w wyniku zastosowania różnych procesów przetwórczych. Mieszanki mąki pszennej zostały wykonane poprzez zastąpienie od 3% do 12% mąki pszennej chlebowej pojedynczym suplementem. Czas mieszania ciasta wynosił 20 minut. Analizę zmian w strukturze drugorzędowej białek przeprowadzono w oparciu o analizę pasma amid I (1570-1720 cm^{-1}), amid III (1200-1340 cm^{-1}) oraz populacji wody (analiza pasma związanego z drganiami rozciągającymi grupy OH 2500-4000 cm^{-1}). Do analizy widm wykorzystano oprogramowanie ORIGIN (v.9.0 PRO,

OriginLab Corporation, USA). Widma różnicowe wykorzystane do oceny zmian, wyznaczono poprzez odjęcie widma próbki kontrolnej (glutenu otrzymanego z niezmodyfikowanego ciasta) od widma próbki glutenu pochodzącego z ciasta suplementowanego kolejnym produktem ubocznym. Widma zostały znormalizowane polem w paśmie amid I i amid III. Procedury przygotowania ciasta, izolacji i oceny struktury glutenu oparto na metodykach opisanych w pracach Nawrocka i in. (2016; 2017).

Analiza widm różnicowych w paśmie amid I i amid III wykazała wyraźne różnice między próbkami suplementowanymi dodatkami warzywnymi a makuchami uzyskanymi po tłoczeniu oleju. Dla obu grup można wyróżnić dwa obszary spektralne ($1580-1630\text{ cm}^{-1}$) i ($1630-1700\text{ cm}^{-1}$), o przeciwnej orientacji; przy czym dla makuchów pierwsza strefa była negatywna, a druga pozytywna, co było wynikiem odwrotnym niż w przypadku próbek suplementowanych surowcami warzywnymi. Wcześniejsze badania Miś i in. (2020) sugerują, że zmiany strukturalne w sieci glutenowej, wywołane przez preparaty błonnikowe, mogą być związane z ich składem chemicznym. Miś i in. (2020) powiązali te zmiany z zawartością frakcji błonnika pokarmowego rozpuszczalnej i nierozpuszczalnej w wodzie. Podczas gdy Rumińska i in. (2020) przypisali zmiany strukturalne zawartości kwasów tłuszczowych. **Uzyskane wyniki wskazują na istotny wpływ procesu technologicznego związanego z otrzymywaniem poszczególnych surowców, co stanowi istotne uzupełnienie luki w dostępnej wiedzy.** Dodatek do ciasta suplementów warzywnych powoduje powstawanie uwodnionych rozgałęzionych łańcuchów peptydowych i pseudo- β -katek ($p\beta S$) (struktury agregowane) kosztem zakrętów β połączonych wiązaniami wodorowymi oraz antyrównoległych β -katek ($a\beta S$). Wzrost zawartości tych suplementów prowadzi do zwiększenia ilości struktur zagregowanych w próbkach modyfikowanych. Otrzymane wyniki wskazują, że odnotowane zmiany dotyczą głównie glutenin, które są odpowiedzialne za tworzenie struktur β . **Próbki glutenu otrzymane z ciasta suplementowanego dodatkiem makuchów (MPM, ML, MKO) zawierały głównie podstawowe struktury drugorzędowe, tj. α -helisy (około 1658 cm^{-1}), zakręty β (około 1670 cm^{-1}) i antyrównoległe β -kartki (około 1680 i 1690 cm^{-1}). Ilość tych struktur malała w miarę wzrostu zawartości tych dodatków. Obserwowano niewielki wzrost zawartości uwodnionych rozgałęzionych łańcuchów peptydowych w porównaniu do próbek glutenu suplementowanych dodatkami warzywnymi.** Ponadto, widma różnicowe pokazują zmniejszenie zawartości β -katek i zakrętów β związanych wiązaniami wodorowymi (odpowiednio piki na około 1626 i 1644 cm^{-1}), co może być związane z wysoką zawartością tłuszczu (5,41% s.m., 12,41% s.m. oraz 15,96% s.m. odpowiednio dla MPM, ML i MKO), w szczególności nienasyconych kwasów tłuszczowych. Wysoki udział nienasyconych kwasów tłuszczowych został potwierdzony dla makuchu z pszczelnika mołdawskiego w pracy I.2.2. Podobne zmiany w strukturze glutenu zaobserwowano w próbkach suplementowanych makuchami konopi i wiesiołka, zawierającymi znaczne ilości dwóch nienasyconych kwasów tłuszczowych: kwasu linolowego (C18:2 cis-9,12) i γ -linolenowego (C18:3 cis-6,9,12) (Rumińska i in., 2020).

Brak oscylacji wody w paśmie amid III w spektroskopii FT-IR również umożliwia analizę struktury drugorzędowej białek bez konieczności specjalnego przygotowywania próbek. Analiza tego

pasma dostarcza informacji komplementarnych do analizy pasma amid I. Widoczne zmiany w obszarze struktur β , polegające na zaburzeniu procesu formowania się β -krotek, można zaobserwować w widmach MPM i ML, gdzie w zakresie ok. 1245 cm^{-1} obserwuje się silne pasmo o charakterze negatywnym, a w zakresie ok. 1280 cm^{-1} pasmo o charakterze dodatnim, odpowiadające zakrętom β . Obecność tych pasm sugeruje, że suplementy MPM i ML zaburzają proces tworzenia się β -krotek. Podobne orientacje pasm związanych z β -krotekami i zakrętami β obserwowano w paśmie amid I. Dodatkowo, wyniki te wskazują, że pasma na ok. 1628 i 1245 cm^{-1} są przypisane do tej samej struktury drugorzędowej tj. równoległych β -krotek bez międzycząsteczkowych wiązań wodorowych. **Widoczne dla makuchów występowanie negatywnego pasma na około 1245 cm^{-1} , oraz pozytywnych pasm przypisanych do zakrętów β i α -helis wskazuje, że suplementy te mogą ograniczyć tworzenie zagregowanych struktur przez łańcuchy polipeptydowe glutenu.**

Analiza widma w obszarze drgań rozciągających grup OH dostarcza istotnych informacji o populacjach wody obecnych w cieście pszennym (Nawrocka i in. 2020). Wprowadzenie do ciasta dodatków o zróżnicowanym składzie chemicznym może powodować konkurowanie o wodę pomiędzy białkami glutenowymi a poszczególnymi komponentami chemicznymi dodatków, zwłaszcza tymi o wysokiej zdolności wiązania wody (np. błonnik pokarmowy). Niewłaściwa hydratacja ciasta pszennego podczas procesu mieszania, może prowadzić do otrzymania produktu o obniżonej jakości. **Widma różnicowe dla próbek suplementowanych dodatkiem makuchów były podobne do widma próbki kontrolnej, co wskazuje na ich niewielki wpływ na populacje wody. Tylko w przypadku widma ML-gluten zaobserwowano przesunięcie pasma z 3043 cm^{-1} (próbka kontrolna) do 3029 cm^{-1} . Takie przesunięcie wskazuje na zwiększenie liczby silnych wiązań wodorowych między łańcuchami polipeptydowymi glutenu a cząsteczkami wody (Liu i in., 2002). Sugeruje to powstanie silniejszej sieci glutenowej po suplementacji modelowego ciasta makuchem lnianym. Opublikowane wyniki dostarczają nowej wiedzy o wpływie makuchów otrzymanych z tłoczenia oleju na zimno na zmiany zachodzące w strukturze drugorzędowej glutenu oraz populacjach wody.**

Wyniki oceny farinograficznej ciast z dodatkiem MPM, ML oraz MKO zostały przedstawione kolejno w publikacjach **I.2.1**, **I.2.4** oraz **I.2.6**. Czas rozwoju ciasta (DDT; czas osiągnięcia maksymalnej konsystencji), czas stałości ciasta (ST; czas utrzymania konsystencji ciasta), rozmiękczenie ciasta (różnica w konsystencji między szczytem a 5 minutami później) oraz Wskaźnik Jakości Farinografu (FQN) ciast otrzymanych z mieszanek mąki pszennej z dodatkiem makuchów zostały określone przy użyciu farinografu Farinograph-E (Brabender, model 8110142, Niemcy) zgodnie z metodą AACC (AACC, 2000; Metoda 54–21). Do mąki pszennej chlebowej (typ 750 i 650) wprowadzano odpowiednio makuch z pszczelnika mołdawskiego (MPM) w ilości od 3 do 12 g/100 g mieszanki oraz makuch lniany (ML) w ilości od 5 do 15 g/100 g mieszanki. Makuch kokosowy (MKO) był dodawany do ciasta otrzymanego na bazie mąki typ 450 w ilości od 6 do 18 g/100 g mieszanki.

Przeprowadzone badania wykazały zwiększoną zdolność do wchłaniania wody (WA) mieszanek wypiekowych z dodatkiem poszczególnych makuchów. Jest to bardzo istotna informacja,

ponieważ wodochłonność nie tylko determinuje wydajność pieczywa, ale także ma znaczenie dla jego jakości i szybkości czerstwienia. Porównując zakres zmian WA wykazano, że największy wpływ na wzrost WA wywierał dodatek MKO, przed ML i MPM. Wartości WA ciasta z dodatkiem makuchów mieściły się w zakresach od 57,2% do 69,1% dla ciast z MKO, od 60,4% do 64,5% dla ciast z ML, oraz od 58,8% do 62,8% dla ciast z MPM. Wyższa zawartość błonnika nie w każdym przypadku przekłada się zatem na zwiększoną wodochłonność. Odnotowano większy zakres zmian wodochłonności w mieszankach z dodatkiem ML w porównaniu z dodatkiem MPM. Jednocześnie ML charakteryzował się znacznie niższą zawartością błonnika w porównaniu do MPM, odpowiednio 32,78% s.m. i 47,24% s.m. Makuch lniany wywiera także odmienny wpływ na WA w porównaniu do dodatku rozdrobnionego siemienia lnianego. Wyniki badań Roozegar i in. (2015) oraz Codina i in. (2019) wykazały, że dodatek zmielonego siemienia lnianego spowodował obniżenie WA. Autorzy przypisali to głównie zmniejszeniu zawartości glutenu, prowadzącemu do obniżenia ilości wody potrzebnej do uzyskania optymalnej konsystencji. Duży wpływ miała też zwiększona zawartość oleju, który mógł ograniczyć dostęp wody do ziaren skrobiowych i białek glutenowych. Również w przypadku dodatku MKO odnotowano odmienny wpływ na WA, w porównaniu do dodatku mąki kokosowej zastosowanej w badaniach Gunathilake i in. (2020).

Do istotnych wskaźników służących określeniu siły mąki zalicza się DDT oraz ST, gdzie wyższe wartości tych parametrów sugerują silniejsze ciasto (Wang i in., 2002). Czas rozwoju ciasta to czas wymagany do wytworzenia siatki glutenowej. Odzwierciedla on wzrost konsystencji ciasta. Na tworzenie siatki glutenowej ma wpływ mieszanie mechaniczne, dostępność wody oraz zawartość białka (de Erive i in., 2020). Długi czas rozwoju i czas stałości oraz jednocześnie niskie rozmiękczenie ciasta wskazują na mąkę o mocnym glutenie, odporną na „zmęczenie” w trakcie miesienia. **Przeprowadzone badania wykazały, odmienny wpływ dodatku poszczególnych makuchów na DDT. Dla przykładu wartości DDT dla ciasta z dodatkiem MPM mieściły się w zakresie od 2,1 min do 2,2 min (odpowiednio dla 3% i 12% udziału), i nie różniły się statystycznie istotnie ($p \leq 0,05$) od wartości notowanej dla próby kontrolnej wynoszącej 2,3 min (I.2.1).** Uzyskane wyniki nie potwierdziły zatem tendencji notowanych dla innych surowców wysokobłonnikowych, w tym surowców otrzymanych z pszczołnika mołdawskiego. Dziki i in. (2019), wprowadzając do ciasta mielone liście pszczołnika mołdawskiego odnotował wzrost DDT w porównaniu do próby kontrolnej, z widoczną tendencją do zmniejszania wielkości tej różnicy wraz ze zwiększeniem udziału komponentu z pszczołnika. **Ciasta z dodatkiem ML i MKO charakteryzowały się z kolei wyższymi wartościami DDT w porównaniu z próbą kontrolną. Jednak kierunek zmian wartości DDT w zależności od udziału tych makuchów był odmienny. Dla dodatku ML po początkowym wyraźnym zwiększeniu DDT, następującym przy 5% udziale, dalszy wzrost udziału powodował stałe obniżanie wartości DDT (z 6,5 do 5,4 min). Natomiast dla dodatku MKO obserwowano stałe zwiększenie wartości DDT (z 1,5 do 8,0 min) wraz ze zwiększającym się udziałem (I.2.4, I.2.6).** Konkurencja między błonnikiem a glutenem o wchłanianie wody może powodować odwodnienie matrycy glutenu podczas procesu mieszania.

Efektom tego jest zwiększona oporność ciasta na mieszanie i jednocześnie zmniejszona elastyczność sieci glutenowej (Veselinka i in., 2013). W badaniach przeprowadzonych przez Codina i in. (2019) oraz Dziki i in. (2019) zaobserwowano, że wysoka suplementacja surowcami wysokobłonnikowymi może prowadzić do redukcji DDT. Autorzy tłumaczą to zjawisko rozcieńczeniem glutenu. Wyniki badań opublikowane w ramach prac wchodzących w skład zgłaszanego osiągnięcia, wskazują że takie zachowanie zależy od rodzaju surowca i nie wynika tylko z wysokiej zawartości błonnika.

Po fazie rozwoju następuje faza stabilności, w której ciasto ma gładką i jednorodną strukturę, oraz wydaje się posiadać optymalne właściwości elastyczne i lepkie, które są niezbędne do zatrzymywania gazu w trakcie fermentacji. Ten etap odzwierciedla tolerancję i odporność ciasta na mieszanie. Po pewnym czasie ciasto zaczyna stopniowo tracić sprężystość, staje się bardziej miękkie i maziste (zwiększa się jego ciągliwość, a zmniejsza spoistość), co wskazuje na początek kolejnego etapu tzw. fazy rozmiękczenia. **Zwiększający się dodatek makuchów do ciasta prowadził do stopniowego obniżania czasu stałości ciasta, przy czym największy zakres zmian odnotowano kolejno dla ML (zmiana z 13,3 do 4,5 min), MKO (zmiana z 18,9 do 13,6 min) i MPM (zmiana z 12,7 do 10,5 min).** Biorąc pod uwagę różną zawartość błonnika w makuchach nie można wskazać na błonnik jako główny składnik odpowiedzialny za notowane zmiany. Podobne tendencje tj. obniżenie ST po suplementacji ciasta bogatymi w błonnik komponentami roślinnymi, zostały odnotowane przez innych autorów (Sudha i in., 2007; Liu i in., 2018; Dziki i in., 2019). Zależności te mogą być częściowo wyjaśnione interakcjami między błonnikiem a glutenem, które hamują pełne uwodnienie białek, utrudniając tym samym właściwe tworzenie matrycy glutenu podczas mieszania ciasta (Liu i in., 2018). Jednakże Nawrocka i in. (2016) zaobserwowali wzrost czasu stabilności ciasta po wprowadzeniu błonnika z karobu do ciasta. Przeprowadzone badania wskazały, że nie tylko zawartość i rodzaj błonnika ale także inne związki związane z błonnikiem (takie jak białka, minerały, tłuszcze, polifenole) mogą wpływać na stabilność ciasta. Na przykład grupa hydroksylowa związków fenolowych, może bezpośrednio wiązać się z białkami obecnymi w mące i przez to wpływać na właściwości reologiczne (Elkatry i in., 2022). Stabilność ciasta wykazuje istotne pozytywne korelacje z zawartością glutenu (Seleiman i in., 2011), co wskazuje, że rozcieńczenie glutenu, spowodowane zwiększonym udziałem komponentów wysokobłonnikowych, może również odgrywać istotny wpływ na zmiany stabilności ciasta.

Zwiększona wodochłonność w połączeniu z niskim stopniem rozmiękczenia ciasta jest pożądana i dowodzi dobrej tolerancji ciasta na mieszanie (Aydoğan i in., 2015). Wprowadzenie do ciasta surowców wysokobłonnikowych może powodować osłabienie struktury ciasta a przez to zwiększenie stopnia rozmiękczenia ciasta (Koca i Anil, 2007; Marpalle i in., 2014; Codina i in., 2019). Jest to wynikiem obniżenia stężenia białek glutenu spowodowanych dodatkiem surowców bezglutenowych oraz fizyczną dezorganizacją matrycy glutenu prowadzącą do zmniejszenia siły siatki glutenowej. **Wyniki badań opublikowane w ramach zgłaszanego osiągnięcia wykazały różnokierunkowy i odmienny wpływ dodatku poszczególnych makuchów na rozmiękczenie ciasta (I.2.1, I.2.4, I.2.6).** Ciasta z dodatkiem MPM wykazywały istotnie wyższe ($p \leq 0,05$) wartości stopnia rozmiękczenia w

porównaniu do próby kontrolnej. Jednak nie można ustalić stałej zależności. Po początkowym wzroście stopnia rozmiękczenia ciasta z 28,3 FU do 62,0 FU (przy 6% udziale MPM), dalsze zwiększenie udziału tego składnika wysokobłonnikowego spowodowało zmianę tendencji. Dla 12% udziału MPM stopień rozmiękczenia wynosił już 41,0 FU (I.2.1). Odmienne zachowanie odnotowano natomiast dla dodatku ML. Przy 5% poziomie dodatku ML, zaobserwowano istotne ($p \leq 0,05$) ponad 30% obniżenie stopnia rozmiękczenia ciasta w porównaniu do kontroli (redukcja z 32 FU do 22 FU). Dalsze zwiększanie udziału ML w cieście prowadzi jednak do stopniowego zwiększenia stopnia rozmiękczenia. Dla 15% udziału ML stopień rozmiękczenia wynosił 38 FU, co było wartością istotnie wyższą w porównaniu do kontroli (I.2.4). Porównanie wyników dla MPM i ML, wskazuje że generalnie ciasta z ML charakteryzują się niższym stopniem rozmiękczenia (wartości od 22 FU do 38 FU) w porównaniu do ciast z MPM (od 41 do 62,0 FU). Jednokierunkowy, pozytywny wpływ zastosowanego dodatku na stopień rozmiękczenia ciasta odnotowano tylko dla MKO. Zwiększenie udziału MKO w cieście powoduje dość istotne zmniejszenie stopnia rozmiękczenia ciasta w porównaniu do kontroli, szczególnie przy wyższych udziałach 12-18% (I.2.6). Wartości stopnia rozmiękczenia ciasta, przy 12 i 18% udziale MKO, wyniosły odpowiednio 13 FU i 3 FU, podczas gdy dla kontroli wartość ta wynosiła 41 FU.

Podsumowując uzyskane wyniki należy podkreślić, że dodatek makuchów może wywierać zróżnicowany wpływ na wskaźniki oceny farinograficznej. Relatywnie najmniejszy wpływ na zmiany właściwości ciasta, spośród badanych makuchów, wywierał dodatek MPM, zaobserwowano m.in. wzrost WA i stopnia rozmiękczenia ciasta przy jednoczesnym nieznacznym obniżeniu wartości DDT i ST. Większe zmiany powodował dodatek ML. Odnotowano pozytywny wpływ na zwiększenie wartości WA i DDT, ale jednocześnie nastąpiło istotne zmniejszenie ST oraz wzrost stopnia rozmiękczenia ciasta. Największe zmiany właściwości reologicznych ciasta obserwowane były po dodatku MKO. Widoczny był pozytywny wpływ na WA (wzrost), DDT (wzrost) oraz stopień rozmiękczenia ciasta (zmniejszenie), ale jednocześnie negatywny wpływ na ST (obniżenie). **Wyniki przedstawione w pracach wchodzących w skład osiągnięcia (I.2.1, I.2.4 oraz I.2.6) mają istotne znaczenie praktyczne. Wskazują różnokierunkowy i nieoczywisty wpływ produktów ubocznych, jakim są makuchy, na właściwości farinograficzne.** Znajomość podanych właściwości farinograficznych pozwala nie tylko na prognozowanie cechy pieczywa ale dobór odpowiednich parametrów procesu wypieku.

Ad 2. Określenie możliwości wykorzystania makuchów do produkcji makaronu o zwiększonej wartości żywieniowej oraz ocena ich wpływu na właściwości fizyko-chemiczne gotowego produktu

Wyniki badań nad możliwością wykorzystania makuchu z nasion pszczołnika mołdawskiego (MPM), siemienia lnianego (ML) oraz kopry (MKO) do produkcji makaronu o zwiększonej wartości żywieniowej zostały opublikowane odpowiednio w pracach I.2.2, I.2.3 oraz I.2.5. Zmielone makuchy wprowadzano do receptury makaronu w ilościach od 5 do 25 g/100 g mieszanki, w przypadku MPM i

MKO, oraz w ilości od 5 do 23 g/100 g mieszanki w przypadku FC. Makaron w kształcie krótkiej wstęgi (grubość x szerokość x długość = 0,9 x 5,4 x 50 mm) produkowano w skali półtechnicznej przy użyciu laboratoryjnej prasy makaronowej MAC 30S-Lab extruder (ItalPast, Włochy, temperatura cylindra $29 \pm 1^\circ\text{C}$, matryca teflonowa). Otrzymany makaron podsuszano wstępnie, układano na sitach i suszono w półtechnicznej suszarni komorowej EAC30-LAB (ItalPast, Włochy) z zastosowaniem niskotemperaturowego profilu (od 55°C do 35°C) w 7-godzinny cykl suszenia (szczegółowy opis parametrów w pracy **I.2.5**). Zastosowane w badaniach warunki i parametry produkcji makaronu, zbliżone do procesów w skali przemysłowej, pozwalają na łatwe przeniesienie otrzymanych wyników na skalę przemysłową.

Przeprowadzone badania wykazały, że zwiększenie udziału makuchów w recepturze powoduje obniżenie ciśnienia wytlaczania, co skutkuje zmniejszeniem wydajności produkcji makaronu. Największe zmiany wydajności obserwowano kolejno dla dodatku MPM (obniżenie z 16,5 do 9,9 $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$), MKO (z 23,0 do 15,7 $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$), oraz najmniejsze dla ML (z 23,0 do 21,3 $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$). Wyższa zawartość błonnika w mieszankach, wynikająca z wprowadzenia surowca wysokobłonnikowego, powoduje zwiększenie siły tarcia wewnątrz cylindra prasy makaronowej, co zmniejsza przepływ masy i w konsekwencji obniża wydajność wytlaczania. Analiza wyników dla poszczególnych surowców wskazała, że istotny wpływ na wydajność wytlaczania ma także zawartość tłuszczu, który ze względu na swoje właściwości smarne może powodować zmniejszenie tarcia. Znaczne obniżenie wydajności notowane dla dodatku MPM może być związane z faktem, że ten surowiec charakteryzuje się niższą zawartością tłuszczu (5,41% s.m.) w porównaniu do makuchu lnianego i kokosowego (odpowiednio 12,41% s.m. i 15,9% s.m.) i jednocześnie wysoką zawartością błonnika. **W literaturze naukowej brakuje informacji dotyczących wpływu makuchów otrzymanych z pszczeniaka moldawskiego, lnu i kopry na przebieg i wydajność procesu wytlaczania makaronu, przedstawione w pracach wyniki stanowią wkład w poszerzenie dotychczasowej wiedzy.**

Oceny jakości kulinarnej makaronu dokonano na podstawie pomiarów minimalnego czasu gotowania (MCT), strat suchej substancji (CL), przyrostu masy w czasie gotowania (WeI) oraz przyrostu objętości (VoI). Zgodnie z literaturą, straty suchej substancji w dobrym jakościowo makaronie nie powinny przekraczać 8-9% s.m. Zachowanie kształtu produktu i brak sklejania się zarówno w trakcie, jak i po gotowaniu również są ważnymi wskaźnikami jakości. Przyrost masy, będący wskaźnikiem zdolności makaronu do pęcznienia, powinien wynosić od 2 do 3 razy (Gunathilake i Abeyrathne, 2008; Dick i Youngs, 1988; Schoenlechner i in., 2010).

Przeprowadzone badania wykazały, że wzrost udziału makuchów w makaronach przyczynia się do zwiększenia MCT w porównaniu z próbą kontrolną. Współczynniki korelacji (Pearson) określone pomiędzy udziałem poszczególnych makuchów w mieszankach a MCT są zbliżone i mieszczą się w przedziale $R=0,86-0,87$. Największy przyrost MCT odnotowano dla MPM, gdzie wzrost udziału do 25% spowodował zwiększenie MCT o 30%, w odniesieniu do kontroli. Dla dodatku

ML maksymalny przyrost MCT wyniósł 22%, natomiast najmniejszy przyrost MCT odnotowano dla dodatku MKO i wyniósł on 15,6%.

Makarony z dodatkiem makuchów charakteryzowały się stosunkowo niskimi wartościami CL, mieszczącymi się w przedziale od 5,55% do 6,77% s.m. dla MPM, od 5,25% do 4,44% s.m. dla ML oraz od 5,73% do 8,37% s.m. dla MKO. Dla makaronu z dodatkiem MPM i MKO widoczne było zwiększenie CL wraz ze wzrostem udziału, odwrotnie niż w przypadku makaronu z ML. Należy zaznaczyć, że jedynie w przypadku maksymalnego udziału MKO (25%) odnotowano wartości CL zbliżone od dopuszczalnego poziomu (8-9%), definiującego dobrą jakość makaronu. W makaronie typowo pszennym wzrost zawartości białka jest skorelowany z mniejszymi stratami suchej masy, co przypisuje się zwiększonej zawartości białek glutenowych (Sobota i Zarzycki, 2013). Przeprowadzone badania wykazały, że zastąpienie mąki pszennej surowcem o wyższej zawartości białka ogółem, ale pozbawionym białek glutenowych, może wpływać na zwiększenie wartości CL. Takie zależności były widoczne dla makaronu z MPM (**I.2.2**) oraz MKO (**I.2.5**). Można to przypisać rozcieńczeniu sieci glutenowej, a przez to osłabieniu jej struktury (Laleg i in., 2017). Podobne zależności odnotowano dla makaronu wzbogaconego dodatkiem mąk pochodzących z nasion roślin strączkowych (Teterycz i in., 2020). Wyższe wartości CL notowane dla makaronu z MPM oraz MKO, w porównaniu do makaronu z ML, mogą być wynikiem większej zawartości błonnika pokarmowego w dwóch pierwszych surowcach (odpowiednio 48,1% s.m., 55,76% s.m. oraz 32,45% s.m.). Błonnik pokarmowy może osłabić sieć glutenową, umożliwiając łatwiejsze wnikanie wody w strukturę makaronu, co w konsekwencji prowadzi do wypłukiwania odkrytych granulek skrobi (Manthey i Schorno, 2002). Podobną tendencję zaobserwowano dla makaronów wzbogaconych innymi materiałami bogatymi w błonnik, takimi jak młóto browarniane oraz otręby z pszenicy durum lub pszenicy zwyczajnej (Coppa i Alamprese, 2017; Sobota i in., 2015; Aravind i in., 2012). Bez względu na pochodzenie, błonnik pokarmowy powoduje istotne zmiany w strukturze drugorzędowej białek glutenowych. Zmiany te sugerują odwodnienie matrycy glutenowej w wyniku rywalizacji o wodę między białkami glutenowymi a polisacharydami (Nawrocka i in., 2018; Nawrocka i in., 2016), co może prowadzić do osłabienia sieci glutenowej. Im słabiej rozwinięta jest sieć białkowa, tym większa jest wartość CL (Schoenlechner i in., 2010). Wpływ dodatku makuchów na zmiany w strukturze drugorzędowej białek w ciastach otrzymanych z mąki pszennej był przedmiotem badań w pracy **I.2.7**, która stanowi część tego osiągnięcia. Wyższe wartości CL, notowane dla makaronu z MKO, mogą być dodatkowo związane z dużą zawartością białek globulinowych i albuminowych pochodzących z kokosa, które podczas gotowania mogą przedostawać się do wody (Patil i Benjakul, 2017). Jakkolwiek ze względu na fakt, że denaturacja białek może zmniejszać ich rozpuszczalność podczas gotowania, wydaje się, że głównym czynnikiem wpływającym na zmiany CL w przypadku makaronu kokosowego jest wysoka zawartość błonnika pokarmowego, zwłaszcza frakcji nierozpuszczalnej, która przyczynia się do rozerwania matrycy białkowo-skrobiowej.

Zmniejszenie CL wraz ze zwiększeniem udziału makuchu, notowane w przypadku makaronu z dodatkiem ML (**I.2.3**), może wynikać z niższej zawartości błonnika pokarmowego i jednocześnie wysokiej zawartości tłuszczu w tym surowcu (12,41% s.m.). Wprowadzenie do receptury makaronu surowców o zwiększonej, zawartości tłuszczu może w pewnym zakresie zredukować negatywny wpływ błonnika na CL. Lipidy ograniczają rozrywanie granulek skrobi oraz zmniejszają wypłukiwanie amylozy i amylopektyny, co w konsekwencji może zmniejszać CL (Aravind i in., 2012). Interesujące w tym kontekście może być porównanie zmian CL dla makaronu z dodatkiem ML i MKO (**I.2.3 i I.2.5**). Pomimo że oba surowce charakteryzowały się wysoką zawartością tłuszczu (odpowiednio 12,41% s.m. i 15,9% s.m.), odnotowano różnice w ich wpływie na CL. Dużą rolę w tym przypadku mogła odegrać duża różnica w zawartości błonnika rozpuszczalnego, w przypadku ML zawartość ta wynosiła 14,48% s.m. natomiast w MKO tylko 3,37% s.m. Zwiększona lepkość związana z wyższą zawartością błonnika rozpuszczalnego mogła ograniczać migrację składników suchej masy, takich jak skrobia, podczas gotowania makaronu i wpływać przez to na wartość CL.

Przyrost masy (WeI) w trakcie gotowania wszystkich badanych makaronów z dodatkiem makuchów mieścił się w zalecanych granicach, pomiędzy 2-3. Wartości WeI dla makaronu wzbogaconego MPM mieściły się w zakresie od 2,37 do 2,68, dla makaronu z ML zakres ten wynosił 2,17-2,3, a dla makaronu z MKO 2,03-2,08. Analiza statystyczna nie wykazała istotnych różnic ($p \leq 0,05$) pomiędzy WeI makaronów wzbogaconych ML i MKO a próbą kontrolną. Jedynie w przypadku dodatku MPM wykazano istotność różnic i można mówić o trendzie wzrostowym wynikającym ze zwiększonego udziału MPM (Pearson, $R=0,99$). Niektóre badania wskazują, że osłabienie matrycy glutenowej w wyniku dodatku surowców nie zawierających glutenu może prowadzić do obniżenia WeI (Aravind i in., 2012; Rosa-Sibakov i in., 2016). Zdaniem wymienionych autorów, ze względu na słabą matrycę glutenową, woda może łatwiej wnikać w strukturę makaronu umożliwiając szybsze kleikowanie skrobi i zmniejszając przez to wchłanianie wody podczas gotowania. Wydaje się, że w przypadku niektórych surowców o wysokiej zawartości błonnika, do których można zaliczyć analizowane MPM, ML oraz MKO, bogatych w frakcję nierozpuszczalną, absorbującą wodę, powyższy efekt może zostać zrównoważony. **Zaprezentowane w pracach I.2.2, I.2.3 oraz I.2.5 wyniki znacząco poszerzają dostępną wiedzę dotyczącą wpływu produktów ubocznych pochodzących z wytłaczania oleju na parametry oceny jakości kulinarnej makaronów, co można uznać za istotny wkład w rozwój dyscypliny.**

Kolejnym ważnym parametrem oceny jakości makaronu jest jędrność, określana jako siła potrzebna do przecięcia makaronu. **W przypadku analizowanych dodatków wzbogacających (MPM, ML oraz MKO) zaobserwowano zmniejszenie siły wymaganej do przecięcia makaronu wraz ze wzrostem ich udziału (I.2.2, I.2.3 oraz I.2.5).** Największą redukcję siły tnącej w stosunku do próby kontrolnej, wynoszącą 16%, zaobserwowano przy maksymalnym 25% dodatku MKO. Dla dwóch pozostałych surowców (ML i MPM) przy ich maksymalnym udziale, redukcja ta była zbliżona i wyniosła 13,5%. Jednym z głównych czynników przyczyniających się do zmniejszenia jędrności

makaronów jest osłabienie matrycy glutenowej (Aravind i in., 2012). **Możne ono wynikać przede wszystkim z wysokiej zawartości błonnika pokarmowego w badanych makuchach.** Błonnik pokarmowy, zwłaszcza frakcja nierozpuszczalna, jak wspomniano wcześniej może zakłócać ciągłość matrycy glutenowej, co powoduje jego osłabienie. Najwyższą zawartość frakcji nierozpuszczalnej błonnika odnotowano kolejno w MKO (52,39% s.m.), MPM (32,84% s.m.) i ML (17,97% s.m.). Osłabienie siatki glutenowej znajduje potwierdzenie we wcześniej analizowanych cechach makaronu (CL, WeI). Z drugiej strony wzrost zawartości białka, towarzyszący zwiększonemu udziałowi makuchów, może być czynnikiem zwiększającym twardość i jędrność makaronu. Badania Petitota i in. (2010) oraz Teterycz i in. (2020) wykazały, że makaron wzbogacony materiałami wysokobiałkowymi, takimi jak bobik, groch, soczewica i ciecierzycza, miał wyższą twardość i jędrność niż makaron z pszenicy durum. Nie wszystkie jednak surowce wysokobiałkowe przyczyniają się do wzrostu jędrności makaronu; wyniki badań dla makaronu z dodatkiem mąki z zielonego groszku i mąki sojowej wykazały obniżenie twardości (Teterycz i in., 2020; Dziki i in., 2013). **Uzyskane wyniki wskazują, że największy wpływ na zmniejszenie jędrności makaronu wzbogaconego makuchami miał wzrost zawartości błonnika pokarmowego. Przy czym stosunkowo niewielki zakres zmian jędrności wskazuje na możliwość kompensowania w pewnym zakresie wpływu zwiększonego udziału błonnika poprzez równoczesny wzrost zawartości białka.**

Jednym z atrybutów sensorycznych, który może wpływać na akceptację konsumentów, jest kolor (Lukas i in., 2018; Ye i Sui, 2016). Dodatek MPM oraz ML istotnie ($p < 0,05$) wpłynął na wszystkie parametry barwy (L^* , a^* , b^*) makaronu (**I.2.2, I.2.3**). W miarę wzrostu udziału tych makuchów, makaron stawał się ciemniejszy (zmniejszenie wartości L^* i WI - *indeks bieli*) i tracił żółty odcień (zmniejszenie wartości b^*). Jednocześnie odnotowano, że makaron z dodatkiem ML charakteryzował się wyższymi wartościami a^* i b^* w porównaniu z makaronem z MPM. Z kolei dodatek makuchu kokosowego do makaronu sprawiał, że w porównaniu z próbą kontrolną, otrzymany makaron był jaśniejszy (wzrost wartości L^* i WI) oraz miał bardziej intensywny odcień czerwono-żółty (zwiększenie wartości a^* i b^*) (**I.2.5**). Porównanie wartości ΔE^* określającej różnicę barwy pomiędzy dwoma próbkami (próbą kontrolną i próbą badaną) wskazuje, że największy wpływ na zmianę barwy miał kolejno dodatek MPM, ML i MKO. W zależności od udziału, wartości ΔE^* dla wzbogaconych makaronów mieściły się w przedziale 18,6-28,4 dla dodatku MPM, 17,4-27,1 dla dodatku ML oraz 2,6-10,8 dla dodatku MKO.

Z technologicznego punktu widzenia istotnym zagadnieniem jest wpływ zastosowanego dodatku na przebieg procesu suszenia i końcową wilgotność makaronu. W przeprowadzonych badaniach makarony były suszone w suszarni komorowej, w warunkach odpowiadających suszeniu przemysłowemu. **Nie odnotowano negatywnego wpływu badanych makuchów na przebieg procesu suszenia, stan powierzchni makaronu i wilgotność końcową makaronu**, która wynosiła od 7,98 do 8,39% dla makaronu z MPM, od 9,96 do 8,96% dla makaronu z ML oraz od 9,43 do 9,18% dla makaronu z MKO.

Zgodnie z oczekiwaniami, wprowadzenie MPM, ML oraz MKO do receptury makaronu znacząco zwiększyło zawartość popiołu, białka, lipidów oraz błonnika pokarmowego (w tym frakcji SDF i IDF) ($p \leq 0,05$) i jednocześnie przyczyniło się do istotnego obniżenia zawartości węglowodanów (I.2.2, I.2.3 oraz I.2.5). Analiza wyników wskazuje też na niższą zawartość wolnych tłuszczów w próbkach makaronu w porównaniu z zawartością szacowaną na podstawie składu surowcowego. Może to być wynikiem tworzenia się kompleksów skrobiowo-lipidowych i/lub białkowo-lipidowych podczas produkcji makaronu, co wpływa na mniejszą ekstrakcję lipidów (Sobota i in., 2015).

Zgodnie z odpowiednimi rozporządzeniami Parlamentu i Komisji Europejskiej (WE nr 1924/2006, UE nr 116/2010 oraz UE nr 1047/2012) dotyczącymi żywności i jej oznakowania, możliwe jest stosowanie oświadczeń żywieniowych takich jak "źródło błonnika pokarmowego" (3 g błonnika na 100 g produktu lub 1,5 g błonnika na 100 kcal), "produkt o wysokiej zawartości błonnika pokarmowego" (6 g błonnika na 100 g lub 3 g na 100 kcal), oraz "produkt o podwyższonej zawartości danego składnika" (produkt spełniający warunki oświadczenia "źródło..." i jednocześnie zawartość wybranego składnika odżywczego jest co najmniej o 30% wyższa w porównaniu z podobnym produktem). Dodatek MPM w ilości 5 g/100 g mieszanki powodował, że makaron zawierał ponad 6 g błonnika na 100 g (7,17% s.m.), więc może być zaliczony do makaronów wysokobłonnikowych; a przy dodatku na poziomie 10 g/100 g uzyskano dwukrotnie wyższą zawartość błonnika w porównaniu do makaronu kontrolnego (I.2.2). Podobne zwiększenie zawartości błonnika uzyskano przy zastosowaniu MKO i ML. Dla 5% dodatku MKO zawartość błonnika w makaronie wyniosła 7,29% s.m. (I.2.5), natomiast przy 5% dodatku ML zawartość błonnika w makaronie wyniosła 7,19% s.m. (I.2.3). **Wykazano, że wprowadzenie do receptury makaronu każdego z wykorzystanych w badaniach rodzaju makuchów w ilości już 5% pozwala na uzyskanie makaronu o wysokiej zawartości błonnika (powyżej 6 g na 100 g produktu), a także wyższej zawartości białka, tłuszczu i elementów mineralnych przy jednoczesnym zachowaniu akceptowalnych właściwości kulinarnych i cech sensorycznych.** Spożycie tej samej porcji makaronu wzbogaconego makuchem zapewnia większą ilość składników odżywczych w porównaniu do tradycyjnego makaronu. Dodatkowo, biorąc pod uwagę pozytywny wpływ błonnika pokarmowego na zdrowie człowieka, można założyć, że makaron wzbogacony makuchem może być dobrą alternatywą i przyczynić się do zwiększenia spożycia produktów zbożowych. Niemniej jednak, wymaga to potwierdzenia w dalszych badaniach. **Warto zauważyć, że mimo wzrostu wartości odżywczej produktu, nie odnotowano negatywnego wpływu na jego kaloryczność.** Wartość energetyczna makaronu z dodatkiem MPM mieściła się w zakresie od 350 do 334 kcal/100 g (odpowiednio dla 5% i 25% udziału MPM) i była istotnie niższa ($p \leq 0,05$) w porównaniu do próby kontrolnej (358 kcal/100 g). Takie wyniki są rezultatem mniejszej zawartości węglowodanów w MPM (16,81% s.m.), relatywnie niskiej zawartości tłuszczu (5,41% s.m.) przy jednocześnie wysokiej zawartości błonnika (48,1% s.m.). ML i MKO charakteryzowały się niższą zawartością węglowodanów (odpowiednio 6,94% s.m. i 0,9% s.m.), jednak wyższą zawartość tłuszczu w tych surowcach (odpowiednio 12,41% s.m. i 15,9% s.m.), nie pozwoliła na istotną redukcję kaloryczności w stosunku

do próby kontrolnej. Kaloryczność makaronu z ML mieściła się w zakresie od 342,7 do 348,1 kcal/100 g (odpowiednio dla 5% i 23% udziału). Były to wartości niższe niż dla kontroli (345,8 kcal/100 g) jednak różnice nie były statystycznie istotne ($p \leq 0,05$). W przypadku makaronu z MKO kaloryczność mieściła się w zakresie od 350 do 346 kcal/100 g (odpowiednio dla próby z 5 i 25% udziałem MKO). Jak można zauważyć, przy niskim udziale MKO, kaloryczność była nieznacznie wyższa od kontroli (346 kcal/100 g), przy czym różnica nie przekraczała 5%.

Ostateczna ocena możliwości wprowadzenia nowych produktów opiera się w znacznej mierze na akceptacji sensorycznej i preferencjach konsumentów. W celu weryfikacji potencjalnych cech limitujących jakość sensoryczną wyrobów przeprowadzono ocenę konsumencką makaronów z dodatkiem MPM (I.2.2) i MKO (I.2.5). Zwiększenie poziomu dodatku MPM z 5% do 25% obniża ogólną akceptowalność z 4,7 do 3,8, w 5-punktowej skali. Makaron z 10 % dodatkiem MPM wykazywał właściwości sensoryczne zbliżone do próby kontrolnej, bez istotnych różnic statystycznych ($p < 0,05$) w ogólnej akceptowalności oraz we wszystkich mierzonych cechach sensorycznych (wygląd, kolor, smak, twardość, kleistość), z wyjątkiem zapachu. Powyżej 15% udziału MPM limitującymi cechami były zapach i smak. Nie odnotowano natomiast istotnych różnic w twardości i kleistości. Indeks akceptowalności (AI - *Acceptability index*) dla makaronu z dodatkiem MPM wyniósł odpowiednio 93% i 76% dla dodatku 5% i 25%. Według Lukas i in. (2018) produkt powinien mieć wskaźnik akceptowalności (AI) wyższy niż 70%, aby uznać go za akceptowany pod względem oceny sensorycznej. **Uzyskane wyniki wskazują zatem na wysoki poziom akceptowalności makaronu z dodatkiem makuchu z pszczelnika mołdawskiego.**

W przypadku makaronów z dodatkiem MKO, największe zmiany odnotowano w wyglądzie zewnętrznym i barwie, natomiast mniejsze zmiany dotyczyły smaku, zapachu, twardości i kleistości. W celach porównawczych, w przeprowadzonych badaniach (I.2.5), oceniono również makaron otrzymany z dodatkiem mąki kokosowej, będącej produktem handlowym dostępnym na rynku i otrzymywanym w procesie produkcji mlecza kokosowego. Makaron z dodatkiem MKO został oceniony nieznacznie gorzej w porównaniu do makaronu z dodatkiem mąki kokosowej handlowej. Wyniki wykazały, że dodatek handlowej mąki kokosowej i MKO w ilości odpowiednio do 15% i 10%, nie miał negatywnego wpływu na cechy sensoryczne oceniane przez konsumentów. Ogólna akceptowalność makaronu z tymi dodatkami wynosiła 4,3 (w 5-cio punktowej skali), i nie różniła się istotnie ($p < 0,05$) od makaronu kontrolnego (4,8). Gunathilake i Abeyrathne (2008) zaproponowali aż 20% dodatek mąki kokosowej do makaronu. Warto zauważyć, że podobny poziom dodatku mąki kokosowej był również proponowany w przypadku chleba (Gunathilake i in., 2009), a możliwość wyższego dodatku mąki kokosowej wykazali również Sujirtha i Mahendran (2015) w przypadku herbatników. Współczynnik akceptowalności (AI) otrzymanych makaronów, w badaniach własnych, mieścił się w zakresie od 92% do 64%; osiągając wartość poniżej 70 jedynie w przypadku maksymalnego 25 % dodatku MKO. **Przeprowadzona ocena konsumencka wykazała możliwość uzyskania wysokiej akceptowalności konsumenckiej przy**

wprowadzeniu do receptury makaronu makuchów z pszczelnika mołdawskiego oraz kopry w ilości do 10 g/100 g mieszanki.

Wyniki opublikowane w pracach wchodzących w skład osiągnięcia (I.2.2, I.2.3 oraz I.2.5) dostarczają unikalnych informacji na temat możliwości wykorzystania makuchów w produkcji makaronu o zwiększonej wartości żywieniowej. Wartość tych wyników polega na tym, że dostarczają nowych, nieodnotowanych dotychczas w literaturze, informacji na temat wpływu surowców na proces tłoczenia makaronu, jego właściwości fizykochemiczne oraz ocenę sensoryczną dokonaną przez konsumentów.

Ad 3. Określenie możliwości wykorzystania makuchów do produkcji pieczywa o zwiększonej wartości żywieniowej oraz ocena ich wpływu na właściwości fizyko-chemiczne produktu gotowego

Wyniki badań nad możliwościami wykorzystania makuchu z nasion pszczelnika mołdawskiego (MPM), siemienia lnianego (ML) oraz kokosa (MKO) do produkcji pieczywa o zwiększonej wartości żywieniowej zostały opublikowane odpowiednio w pracach I.2.1, I.2.4 oraz I.2.6. Sposób otrzymywania mąk z makuchów, które były wprowadzane do receptury pieczywa, opisano wcześniej. W przypadku wypieku chleba, ciasto było prowadzone metodą jednofazową (I.2.1, I.2.4). Do mąki pszennej chlebowej (typ 750 oraz 650) wprowadzano odpowiednio MPM w ilości od 3 do 12 g/100 g mieszanki oraz ML w ilości od 5 do 15 g/100 g mieszanki. Ciasto poddawano fermentacji przez 90 min (28-30°C, wilgotność względna RH 85 ± 2%) z przebicciem po 60 min. Po przebicciu ciasto dzielono na kęsy o wadze 290 ± 5 g, przenoszono do foremek (18 × 7,5 × 7,0 cm) i po 30 minutowej fermentacji końcowej wypiekano w temp. 230°C przez 30 min. Po wypieczeniu i schłodzeniu (1 h po wyjęciu z pieca) bochenki chleba były ważone, umieszczane w workach polietylenowych (po jednym bochenku w torebce), uszczelniane i przechowywane w warunkach pokojowych (20-24°C, 50% RH) przed dalszą oceną. Ze względu na charakterystyczne walory smakowo-zapachowe makuchu kokosowego, zdecydowano dodać go do ciasta półcukierniczego, na bazie którego wypiekano bułki (I.2.6). MKO był dodawany do ciasta w ilości od 6 do 18 g/100 g mieszanki. Proces przygotowania ciasta odbywał się metodą dwufazową, gdzie w pierwszej fazie rozczyń fermentował przez 30 min w temp. 28-29°C, a następnie sporządzano właściwe ciasto, które poddawano fermentacji przez 90 min (temp. 28°C; RH 85 ± 2%), z przebicciem ciasta po 60 min. Po zakończeniu fermentacji ciasto było dzielone na kęsy o wadze 100 ± 5 g, odstawiane na 15 min do fermentacji końcowej (30°C), a następnie poddawane procesowi wypieku (temp. 230°C, 20 min). Po wypieku bułki pozostawiono do ostygnięcia w temperaturze pokojowej przez 1 godzinę, umieszczono w workach polietylenowych i przechowywano w warunkach pokojowych przed oceną jakościową.

Podstawowymi parametrami oceny jakości pieczywa są wydajność pieczywa (BY), straty wypiekowe całkowite (BL), objętość chleba (BV), wilgotność miękiszu (CM) i porowatość miękiszu (CP). **Niezależnie od rodzaju i udziału makuchu w recepturze, otrzymane chleby i bułki**

charakteryzowały się zwiększoną wydajnością pieczywa, w porównaniu do prób kontrolnych. Najwyższe wartości BY odnotowano dla pieczywa z dodatkiem MKO (156-164%), następnie ML (141,6-148,4%), a najmniejsze wartości odnotowano dla dodatku MPM (140,8-143%). Biorąc jednak pod uwagę zakres zmian wydajności pieczywa w porównaniu do kontroli, można stwierdzić, że największy wpływ ma kolejno dodatek ML, następnie MKO, a najmniejszy wpływ wywiera dodatek MPM. Dodatkowo, dla ML i MKO można wykazać wysoką dodatnią korelację pomiędzy wydajnością pieczywa a udziałem użytego komponentu (Pearson, $R=0,99$ i $0,87$, odpowiednio) (I.2.4, I.2.6). Takiej korelacji nie wykazano natomiast dla dodatku MDF, co bezpośrednio wynikało z załamania początkowo obserwowanej tendencji wzrostowej, które nastąpiło przy najwyższym zastosowanym udziale MDF (12%) (I.2.1). Wykazano, że w każdym przypadku wzrost wydajności pieczywa jest dodatnio skorelowany z wodochłonnością (WA). Współczynniki korelacji liniowej (Pearson) pomiędzy BY a WA wyniosły 0,99; 0,88 i 0,59 odpowiednio dla pieczywa z dodatkiem ML, MKO i MPM. Wystąpiła też, wysoka dodatnia korelacja pomiędzy BY a CM. Współczynniki korelacji (Pearson), dla ML, MKO i MPM wnoszą odpowiednio $R=0,98$; 0,77 i 0,85.

Często obserwowaną tendencją jest zmniejszenie strat wypiekowej podczas procesu pieczenia po wprowadzeniu składnika o wysokiej zawartości błonnika pokarmowego. Można to wyjaśnić wspomnianą wcześniej zdolnością grup hydroksylowych obecnych w strukturach błonnika pokarmowego do tworzenia wiązań wodorowych z wodą. Tak związana woda jest trudniejsza do odparowania podczas procesu pieczenia (Kadirvelu i Fathima, 2021; Azadfar i in., 2023). Przeprowadzone badania wykazały wysoką zdolność wiązania wody przez MKO, co prowadzi do ograniczenia BL. Wzrost udziału MKO powodował statystycznie istotne ($p \leq 0,05$) zmniejszenia BL z 14,1% do 11,1%, wartości odpowiednio dla próby kontrolnej i próby z 18% udziałem MKO. Współczynnik korelacji (Pearson) między udziałem MKO a BL wyniósł $R=0,97$ (I.2.6). Zakres zmian był porównywalnym z komercyjnymi preparatami błonnika otrzymanymi z kokosa (Yalegama i in., 2013). Wykazane znaczne obniżenie strat wypiekowej, będące wynikiem wprowadzenia MKO do receptury, może być cenną rekomendacją dla przemysłu cukierniczego.

Mniejszy i mniej jednoznaczny wpływ na zmiany BL odnotowano dla dodatku MPM. Wzrastający udział MPM w zakresie do 9% powodował istotne obniżenie strat wypiekowej (z 12,6% do 10,9%), natomiast przy 12% udziale MPM zaobserwowano zwiększenie wartości BL. Należy podkreślić, że wartości te były nadal niższe niż stwierdzone dla próby kontrolnej (I.2.1). Nie potwierdzono natomiast istotnego ($p \leq 0,05$) wpływu dodatku ML na wartość BL (I.2.4). Ponadto, dla pieczywa wzbogaconego MKO i MPM zaobserwowano wysoką ujemną korelację pomiędzy BY a BL ($R=-0,93$ i $R=-0,98$, odpowiednio), podczas gdy dla pieczywa z dodatkiem ML taka korelacja nie wystąpiła. Nie można zatem jednoznacznie stwierdzić, że dodatek surowców wysokobłonnikowych jakim są makuchy, prowadzi zawsze do zwiększenia wydajności pieczywa i jednocześnie znacznej redukcji strat wypiekowej. Niemniej jednak brak negatywnego wpływu dodatku makuchu na masę pieczywa może być cenną informacją dla przemysłu.

Zastąpienie mąki pszennej surowcami bogatymi w błonnik pokarmowy często prowadzi do zmniejszenia objętości chleba. Może to być spowodowane osłabieniem struktury ciasta związanym z niższą zawartością glutenu oraz zakłóceniem siatki glutenowej przez błonnik, co prowadzi do mniejszej retencji gazu podczas fermentacji. Dodatkowo, błonnik, zwłaszcza nierozpuszczalny, może wykazywać wysoką zdolność wiązania wody, co ogranicza ilość pary powstającej podczas procesu pieczenia (Marpalle i in., 2014; Gill i in., 2002; Rubel i in., 2015). Pieczywo równomiernie wyrosnięte, o dużej objętości i wyrównanej porowatości jest cenione przez konsumentów, dlatego te cechy są uważane za niezawodne wskaźniki oceny jakości chleba. **Jak wykazały przeprowadzone badania, maksymalny możliwy zakres dodatku makuchu, bez widocznego statystycznie istotnego wpływu ($p \leq 0,05$) na zmiany objętości pieczywa zależy od jego rodzaju. Wyniósł on odpowiednio 6% dla dodatku MPM, 10% dla dodatku ML oraz 12% dla dodatku MKO. Powyżej tych wartości notowano już statystycznie istotne obniżenie objętości pieczywa oraz widoczne zmiany w porowatości, objawiające się mniejszymi porami oraz ich większą nierównomiernością.** Pomiędzy zmianami objętości pieczywa a udziałem makuchów stwierdzono wysoką ujemną korelację ($R = -0,98$; $-0,99$ oraz $-0,96$, odpowiednio dla MKO, ML i MPM). Maksymalne obniżenie objętości pieczywa odnotowane pomiędzy próbą kontrolną a próbą z maksymalnym udziałem makuchów wyniosła odpowiednio 29% dla MKO, 18% dla ML i 15% dla MPM. Opisane powyżej zależności oraz wyniki badania miększu pieczywa wskazują, że **zmiany objętości pieczywa są głównie spowodowane zmianami w strukturze pieczywa wynikającymi ze zmniejszenia jego porowatości, a nie redukcji masy spowodowanej zwiększonym ubytkiem wody w trakcie wypieku.** Wilgotność miększu badanego pieczywa z dodatkiem makuchów mieściła się w zakresie od 40,3% do 45,9%. **Ogólnie można stwierdzić, że dodatek makuchów powodował zwiększenie wilgotności miększu, jedynie w przypadku dodatku MPM zakres zmian był statystycznie nieistotny ($p \leq 0,05$) (I.2.1).** Współczynniki korelacji (Pearson) pomiędzy zawartością ML i MKO a wilgotnością miększu wyniosły odpowiednio $R = 0,99$ i $0,91$.

Podobnie jak w przypadku makaronu (opis wcześniejszy), również w przypadku pieczywa dodatek makuchów powodował istotne ($p \leq 0,05$) zmiany parametrów barwy miększu (L^* , b^* , a^*). Wraz ze wzrostem udziału MPM parametr L^* zmniejszył się z 71,4 (kontrola) do 54,2 (12% udział MPM), a parametr b^* zmniejszył się z 13 (kontrola) do 8,4 (12% udział MPM) (I.2.1). Wyniki te wskazują, że w miarę wzrostu udziału MDF miększ chleba stawał ciemniejszy i mniej żółty. Jednocześnie zwiększenie parametru a^* z 1,45 (kontrola) do 2,71 (12% udział MPM) wskazuje na bardziej intensywny czerwony odcień miększu. Opisane tendencje zmian poszczególnych współrzędnych barwy są zbliżone do tych notowanych dla makaronu z dodatkiem MPM. **Podobny kierunek zmian poszczególnych parametrów barwy był obserwowany dla chleba z dodatkiem ML.** Widoczną różnicą był bardziej intensywny odcień czerwony i żółty na co wskazują odpowiednie wyższe wartości parametru a^* i b^* , mieszczące się odpowiednio w zakresie od 2,5 do 4,4 oraz od 11,6 do 11,0, kolejno dla 5 i 15% udziału ML. Index bieli (WI) wskazuje na podobną jasność miększu chleba z zastosowaniem dodatku obu tych makuchów. Mieścił się on w zakresie od 60,4 do 53,4 dla chleba z

MPM i od 58,2 do 51,3 dla chleba z dodatkiem ML. **Dodatek MKO wpływa z kolei na zwiększenie bieli miększu w porównaniu do kontroli. Odnotowano znaczny wzrost wartości parametru L^* z 74,1 do 82,2 (przy 18% dodatku MKO). Miększ pieczywa z dodatkiem MKO był też jaśniejszy w porównaniu do miększu pieczywa z dodatkiem MPM i ML. Wartości WI dla pieczywa z MKO mieściły się w zakresie od 73,2 do 74,5. Miększ pieczywa z MKO ma też bardziej intensywny żółty odcień w porównaniu do pieczywa z MPM i ML. Zwiększenie udziału MKO powodowało zwiększenie parametru b^* z 15,1 do 18,2. Dodatek MKO, podobnie jak MPM i ML, intensyfikuje czerwony odcień, jednak w mniejszym zakresie niż dwa pozostałe makuchy. Parametr a^* dla pieczywa z MKO mieścił się w zakresie 0,24-0,17.**

Ocena tekstury miększu obejmowała pomiar twardości, żujności, spójności i sprężystości, po 24 oraz 72 godzinach od wypieku. Cechy mechaniczne miększu pieczywa mają decydujący wpływ na jakość świeżego produktu, ale także informują o zmianach zachodzących podczas przechowywania oraz określają wpływ dodatków na cechy tekstury. Twardość jest jednym z najczęściej określanych parametrów tekstury produktów piekarniczych. **Zazwyczaj, częściowe zastąpienie mąki pszennej mąką bogatą w błonnik prowadzi do zwiększenia twardości miększu.** Może być to związane z zachodzącymi zmianami w strukturze miększu wynikającymi ze zmniejszenia porowatości i objętości pieczywa oraz pogrubienia ścianek otaczających komórki powietrzne (Dziki i in., 2019; Sęczyk i in., 2017; Azadfar i in., 2023). **Taka tendencja była wyraźnie widoczna dla MPM, gdzie częściowe zastąpienie mąki pszennej przez MPM w ilości do 12% miało istotny wpływ ($p \leq 0,05$) na zwiększenie twardości i żujności miększu, mierzonej zarówno po 24 i 72 godzinach.** Stwierdzono też, wysoką ujemną korelację pomiędzy objętością pieczywa a twardością ($R = -0,98$) oraz porowatością i twardością ($R = -0,96$) (**L2.1**). Wprowadzenie MPM do receptury miało też istotny ($p \leq 0,05$) wpływ na zmniejszenie spójności w porównaniu z kontrolą, nie odnotowano natomiast różnic statystycznie istotnych między próbkami zawierającymi różny dodatek MPM. Nie zaobserwowano także istotnego ($p \leq 0,05$) wpływu MDF na sprężystość miększu. W badaniach przeprowadzonych przez Azadfar i in. (2023) stwierdzono, że dodatek błonnika może prowadzić do zmniejszenia sprężystości. Autorzy wykazali obniżenie sprężystości w wyniku dodatku wytlóków po produkcji oliwy, co według nich było efektem częściowego odwodnienia i rozcieńczenia glutenu, a także niewystarczającego spęcznienia i żelatynizacji skrobi podczas pieczenia. Różnica w wynikach może być związana z różną zawartością błonnika pokarmowego, stosunkiem błonnika rozpuszczalnego do nierozpuszczalnego oraz recepturą chleba. **Podczas przechowywania zaobserwowano wzrost twardości i zmniejszenie spójności (świadczące o wroście kruchości) próbek chleba z dodatkiem MPM. Jest to typowy objaw starzenia się pieczywa. Biorąc jednak pod uwagę zakres zmian badanych cech w próbie kontrolnej i w chlebach z dodatkiem MPM, stwierdzono wyraźne obniżenie szybkości czerstwienia dzięki zastosowaniu dodatku MDF.** Wzrost twardości i obniżenie spójności próbki kontrolnej, odnotowane pomiędzy 24 a 72 godziną, wyniosło odpowiednio 92% i 44%. Zakres zmian twardości, w trakcie przechowywania chlebów z dodatkiem MPM mieścił się w przedziale od 58% do 38%, odpowiednio dla

3% i 12% udziału MPM. Z kolei zakres zmian spójności mieścił się w przedziale od 26% do 33%, jednak bez wyraźnego trendu wskazującego na wpływ poziomu dodatku. W przypadku pozostałych cech (żujność, sprężystość) nie odnotowano istotnych ($p \leq 0,05$) zmian w trakcie przechowywania pieczywa.

Wyniki pomiarów dla mięksizu chleba z dodatkiem ML nie wykazały ich negatywnego wpływu na parametry tekstury. Analiza statystyczna wyników uzyskanych po 24 godzinach nie wykazała statystycznie istotnych różnic ($p \leq 0,05$) pomiędzy wartościami otrzymanymi dla próby kontrolnej (twardość, spójność, sprężystość oraz żujność) a wartościami dla pieczywa z różnym dodatkiem ML (I.2.4). **Podczas przechowywania chleba z dodatkiem ML obserwowano natomiast wzrost twardości i zmniejszenie spójności, podobnie jak w przypadku chleba z MPM. Dodatkowo, zaobserwowano zmniejszenie sprężystości i wzrost żujności. Jednak w przeciwieństwie do dodatku MPM, dodatek ML intensyfikował zachodzące zmiany tekstury.** Dla przykładu, zwiększenie twardości dla próby kontrolnej pomiędzy 24 a 72 godziną wyniosło 50%. Z kolei dla pieczywa z dodatkiem ML przyrost twardości mieścił się w zakresie od 79% do 108%, jednak bez wyraźnego trendu związanego ze zmianą udziału ML. Jeszcze większy wpływ dodatku ML odnotowano w przypadku żujności i sprężystości. Zmiany tych parametrów dla chlebów z dodatkiem ML jakie wystąpiły podczas przechowywania były ponad dwukrotnie większe niż w przypadku próby kontrolnej. W mniejszym zakresie dodatek ML wpłynął natomiast na zmiany spójności.

Ze względu na zmiany twardości i sprężystości mięksizu, wpływ dodatku MKO może być porównywany z dodatkiem MPM (I.2.6). Dodatek MKO powodował istotne ($p \leq 0,05$) zwiększenie twardości, prowadząc jednocześnie do zmniejszenia sprężystości w porównaniu do próby kontrolnej, mierzonej po 24 godzinach. Podobnie jak w przypadku pieczywa z dodatkiem MPM, zaobserwowano również silną ujemną korelację między twardością a objętością pieczywa ($R = -0,92$). Jednak, w przeciwieństwie do zachowania pieczywa z dodatkiem MPM, dodatek MKO prowadził do niewielkiego, ale istotnego statystycznie, zmniejszenia żujności, przy braku istotnych zmian w spójności mięksizu ($p \leq 0,05$). **W trakcie przechowywania pieczywa z dodatkiem MKO największe zmiany wystąpiły w twardości, spójności i żujności mięksizu.** Podobnie jak w przypadku dodatku MPM, odnotowano zwiększenie twardości i zmniejszenie spójności. **Dodatek MKO przyczynił się do zmniejszenia zakresu zmian tych cech tekstury w trakcie przechowywania w porównaniu do zakresu zmian jakie wystąpiły w próbie kontrolnej.** Dla przykładu, zwiększenie twardości w próbie kontrolnej w trakcie przechowywania wyniosło 100%, podczas gdy dla pieczywa wzbogaconego w MKO zwiększenie twardości mieściło się w przedziale od 100% do 61%, odpowiednio dla 6% i 18% dodatku MKO. **Przeprowadzone badania wykazały zatem, że dodatek MPM jak i MKO do receptury pieczywa może mieć pozytywny wpływ na ograniczenie zakresu zmiany parametrów tekstury jakie występują w trakcie przechowywania pieczywa.**

Dodatek MPM, ML oraz MKO do receptury pieczywa znacząco zwiększył zawartość popiołu, białka, lipidów i błonnika pokarmowego (wszystkie frakcje) ($p < 0,05$) i jednocześnie przyczynił się do istotnego obniżenia zawartości węglowodanów. **Zawartość TDF w chlebie wzbogaconym MPM**

mieściła się w przedziale od 8,36% s.m. do 12,57% s.m., odpowiednio dla 3% i 12% dodatku MPM (I.2.1). Zawartość IDF w chlebie z MPM zawierała się w przedziale od 3,05% s.m. do 7,14% s.m., natomiast zawartość SDF w zakresie od 5,3% s.m. do 5,42% s.m. Dla porównania zawartość TDF, IDF i SDF w chlebie kontrolnym wynosiła odpowiednio 6,45% s.m., 2,9% s.m. i 3,56% s.m. **Należy zaznaczyć, że mimo zwiększenia zawartości tłuszczu, zaobserwowano istotne obniżenie wartości energetycznej pieczywa, co było wynikiem zarówno obniżenia zawartości węglowodanów przyswajalnych, jak i zwiększenia wilgotności miękiszu.** Wartość energetyczna pieczywa suplementowanego mieściła się od 214,2 kcal do 209,9 kcal, odpowiednio dla 3% oraz 12% dodatku MPM. W próbie kontrolnej wartość energetyczna wyniosła 217,2 kcal.

W chlebie wzbogaconym ML zawartość TDF mieściła się w przedziale od 9,22% s.m. do 12,97% s.m., odpowiednio dla 5% i 15% udziału ML (I.2.4). Zawartość IDF zawierała się w przedziale od 4,85% s.m. do 6,59% s.m., natomiast zawartość SDF w zakresie od 4,38% s.m. do 6,38% s.m. Dla porównania, zawartość TDF, IDF i SDF w chlebie kontrolnym wynosiła odpowiednio 7,15% s.m., 4,59% s.m. i 2,56% s.m. Wartość energetyczna pieczywa suplementowanego ML zawierała się w przedziale od 197,8 kcal do 179,9 kcal, odpowiednio dla 5% i 15% dodatku ML i była istotnie mniejsza w porównaniu z wartością energetyczną próby kontrolnej 208,1 kcal.

W pieczywie półcukierniczym wzbogaconym MKO zawartość TDF mieściła się w przedziale od 10,63% s.m. do 15,59% s.m., odpowiednio dla 6% i 18% udziału MKO (I.2.6). IDF zawierał się w przedziale od 7,50% s.m. do 12,30% s.m., natomiast zawartość SDF w zakresie od 3,17% s.m. do 3,33% s.m. Dla porównania, zawartość TDF, IDF i SDF w chlebie kontrolnym wynosiła odpowiednio 6,75% s.m., 3,9% s.m. i 2,88% s.m. Wartość energetyczna wzbogaconego pieczywa zawierała się od 248,6 kcal do 240,3 kcal, odpowiednio dla 6% i 18% dodatku MKO i była istotnie mniejsza w porównaniu do wartości energetycznej dla próby kontrolnej (265,7 kcal).

Opublikowane wyniki potwierdziły potencjał MPM, ML oraz MKO jako interesującego dodatku do żywności, który poprawia właściwości odżywcze żywności, zwłaszcza pod względem zwiększania zawartości błonnika pokarmowego. Substytucja odpowiednio 6% MPM, 10% ML oraz 12% MKO spowodował zwiększenie zawartości TDF oraz frakcji IDF i TDF powyżej 50% w porównaniu z pieczywem kontrolnym, co pozwala uznać powstałe pieczywo za produkt funkcjonalny.

Końcowym etapem weryfikacji przydatności makuchów do otrzymania pieczywa o zwiększonej wartości żywieniowej były przeprowadzone badania akceptacji konsumenckiej. Dodatek surowców o wysokiej zawartości błonnika z reguły wiąże się z obniżeniem akceptowalności chleba, jednak znaczące obniżenie jest zazwyczaj obserwowane przy dodatku powyżej 10% (Wirkijowska i in., 2018). Zwiększenie udziału MPM z 3% do 12% spowodowało zmniejszenie ogólnej akceptowalności z 4,63 do 4,05 (w 5-cio punktowej skali) (I.2.1). Ogólna akceptowalność chleba suplementowego MPM (do 6%) była zbliżona do kontroli, wartości odpowiednio 4,55 i 4,82. Nie wykazano istotnych różnic statystycznych ($p \leq 0,05$) we wszystkich ocenianych właściwościach sensorycznych. Wzrost udziału MPM powyżej 9% spowodował już statystycznie istotne obniżenie ogólnej oceny w porównaniu do

kontroli. Wynikało to głównie z obniżenia ocen związanych z kolorem miękiszu, porowatością i smakiem. Należy zauważyć, że kolor i smak są uważane za jedne z ważniejszych wyróżników wpływające na akceptację konsumentów w odniesieniu do produktów piekarniczych (Dhen i in., 2018). **Ze względu na ocenę organoleptyczną należy uznać dodatek MPM na poziomie 6 g/100 g mieszanki za najbardziej zalecany. Taki poziom suplementacji zapewnił 59% wzrost zawartości błonnika pokarmowego, 32% wzrost zawartości tłuszczu oraz 50% wzrost zawartości elementów mineralnych, przy istotnie niższej zawartości węglowodanów przyswajalnych i mniejszej wartości energetycznej w porównaniu z chlebem kontrolnym.**

Ogólna akceptowalność chlebów z dodatkiem ML mieściła się w zakresie od 8,8 do 8,3 dla odpowiednio dla 5% i 15% dodatku ML. Dla kontroli było to 9,0 (w 9-cio punktowej skali oceny) (I.2.4). **Dodatek ML w ilości do 10% nie wywołał istotnego negatywnego efektu w żadnym z ocenianych atrybutów sensorycznych.** Zwiększający się, powyżej 10%, udział ML prowadził do obniżenia ocen związanych głównie z barwą skórki i miękiszu, przy zachowaniu wysokiego poziomu akceptowalności pozostałych cech. Porównanie pieczywa otrzymanego z dodatkiem ML z pieczywem otrzymanym z handlowo dostępnej mąki lnianej wykazało nieznacznie wyższą ocenę chleba z dodatkiem makuchu lnianego, na co wpłynęły lepsze oceny porowatości, koloru miękiszu, skórki oraz zapachu. **10% dodatek ML do chleba pozwolił uzyskać akceptowalną teksturę i cechy sensoryczne. Przy takim poziomie suplementacji odnotowano wzrost zawartości błonnika pokarmowego o 63%, białka o 15%, 4-krotny wzrost zawartości tłuszczu wolnego, a także 20% wzrost zawartości elementów mineralnych w porównaniu do pieczywa kontrolnego. Jednocześnie, wartość kaloryczna otrzymanego pieczywa była o 10% niższa niż w przypadku próby kontrolnej.**

Ogólna akceptowalność pieczywa półcukierniczego z dodatkiem MKO mieściła się w zakresie od 9,0 do 7,0 odpowiednio dla 6 % i 18% suplementacji, przy wartości dla kontroli równej 9,0 (w 9-cio punktowej skali ocen) (I.2.6). **Przeprowadzone badania wykazały, że dodatek MKO w ilości 12% nie ma negatywnego wpływu na ocenę sensoryczną.** Przy takim poziomie dodatku nie odnotowano istotnych różnic w porównaniu do próby kontrolnej w żadnej z ocenianych cech. Ocena porównawcza pieczywa z dodatkiem MKO oraz komercyjnie dostępnej mąki kokosowej wykazała, że jedynie przy 18% dodatku MKO następuje znaczne pogorszenie ocen w stosunku do pieczywa z dodatkiem mąki kokosowej. Dodatek MKO w ilości 18% prowadzi do istotnego obniżenia ogólnej akceptowalności, głównie ze względu na bardzo niskie oceny w zakresie porowatości i elastyczności. **Zalecany, na podstawie wyników oceny sensorycznej, jest dodatek MKO w ilości 12%, co prowadzi do 76% wzrostu zawartości błonnika, 19% wzrostu zawartości tłuszczu, 84% wzrostu zawartości elementów mineralnych oraz 8% wzrostu zawartości białka, przy redukcji kaloryczności pieczywa o około 8%, w porównaniu do próby kontrolnej.**

IV.3.4. Podsumowanie

Badania prezentowane w Osiągnięciu (I.2.1- I.2.7) stanowią oryginalne opracowanie dotyczące wykorzystania makuchów pozyskanych z tłoczenia na zimno oleju z nasion pszczelnika mołdawskiego, siemienia lnianego i kopry w produkcji produktów zbożowych o zwiększonej wartości żywieniowej. Wykazano, że produkty zbożowe suplementowane w/w makuchami, mogą stanowić alternatywę dla tradycyjnych wyrobów nie tylko ze względu na podwyższoną wartość żywieniową, m.in. zwiększoną zawartość błonnika pokarmowego, białka czy obniżoną kaloryczność ale także akceptowalne cechy jakościowe i sensoryczne, nie odbiegające od tradycyjnych wyrobów. Przedstawione w Osiągnięciu wyniki stanowią źródło nowej wiedzy na temat składu chemicznego makuchów oraz ich wpływu na właściwości reologiczne suplementowanego ciasta, zmiany w strukturze drugorzędowej siatki glutenowej, populacje wody, przebieg procesu wypieku pieczywa i wytłaczania makaronu, oraz cechy jakościowe i sensoryczne uzyskanych produktów. Przeprowadzone badania są istotne zarówno z punktu widzenia poznawczego, jak i aplikacyjnego. Podjęta tematyka, wpisuje się w aktualny i ważny społecznie trend związany z polityką „zero waste”. Uzyskane wyniki wskazują na możliwość zagospodarowania produktu ubocznego przemysłu rolno-spożywczego, w kierunku produkcji innowacyjnej żywności o cechach funkcjonalnych. Takie działanie niesie w sobie wymierny aspekt ekonomiczny i ekologiczny, przyczyniając się do budowania gospodarki o obiegu zamkniętym.

IV.3.5. Literatura

1. AACC. (2000). Approved methods of the American association of cereal chemist. St. Paul: The Association.
2. Almeida E.L., Chang Y.K., Steel C.J. (2013). Dietary fibre sources in bread: Influence on technological quality. *LWT*, 50, 545-553.
3. Ancuța P., Sonia A. (2020). Oil press-cakes and meals valorization through circular economy approaches: A review. *Appl. Sci.*, 10 (21), 7432.
4. Arancon R.N. (1999). Coconut flour. *Cocoinfo International*, 6, 8-10.
5. Aravind N., Sissons M., Egan N., Fellows C. (2012). Effect of insoluble dietary fibre addition on technological, sensory, and structural properties of durum wheat spaghetti. *Food Chem.*, 130, 299-309.
6. Azadfar E., Elhami Rad A. H., Sharifi A., Armin M. (2023). Effect of Olive Pomace Fiber on the Baking Properties of Wheat Flour and Flat Bread (Barbari Bread) Quality. *J. Food Process. Preserv.*, Article ID 1405758
7. Badjona A., Adubofuor J., Amoah I., Diako C.H. (2019). Valorisation of carrot and pineapple pomaces for rock buns development. *Sci. Afr.*, 6, e00160
8. Bayala D.D. (2000). The economics of production, utilization and marketing of coconut flour from milk residue. *CORD*, 16(1), 1-13.
9. Borneo R., Aguirre A. (2008). Chemical composition, cooking quality, and consumer acceptance of pasta made with dried amaranth leaves flour. *LWT*, 41 (10), 1748-1751.
10. Caldeira C., de Laurentiis V., Corrado S., van Holsteijn, F., Sala S. (2019). Quantification of food waste per product group along the food supply chain in the European union: A mass flow analysis. *Resour. Conserv. Recycl.*, 149, 479-488.
11. Caldeira C., Sara C., Serenella S. (2017). Food waste accounting: methodologies, challenges and opportunities, Publications Office of the European Union, Luxembourg (Luxembourg).
12. Carraro J.C.C., Dantas M.I.D.S., Espeschit A.C.R., Martino H.S.D., Ribeiro S. (2012). Flaxseed and Human Health: Reviewing Benefits and Adverse Effects. *Food Rev. Int.*, 28, 203-230.
13. Chouaibi M., Rezig L., Boussaid A., Hamdi S. (2019). Insoluble tomato-fiber effect on wheat dough rheology and cookies' quality. *Ital. J. Food Sci.*, 31 (1).

14. Codina G.G., Istrate A.M., Gontariu I., Mironeasa S. (2019). Rheological properties of wheat–flaxseed composite flours assessed by mixolab and their relation to quality features. *Foods*, 8, 333.
15. Coppa C., Alamprese C. (2017). Brewer's spent grain valorization in fiber-enriched fresh egg pasta production: Modelling and optimization study. *LWT*, 82, 464-470.
16. Corrado S., Caldeira C., Eriksson M., Hanssen O.J., Hauser H.E., van Holsteijn F., Liu G., Ostergren K., Parry A., Secondi L., Stenmarc A., Sala S. (2019). Food waste accounting methodologies: Challenges, opportunities, and further advancements. *Glob. Food Sec.*, 20, 93-100.
17. Coskuner Y., Karababa E. (2007). Physical properties of coriander seeds (*Coriandrum sativum* L.). *J. Food Eng.*, 80, 408-416.
18. Dastmalchi K., Damien Dorman H.J., Laakso I., Hiltunen R. (2007). Chemical composition and antioxidative activity of Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica* L.) extracts. *LWT*, 40, 1655-1663.
19. de Erive M.O., Wang T., He F., Chen G. (2020). Development of high-fiber wheat bread using microfluidized corn bran. *Food Chem.*, 310, 125921,
20. Dhen N., Ben Rejeb I., Boukhris H., Damergi C., Gargouri M. (2018). Physicochemical and sensory properties of wheat- Apricot kernels composite bread. *LWT*, 95, 262-267.
21. Dick J.W., Youngs V.L. (1988). Evaluation of durum wheat semolina and pasta in the United States. In G. Fabriani, & C. Lintas (Eds.), *Durum wheat: Chemistry and technology* (pp. 237-248). St. Paul, American Association of Cereal Chemists.
22. Dmitruk M., Weryszko-Chmielewska E., Sulborska A. (2018). Flowering and nectar secretion in two forms of the Moldavian dragonhead (*Dracocephalum Moldavica* L.) – a plant with extraordinary apicultural potential. *J. Apic. Sci.*, 62, 97-110.
23. Domokos J., Peredi J., Halasz-Zelnik K. (1994). Characterization of seed oils of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) and catnip (*Nepeta cataria* var. *citriodora* Balb.). *Ind. Crops Prod.*, 3, 91-94.
24. Dugani A., Auzzi A., Naas F., Megwez S. (2009). Effects of the oil and mucilage from flaxseed (*Linum usitatissimum*) on gastric Lesions induced by ethanol in rats. *Libyan J. Med.*, 3, 166-169.
25. Dziki D., Cacak-Pietrzak G., Gawlik-Dziki U., Sulek A., Kocira S., Biernacka B. (2019). Effect of Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) leaves on the baking properties of wheat flour and quality of bread. *CYTA – J. Food*, 17(1), 536-543.
26. Dziki D., Miś A., Gładyszewska B., Laskowski J., Kwiatkowski S., Gawlik-Dziki U. (2013b). Physicochemical and grinding characteristics of dragonhead seeds. *Int. Agrophysics*, 27, 403–408
27. Dziki D., Różyło R., Biernacka B. (2013a). The quality of fortified pasta. *Polish J. Food Nutr. Sci.*, 7, 11-16.
28. Elkatry H.O., Ahmed A.R., El-Beltagi H.S., Mohamed H.I., Eshak N.S. (2022). Biological activities of grape seed by-products and their potential use as natural sources of food additives in the production of balady bread. *Food*, 11 (13), 1948,
29. Ewerlin M., Bortolatto R., Torquato A., Steinmacher N., Rodrigues, A. (2018). Proximate composition and fatty acids from partially defatted chia (*Salvia hispanica*) flour. *Rev. Virtual Quim.*, 10 (1), 13-20.
30. Faustino M., Veiga M., Sousa P., Costa E.M., Silva S., Pintado M. (2019) Agro-Food Byproducts as a New Source of Natural Food Additives. *Molecules*, 24 (6), 1056.
31. Fernández-López J., Lucas-González R., Viuda-Martos M., Sayas-Barberá E., Pérez-Alvarez J.A. (2018). Chia oil extraction coproduct as a potential new ingredient for the food industry: Chemical, physicochemical, techno-functional and antioxidant properties. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 73, 130-136.
32. Giacco R., Vitale M., Riccardi G. (2016). Pasta: Role in diet. In G. Caballero, P. M. Finglas, & F. Toldra (Eds.), *The encyclopedia of food and health* (pp. 242-245). Oxford, Oxford Academic Press.
33. Giada M. (2010). Food applications for flaxseed and its components: Products and processing. *Recent Pat. Food Nutr. Agric.*, 2, 181-186.
34. Gill S., Vasanthan T., Ooraikul B., Rossnagel B. (2002). Wheat bread quality as influenced by the substitution of waxy and regular barley flours in their native and extruded forms. *J. Cereal Sci.*, 36, 219-237.
35. Gunathilake K.D.P.P., Abeyrathne Y.M.R.K. (2008). Incorporation of coconut flour into wheat flour noodles and evaluation of its rheological, nutritional and sensory characteristics. *J. Food Process. Preserv.*, 32, 133-142.
36. Gunathilake K.D.P.P., Yalgama C., Kumara A.A.N. (2009). Use of coconut flour as a source of protein and dietary fibre in wheat bread. *As. J. Food Ag-Ind.* 2(03), 382-391
37. Gutiérrez C., Rubilar M., Jara C., Verdugo M., Sineiro J, Shene C. (2010). Flaxseed and flaxseed cake as a source of compounds for food industry. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 10 (4), 454-463.
38. Hanczakowski P., Szymczyk B., Kwiatkowski S., Wolski T. (2009). Composition and nutritive value of protein of Moldavian balm seeds (*Dracocephalum moldavica* L.). *Ann. Anim. Sci.*, 36, 55-61.
39. Helkar P.B., Sahoo A.K., Patil N.J. (2016). Review: Food Industry By-Products used as a Functional Food Ingredients. *Int. J. Waste Resour.*, 2016, 6 (3), 1-6.

40. Horn T., Völker J., Rühle M., Häser A., Jürges G., Nick P. (2014). Genetic authentication by RFLP versus ARMS? The case of moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). *Eur. Food Res. Technol.*, 238, 93-104.
41. Hosseinian F., Muir A.D., Westcott N.D., Krol E. (2006). Antioxidant capacity of flaxseed lignans in two model systems. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 83, 835-840.
42. Husted K.S., Bouzinova E.V. (2016). The importance of n-6/n-3 fatty acids ratio in the major depressive disorder. *Medicina*, 52, 139-147.
43. Imran M., Anjum F.M., Ahmad N., Khan M.K., Mushtaq Z., Nadeem M., Hussain S. (2015). Impact of extrusion processing conditions on lipid peroxidation and storage stability of full-fat flaxseed meal. *Lipids Health Dis.*, 14, 1-9.
44. IFO. International Pasta Organization. (2018). Pasta consumption continues to grow worldwide. <http://www.pastaforall.info/wordpress/2018/06/18/pasta-consumption-grows-worldwide/>. (26 August 2020).
45. Jimenez-Moreno N., Esparza I., Bimbela F., Gandia L.M., Ancin-Azpilicueta C. (2020). Valorization of selected fruit and vegetable wastes as bioactive compounds: Opportunities and challenges. *Crit. Rev. Env. Sci. Tec.*, 50, 2061-2108.
46. Kadirvelu K., Fathima N.N. (2021). Deciphering mechanism of assembly of keratin within nanofibrous matrix: expanding the horizon of electrospun polymer/protein composites. *ChemistrySelect*, 6 (40), 10767-10775.
47. Kaur P., Sharma P., Kumar V., Panghal A., Kaur J., Gat Y. (2019). Effect of addition of flaxseed flour on phytochemical, physicochemical, nutritional, and textural properties of cookies. *J. Saudi Soc. Agric. Sci.*, 18(4), 372-377.
48. Koca A.F., Anil M. (2007). Effect of flaxseed and wheat flour blends on dough rheology and bread quality. *J. Sci. Food Agric.*, 87, 1172-1175.
49. Kumar J., Rani K., Datt C. (2020). Molecular link between dietary fibre, gut microbiota and health. *Mol. Biol. Rep.*, 47, 6229-6237.
50. Laleg K., Barron C., Cordelle S., Schlich P., Walrand S., Micard V. (2017). How the structure, nutritional and sensory attributes of pasta made from legume flour is affected by the proportion of legume protein. *LWT*, 79, 471-478.
51. Liu J., Shim Y.Y., Tse T.J., Wang Y., Reaney M.J.T. (2018). Flaxseed gum a versatile natural hydrocolloid for food and non-food applications. *Trends Food Sci. Technol.*, 75, 146-157.
52. Liu M., Wu P., Ding Y., Chen G., Li S. (2002). Two-dimensional (2D) ATR FT-IR spectroscopic study on water diffusion in cured epoxy resins. *Macromolecules*, 35, 5500-5507.
53. Lukas B.F., Morais M.G., Santos T.D., Costa J.A.V. (2018). Spirulina for snack enrichment: Nutritional, physical and sensory evaluations. *LWT*, 90, 270-276.
54. Machado A., Gerald, M.V., do Nascimento R.P., Moya A., Vezza T., Diez-Echave P., Galvez J.J., Cazarin C.B.B., Marostica Junior M.R. (2021). Polyphenols from food by-products: An alternative or complementary therapy to IBD conventional treatments. *Food Res. Int.*, 140, 110018.
55. Manikantan M.R., Ambrose R.P.K., Alavi S. (2015). Flow-specific physical properties of coconut flours. *Int. Agrophysics*, 29(4), 459-465.
56. Manthey F.A., Schorno A.L. (2002). Physical and cooking quality of spaghetti made from whole wheat durum. *Cereal Chem.*, 79, 504-510.
57. Mantri R., Sanavana S., Arya S. (2012). Flaxseed-Health benefits and applications. *Food Market. Technol.*, 24-28.
58. Marpalle P., Sonawane S.K., Arya S.S. (2014). Effect of flaxseed flour addition on physicochemical and sensory properties of functional bread. *LWT*, 58, 614-619.
59. Miś A., Dziki D. (2013). Extensograph curve profile model used for characterising the impact of dietary fibre on wheat dough. *J. Cereal Sci.*, 57(3), 471-479.
60. Miś A., Krekora M., Niewiadomski Z., Dziki D., Nawrocka A. (2020). Water redistribution between model bread dough components during mixing. *J. Cereal Sci.*, 95, 103035.
61. Miś A., Nawrocka A., Dziki D. (2017). Behaviour of dietary fibre supplements during bread dough development evaluated using novel farinograph curve analysis. *Food Bioproc. Tech.*, 10, 1031-1041.
62. Nawrocka A., Krekora M., Niewiadomski Z., Miś A. (2018). FTIR studies of gluten matrix dehydration after fibre polysaccharide addition. *Food Chem.*, 252, 198-206.
63. Nawrocka A., Krekora M., Niewiadomski Z., Szymańska-Chargot M., Krawęcka A., Sobota A., Miś A. (2020). Effect of moisturizing pre-treatment of dietary fibre preparations on formation of gluten network during model dough mixing – A study with application of FT-IR and FT-Raman spectroscopy. *LWT*, 121, 108959.
64. Nawrocka A., Miś A., Niewiadomski Z. (2017). Dehydration of gluten matrix as a result of dietary fibre addition – A study on model flour with application of FT-IR spectroscopy. *J. Cereal Sci.*, 74, 86-94.
65. Nawrocka A., Miś A., Szymańska-Chargot M. (2016). Characteristics of relationships between structure of gluten proteins and dough rheology – influence of dietary fibres studied by FT-Raman spectroscopy. *Food Biophys.*, 11, 81-90.
66. Nawrocka A., Szymańska-Chargot M., Miś A., Kowalski R., Gruszecki W.I. (2016). Raman studies of gluten proteins aggregation induced by dietary fibres. *Food Chem.*, 194, 86-94.

67. Nevara G.A., Giwa Ibrahim S., Syed Muhammad S.K., Zawawi N., Mustapha N.A., Karim R. (2022). Oilseed meals into foods: an approach for the valorization of oilseed by-products. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 1-14.
68. Nikitina A.S., Popova O.I., Ushakova L.S., Chumakova V.V., Ivanova L.I. (2008). Studies of the essential oil of *Dracocephalum moldavica* cultivated in the Stavropol region. *Pharm. Chem. J.*, 42, 202-207.
69. Nindrea R.D., Aryandono T., Lazuardi L., Dwiprahasto I. (2019). Association of dietary intake ratio of n-3/n-6 polyunsaturated fatty acids with breast cancer risk in western and asian countries: A meta-analysis. *Asian Pac. J. Cancer Prev.*, 20, 1321-1327.
70. Oniszczyk T., Wójtowicz A., Combrzyński M., Mitrus M., Kupryaniuk K., Matysiak A., et al. (2019). Selected properties of snacks extruded at various screw speeds supplemented with Moldavian dragonhead seed addition. *Int. Agrophysics*, 33, 363-371.
71. Oniszczyk T., Wójtowicz A., Kocira S., Żelizko K., Oniszczyk A., Dib A. (2017). The use of Moldavian dragonhead bagasse waste in extruded products. In E. Lorencowicz, J. Uziak, & B. Huyghebaert (Eds.), *Machinery and processes management in sustainable agriculture* (pp. 278-283). Lublin, Poland: IX International Scientific Symposium.
72. Oomah B.D. (2001). Flaxseed as a functional food source. *J. Sci. Food Agric.*, 81, 889-894.
73. Patil U., Benjakul S. (2017). Characteristics of albumin and globulin from coconut meat and their role in emulsion stability without and with proteolysis. *Food Hydrocoll.*, 69, 220-228.
74. Petitot M., Boyer L., Minier C., Micard V. (2010). Fortification of pasta with split pea and faba beans flours: Pasta processing and quality evaluation. *Food Res. Int.*, 43, 634-641.
75. Prakash K., Naik S. N., Vadivel D., Hariprasad P., Gandhi D., Saravanadevi S. (2018). Utilization of defatted sesame cake in enhancing the nutritional and functional characteristics of biscuits. *J. Food Process. Preserv.*, 42, e13751.
76. Quero J., Jimenez-Moreno N., Esparza I., Osada J., Cerrada E., Ancin-Azpilicueta C., Rodriguez-Yoldi M.J. (2021). Grape Stem Extracts with Potential Anticancer and Antioxidant Properties. *Antioxidants*, 10, 243.
77. Raghavarao K.S.M.S., Raghavendra S.N., Rastogi N.K. (2008). Potential of coconut dietary fibre. *Indian Coconut J.*, 51, 2-7.
78. Regitz-Zagrosek V., Wintermantel T. M., Schubert C. (2007). Estrogens and SERMs in coronary heart disease. *Curr. Opin. Pharmacol.*, 7, 130-139.
79. Renaud S.C. (2002). The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomed. pharmacother.*, 56, 365-379.
80. Rethinam P. (2018). International scenario of coconut sector, in *The Coconut Palm (Cocos nucifera L.) – Research and Development Perspectives*, ed. by Nampoothiri KUK, Krishnakumar V, Thampan PK, Nair M and Achuthan M. Springer Nature Singapore Ltd, Singapore.
81. Riccardi G., Clemente G., Giacco R. (2003). Glycemic Index of local foods and diets: The Mediterranean experience. *Nut. Rev.*, 61, 56-60.
82. Roozegar M.H., Shahedi M., Keramet J., Hamdami N., Roshanak S. (2015). Effect of coated and uncoated ground flaxseed addition on rheological, physical and sensory properties of Taftoon bread. *J. Food Sci. Technol.*, 52, 5102-5110.
83. Rosa-Sibakov R.N., Heinio R.L., Cassan D., Holopainen-Mantila U., Micard V., Lantto R., et al. (2016). Effect of bioprocessing and fractionation on the structural, textural and sensory properties of gluten-free faba bean pasta. *LWT*, 67, 27-36.
84. ROZPORZĄDZENIE (WE) NR 1924/2006 PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 20 grudnia 2006 r. w sprawie oświadczeń żywieniowych i zdrowotnych dotyczących żywności
85. ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (UE) NR 1047/2012 z dnia 8 listopada 2012 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1924/2006 w odniesieniu do wykazu oświadczeń żywieniowych
86. ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (UE) NR 116/2010 z dnia 9 lutego 2010 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1924/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wykazu oświadczeń żywieniowych
87. Rubel I.A., Perez E.E., Manrique G.D., Genovese D.B., (2015). Fibre enrichment of wheat bread with Jerusalem artichoke inulin: effect on dough rheology and bread quality. *Food Struct.*, 3, 21-29.
88. Rubilar M., Gutierrez C., Verdugo M., Shene C., Sineiro J. (2010). Flaxseed as a Source of Functional Ingredients. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 10, 373-377.
89. Ruiz Rodriguez L.G., Zamora Gasga V.M., Pescuma M., Van Nieuwenhove C., Mozzi F., Sanchez Burgos J.A., (2021). Fruits and fruit by-products as sources of bioactive compounds. Benefits and trends of lactic acid fermentation in the development of novel fruit-based functional beverages. *Food Res. Int.*, 140, 109854.
90. Rumińska W., Szymańska-Chargot M., Wiącek D., Sobota A., Markiewicz K.H., Wilczewska A.Z., Miś A., Nawrocka A. (2020). FT-Raman and FT-IR studies of the gluten structure as a result of model dough supplementation with chosen oil pomaces. *J. Cereal Sci.*, 93, 102961.
91. Schoenlechner R., Drausinger J., Ottenschlaeger V., Jurackova K., Berghofer E. (2010). Functional properties of gluten-free pasta produced from amaranth, quinoa and buckwheat. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 65, 339-349.

92. Sęczyk Ł., Świeca M., Dżiki D., Anders A., Gawlik-Dżiki U. (2017). Antioxidant, nutritional and functional characteristics of wheat bread enriched with ground flaxseed hulls. *Food Chem.*, 214, 32-38.
93. Seleiman M., Abdel-Aal S., Ibrahim M., Zahran G. (2011). Productivity, grain and dough quality of bread wheat grown with different water regimes. *J. Agron. Crop Sci.*, 2(1), 11-17.
94. Sindurani J.A., Rajamohan T. (1998). Effect of dietary fibre from coconut kernel on cholesterol metabolism. *Indian Coconut Journal*, 30(5), 12-16.
95. Singh K.K., Mridula D., Rehal J., Barnwal P. (2011). Flaxseed: A potential source of food, feed and fiber. *Crit. Rev. Food Sci. Nut.*, 51, 210-222.
96. Sobota A., Rzedzicki Z., Zarzycki P., Kuzawińska E. (2015). Application of common wheat bran for the industrial production of high-fibre pasta. *Int. J. Food Sci.*, 50, 111-119.
97. Sobota A., Rzedzicki Z., Zarzycki P., Wirkijowska A., Sykut-Domańska E. (2015a). Changes in content of free fat during egg pasta manufacturing process. *Food. Science. Technology. Quality*, 5, 152-164.
98. Sobota A., Zarzycki P. (2013). Effect of pasta cooking time on the content and fractional composition of dietary fiber. *J. Food Qual.*, 36, 127-132.
99. Stanisławska J., Kurzawa I. (2016). Spożycie pieczywa i produktów zbożowych w gospodarstwach domowych według grup społeczno-ekonomicznych w Polsce. *Studia i Prace WNEiZ US* 43, 391-402.
100. Sudha M.L., Vetrmani R., Leelavathi K. (2007). Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chem.*, 100, 1365-1370.
101. Sujirtha N., Mahendran T. (2015). Use of defatted coconut flour as a source of protein and dietary fibre in wheat biscuits. *Int. J. Innov. Res. Technol. Sci. Eng.*, 4(8), 7344-7352.
102. Teterycz D., Sobota A., Zarzycki P., Latoch A. (2020). Legume flour as a natural colouring component in pasta production. *J. Food Sci. Technol.*, 57, 301-309.
103. Trinidad P.T., Mallillin A.C., Valdez D.H., Loyola A.S., Askali-Merkardo F., Castillo J.C., Encabo R.R., Masa D.B., Maglaya A.S., Chua M.T. (2006). Dietary fibre from coconut flour: A functional food. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 7, 309-317.
104. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, FoodData Central. [Online]. Available: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/query=roll> [15 May 2021]
105. Veselinka Z., Jelena B., Desimir K., Danica M., Slobodan M., (2013). Influence of cultivar and growing season on quality properties of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Afr. J. Agric. Res.*, 8 (21), 2545-2550.
106. Wanasundara P.K.J.P.D., Shahidi F. (2003). Flaxseed proteins: potential food applications and process-induced changes. In: Thompson LU, Cunnane SC. *Flaxseed in human nutrition*, (Ed. 2), 387-403.
107. Wang J., Rosell C.M., de Barber C.B. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chem.*, 79, 221-226.
108. Warrand J., Michaud P., Picton L., Muller G., Courtois B., Ralainirina R., Courtois J. (2005). Flax (*Linum usitatissimum*) seed cake: A potential source of high molecular weight arabinoxylans? *J. Agric. Food Chem.*, 53, 1449-1452.
109. Wirkijowska A., Sobota A., Zarzycki P., Sykut-Domańska E., Teterycz D. (2018). Effect of addition of barley wholemeal with different dietary fibre content on wheat bread quality. *Pol. J. Agron.*, 34, 44-51.
110. Wójtowicz A., Oniszczyk A., Oniszczyk T., Kocira S., Wojtunik K., Mitrus M., et al. (2017). Application of Moldavian dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.) leaves addition as a functional component of nutritionally valuable corn snacks. *J. Food Sci. Technol.*, 54, 3218-3229.
111. Xue L., Liu G., Parfitt J., Liu X., Van Herpen E., Stenmarck Å., ... & Cheng S. (2017). Missing food, missing data? A critical review of global food losses and food waste data. *Environ. Sci. Technol.*, 51(12), 6618-6633.
112. Yalagama L.L.W.C., Karunaratne N.D., Sivakanesan R., Jayasekara C. (2013). Chemical and functional properties of fibre concentrates obtained from by-products of coconut kernel. *Food Chem.*, 141, 124-130.
113. Yang L.N., Xing J.G., He C.H., Wu T. (2014). The phenolic compounds from *Dracocephalum moldavica* L. *Biochem. Syst. Ecol.*, 54, 19-22.
114. Ye X., Sui Z. (2016). Physicochemical properties and starch digestibility of Chinese noodles in relation to optimal cooking time. *Int. J. Biol. Macromol.*, 84, 428-433.
115. Zecevic V., Boskovic J., Knezevic D., Micanovic D., Milenkovic S. (2013). Influence of cultivar and growing season on quality properties of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Afr. J. Agric. Res.*, 8 (21), 2545-2550.
116. Zeng Q., Jin H.Z., Fu J.J., Qin J.J., Hu X.J., Liu J.H., et al. (2010). Chemical constituents of plants from the genus *Dracocephalum*. *Chem. Biodivers.*, 7, 1911-1929.
117. Zhang W., Wang X., Liu Y., Tian H., Flickinger B., Empie M.W., et al. (2008). Dietary flaxseed lignan extract lowers plasma cholesterol and glucose concentrations in hypercholesterolaemic subjects. *Br. J. Nutr.*, 99, 1301-1309.
118. Zhao M., Wang B., Li L., Zhao W. (2023). Anti-Obesity Effects of Dietary Fibers Extracted from Flaxseed Cake in Diet-Induced Obese Mice. *Nutrients*, 15, 1718.

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

W okresie od 2.11.2020 do 31.10.2021 odbyłem 3-miesięczny* staż naukowo-badawczy w **Laboratorium Oceny Jakości Surowców Zbożowych i Oleistych, Instytutu Agrofizyki im. Bohdana Dobrzańskiego Polskiej Akademii Nauk w Lublinie** pod opieką dr. hab. Agnieszki Nawrockiej. W ramach stażu realizowałem badania związane m.in. z oceną właściwości farinograficznych ciasta otrzymanego z mieszanek wypiekowych wzbogaconych produktami ubocznymi przemysłu olejarskiego (makuchy z tłoczenia na zimno oleju z nasion pszczołnika mołdawskiego, siemienia lnianego i kopry) oraz analizy widm w podczerwieni (FT-IR).

Wyniki badań przeprowadzonych w ramach zrealizowanego stażu (3 publikacje) oraz wcześniejszej współpracy z wyżej wymienioną jednostką (1 publikacja) zostały zamieszczone w cyklu publikacji w czasopiśmie JCR o zasięgu międzynarodowym. Cykl obejmuje publikacje **I.2.1., I.2.4, I.2.6, I.2.7, wchodzące w skład zgłaszanego osiągnięcia.** (Zaświadczenie o zrealizowaniu stażu w załączniku nr 7).

*-ze względu na okres pandemii i wprowadzane ograniczenia czasowe w funkcjonowaniu jednostek staż nie był realizowany w sposób ciągły, został rozdzielony w celu dostosowania do aktualnych w danym czasie ograniczeń i możliwości (łącznie rzeczywisty czas stażu 3 – miesiące).

W trakcie swojej pracy naukowo-badawczej podejmowałem także współpracę z naukowcami z innych uczelni. Efektem tej współpracy były publikacje wydane w ramach pozostałych obszarów badawczych, którymi się zajmowałem. Poniżej lista jednostek naukowych, z którymi podejmowałem współpracę naukową:

Instytut Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności Polskiej Akademii Nauk w Olsztynie. Współpraca z prof. dr hab. Wiolettą Błaszczak. Badania w ramach badań związanych z oceną mikrostruktury ekstrudatów o zwiększonej zawartości białka i błonnika pokarmowego oraz oceną wartości technologicznej ziarna pochodzącego z nowych rodów owsa. Lista publikacji:

II.4.A.3. Zarzycki P., Rzedzicki Z., Błaszczak W. Application of oat whole-meal and protein components as modifiers of extrudates microstructure. *International Agrophysics*, 2010, Vol. 24 No. 4, 397-406.

II.4.A.7. Kasprzak M., Rzedzicki Z., Wirkijowska A., Zarzycki P., Sobota A., Sykut-Domańska E., Błaszczak W. Effect of fibre-protein additions and process parameters on microstructure of corn

extrudates. Journal of Cereal Science, 2013, Vol. 58 Issue 3, 488-494. DOI: 10.1016/j.jcs.2013.09.002.

II.4.A.12. Sykut-Domańska E., Rzedzicki Z., Zarzycki P., Sobota A., Błaszczak W. Distribution of (1,3)(1,4)- β -D-Glucans in Grains of Polish Oat Cultivars and Lines (*Avena sativa* L.) – Short Report. Polish Journal of Food Nutrition Science, 2016, Vol. 66 (1), 51-56. DOI: 10.1515/pjfns-2015-0012.

Zakład Uprawy Roślin Zbożowych, Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy, Puławy. Współpraca z prof. dr hab. Kazimierzem Noworolnikiem oraz dr hab. Danutą Leszczyńską w ramach badań związanych z oceną właściwości technologicznych ziarna pochodzącego z nowych rodów jęczmienia. Wyniki zostały opublikowane w poniższej pracy:

II.4B.28. Wirkijowska A, **Zarzycki P.**, Noworolnik K., Leszczyńska D. Effect of nitrogen fertilisation on technological value of spring barley grain. Żywność Nauka Technologia Jakość, 2019, Vol. 26 nr 4 (120), 102-112. DOI:10.15193/zntj/2019/121/316

V.1. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

W mojej działalności naukowo-badawczej, poza osiągnięciem naukowym opisanym w pkt. IV.3, można wyróżnić następujące obszary tematyczne:

przed doktoratem:

1. ocena możliwości uzyskania ekstrudatów o zwiększonej wartości żywieniowej, w tym podwyższonej zawartości błonnika pokarmowego i białka,
2. ocena możliwości wykorzystania technologii ekstruzji do utylizacji surowców odpadowych z przemysłu mięsnego,

po doktoracie:

1. ocena możliwości uzyskania ekstrudatów o zwiększonej wartości żywieniowej, w tym podwyższonej zawartości błonnika pokarmowego i białka – kontynuacja tematyki badawczej rozpoczętej przed doktoratem,
2. ocena możliwości wykorzystania technologii ekstruzji do utylizacji surowców odpadowych pochodzących z przemysłu mięsnego i wylęgarnianego – kontynuacja tematyki badawczej rozpoczętej przed doktoratem,
3. ocena właściwości reologicznych surowców i produktów przemysłu spożywczego,
4. opracowanie i doskonalenie technologii produkcji zbożowych produktów spożywczych (pieczywo, makarony) o zwiększonej wartości żywieniowej.

Ad 1. Ocena możliwości uzyskania ekstrudatów o zwiększonej wartości żywieniowej, w tym podwyższonej zawartości błonnika pokarmowego i białka

Moja działalność naukowa rozpoczęła się w 1999 roku, gdy podjąłem pracę na stanowisku asystenta na Wydziale Techniki Rolniczej (obecnie Wydział Inżynierii Produkcji) na Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie (dawniej Akademia Rolnicza w Lublinie). W tamtym czasie zostałem włączony do Zespołu pod kierownictwem prof. dr hab. Zbigniewa Rzedzickiego, który zajmował się badaniami nad wykorzystaniem technologii ekstruzji wysokotemperaturowej (HTST) w przemyśle spożywczym. W ramach pracy zespołu uczestniczyłem w badaniach mających na celu m.in. określenie wpływu składu receptur mieszanek i parametrów ekstruzji na zmiany właściwości fizycznych i chemicznych produktów ekstrudowanych, ze szczególnym uwzględnieniem zmian w składzie frakcyjnym błonnika pokarmowego. Wyniki tych badań zostały opublikowane w artykule naukowym (II.4.B.2) oraz zostały zaprezentowane na konferencji naukowej (II.7.6).

Przed moim doktoratem zajmowałem się badaniami dotyczącymi wpływu parametrów ekstruzji na zmiany właściwości reologicznych wodnych zawiesin ekstrudatów, co stanowiło odrębny wątek badawczy w ramach tego obszaru. Głównym celem tych badań było określenie możliwości wykorzystania pomiarów właściwości reologicznych wodnych zawiesin i kleików rozdrobnionych ekstrudatów do oceny intensywności procesu ekstruzji. W badaniach wykorzystano ekstrudaty suplementowane różnymi surowcami wysokobłonnikowymi, takimi jak śruta owsiana, śruta pszenna, otręby owsiane i otręby pszenne. Przeprowadzone badania pozwoliły na identyfikację wpływu poszczególnych parametrów procesu ekstruzji na zmiany lepkości pozornej wodnych zawiesin rozdrobnionych ekstrudatów. Porównanie krzywych lepkości uzyskanych w fazie ogrzewania i chłodzenia zawiesin może być wskaźnikiem intensywności przetwarzania surowca, obejmującym stopień skleikowania i dekstrynizacji skrobi. Stwierdzono, że głównym czynnikiem wpływającym na zmiany lepkości jest temperatura ekstruzji, gdzie wzrost temperatury był skorelowany ujemnie z lepkością zawiesin. Jednocześnie ustalono, że w produktach o wysokiej zawartości błonnika, lepkość zależy bardziej od zawartości błonnika pokarmowego, zwłaszcza frakcji rozpuszczalnej, niż od zawartości skrobi i jej przemian w trakcie procesu. Wyniki przeprowadzonych badań zostały opublikowane w czasopismach naukowych (II.4.B.1; II.4.B.3) oraz przedstawione podczas konferencji naukowych (II.7.7; II.7.8).

Tematyka związana z ekstruzją była również przedmiotem moich badań podczas przygotowywania rozprawy doktorskiej. Skoncentrowałem się na ocenie możliwości wykorzystania owsa oplewionego i nagonasiennego, otrąb owsianych, razówki lędźwianowej oraz mleka w proszku do produkcji ekstrudatów o zwiększonej zawartości błonnika pokarmowego i białka. Celem tych badań było określenie wpływu parametrów procesu ekstruzji, cech surowca i składu mieszanek na stabilność procesu wytłaczania, właściwości fizykochemiczne oraz makro- i mikrostrukturę ekstrudatów. Istotnym elementem badań było również zbadanie zakresu zmian w frakcjach błonnika pokarmowego

występujących podczas procesu. W celu oceny przydatności stosowanych metod oznaczania błonnika, porównałem metodę weendejską (włókno surowe) z metodą detergentową Van Soesta oraz enzymatyczną, umożliwiającą oznaczenie całkowitego błonnika pokarmowego (TDF), frakcji nierozpuszczalnej (IDF) oraz rozpuszczalnej (SDF). Wyniki wykazały ograniczoną przydatność metod weendejskiej i Van Soesta do oznaczania składników strukturalnych ścian komórkowych w przetworzonych produktach zbożowych. Badania pozwoliły na określenie zakresu zmian w zawartości poszczególnych frakcji błonnika pokarmowego w wyniku ekstruzji surowców wysokobłonnikowych oraz identyfikację wpływu poszczególnych parametrów procesu. W trakcie badań nad ekstruzją HTST, związaną z przetwarzaniem surowca w warunkach wysokiej temperatury, ciśnienia i sił mechanicznych, zidentyfikowano możliwy problem związany ze zużyciem elementów roboczych ekstrudera i potencjalną migracją metali (takich jak Fe, Mn, Ni) z elementów roboczych ekstrudera do gotowego produktu. W związku z tym, rozszerzyłem zakres moich badań o badania dotyczące wpływu parametrów procesu i składu surowcowego na intensywność procesu oraz zawartość metali w produkcie końcowym. We współpracy z prof. dr hab. Violetą Błaszczak z Oddziału Nauki o Żywności Instytutu Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności Polskiej Akademii Nauk, przeprowadzone zostały także badania dotyczące wpływu procesu ekstruzji na zmiany mikrostruktury otrzymanych ekstrudatów. Podsumowaniem przeprowadzonych badań była rozprawa doktorska zrealizowana pod kierunkiem naukowym prof. dr hab. Zbigniewa Rzedzickiego, którą obroniłem w 2005 roku. Uzyskane wyniki zostały opublikowane w dziewięciu publikacjach naukowych (**II.4.A.2; II.4.A.3; II.4.B.4; II.4.B.5; II.4.B.6; II.4.B.7; II.4.B.8; II.4.B.9; II.4.B.10**), rozdziale monografii naukowej (**II.2.1**) oraz były prezentowane w ramach licznych konferencji naukowych (**II.7.9; II.7.10; II.7.11; II.7.12; II.7.14; II.7.15; II.7.16**).

Po uzyskaniu tytułu doktora kontynuowałem badania dotyczące możliwości wykorzystania procesu ekstruzji jedno- i dwuślimakowej w przemyśle spożywczym. Prace, które prowadziłem w poprzednich latach, wykazały istotny wpływ parametrów procesu (temperatura, wilgotność mieszanek) oraz właściwości surowca na zmiany w podstawowych składnikach chemicznych, w tym w frakcjach błonnika pokarmowego. Badania, które przeprowadzałem, wykazały, że proces ekstruzji prowadzi do obniżenia zawartości włókna surowego, tłuszczu wolnego oraz nieznacznego obniżenia zawartości białka w przetwarzanym materiale. Obserwuje się również obniżenie zawartości wszystkich frakcji włókna detergentowego (NDF, ADF, HCEL, CEL i ADL) w porównaniu do surowca. W przypadku błonnika oznaczanego metodami enzymatycznymi stwierdzono, że ekstruzja przyczynia się do nieznacznego obniżenia zawartości całkowitego błonnika pokarmowego (TDF) oraz frakcji nierozpuszczalnej (IDF), natomiast wzrasta zawartość frakcji rozpuszczalnej (SDF). Zidentyfikowano zatem konieczność kontynuacji tego typu badań w celu określenia zakresu zmian dla innych surowców. W tym kontekście ukazały się publikacje dotyczące możliwości ekstruzji mieszanin kukurydziano-łędźwianowych oraz łędźwianowo-pszennych (**II.4.A.7; II.4.A.10**). Jednym z aspektów prowadzonych badań była weryfikacja możliwości wykorzystania ekstruderów jednoślimakowych do ekstruzji

mieszanek o zwiększonej zawartości błonnika i białka. Zwykle ekstrudery jednoślindakowe, ze względu na mniejszą zdolność adaptacyjną w porównaniu do ekstruderów dwuślindakowych, nie są zalecane do przetwarzania tego typu mieszanek. Przeprowadzone badania nie potwierdziły tej tezy. Nie stwierdzono negatywnego wpływu dodatku surowców białkowo-błonnikowych (do 20%) na mikrostrukturę ekstrudatów. We wszystkich analizowanych układach, obejmujących różny udział komponentów błonnikowo-białkowych (do 20%), różną wilgotność mieszanek (11-16%) oraz profil rozkładu temperatur (od 120/145/115°C do 140/165/115°C), zaobserwowano prawidłowy przebieg procesu oraz pełne upłynnienie masy (**II.4.A.7**). Ponadto, wykazano, że dodatek komponentów białkowo-błonnikowych prowadzi do zwiększenia gęstości i wodochłonności ekstrudatów, jednocześnie obniżając ich twardość i rozpuszczalność. Otrzymane ekstrudaty charakteryzowały się cechami sensorycznymi porównywalnymi do ekstrudatów typowo kukurydzianych, co potwierdziło możliwość wykorzystania ekstruzji jednoślindikowej do przetwarzania mieszanek o zwiększonej zawartości komponentów białkowo-błonnikowych (do 20%). Natomiast możliwość wprowadzenia większych ilości surowców białkowo-błonnikowych dają ekstrudery dwuślindikowe, co było przedmiotem badań, których wyniki opublikowano w kolejnej publikacji (**II.4.A.10**). W ramach tych badań wykazano m.in. możliwość otrzymania zwartej i trwałej struktury ekstrudatów lędźwianowo-pszennych, które mogą znaleźć zastosowanie w sporządzaniu wegetariańskich dań obiadowych. W ramach współpracy z prof. dr hab. Violetta Błaszczak (Oddział Nauki o Żywności Instytutu Rozrodu Zwierząt i Badań Żywności Polskiej Akademii Nauk) przeanalizowano także wpływ wilgotności mieszanek i temperatury procesu na mikrostrukturę ekstrudatów. Wykazano istotny wpływ parametrów procesu na zmiany w porowatości, ilości komórek powietrznych oraz grubości ich ścianek. Analiza korelacji Pearsona ($p < 0,05$) wskazała istotną dodatnią korelację między współczynnikiem ekspansji a zawartością błonnika pokarmowego i białka, oraz istotną ujemną korelację między zawartością błonnika i białka a gęstością właściwą i twardością ekstrudatów.

Ad 2. Ocena możliwości wykorzystania technologii ekstruzji do utylizacji surowców odpadowych pochodzących z przemysłu mięsnego i wylęgarnianego

Właściwości technologii ekstruzji HTST, związane z oddziaływaniem na surowiec wysokiej temperatury i ciśnienia, sprawiają, że może ona znaleźć szerokie zastosowanie w przetwórstwie odpadów i surowców ubocznych przemysłu spożywczego, w szczególności pochodzącym z przemysłu mięsnego. Jako członek zespołu badawczego brałem udział w badaniach w tym obszarze, które koncentrowały się na doborze nośnika roślinnego (takiego jak śruta jęczmienna, pszenna, kukurydziana i bobikowa) oraz parametrach procesu ekstruzji do produkcji koncentratów paszowych z wykorzystaniem odpadów mięsnych, takich jak miazga mięsno-kostna (MMK) z mechanicznego odkostniania tuszek drobiowych. Wyniki badań wykazały, że przy odpowiednim doborze nośnika

roślinnego i parametrach procesu można uzyskać stabilne warunki wylączania przy maksymalnym udziale MMK wynoszącym 30%. Wartość ta może zostać uznana za graniczną, ponieważ powyżej niej mieszanina wsadowa ma zbyt dużą wilgotność, co prowadzi do oblepiania się ślimaka dozownika i ślimaków ekstrudera, niezależnie od rodzaju nośnika roślinnego. Zakłóca to proces dozowania surowca, co skutkuje nierównomierną pracą ekstrudera. W ramach przeprowadzonych badań opracowano różnorodne receptury mieszanek, pozwalających uzyskać ekstrudaty o zróżnicowanych właściwościach fizycznych; od ekstrudatów o "zbitej" strukturze, charakteryzujących się wysoką wytrzymałością kinetyczną, do ekstrudatów o strukturze "kaszkowatej". Jest to istotne z praktycznego punktu widzenia, ponieważ ekstrudaty przeznaczone na karmę dla zwierząt domowych muszą spełniać inne wymagania niż ekstrudaty stosowane jako koncentraty białkowe do produkcji mieszanek paszowych. Rezultaty przeprowadzonych badań, uzyskane przed uzyskaniem stopnia doktora, były prezentowane w formie doniesień konferencyjnych (**II.7.1, II.7.2, II.7.3, II.7.4, II.7.5**). Po uzyskaniu stopnia doktora ta tematyka badawcza była kontynuowana. W oparciu o wcześniejsze wyniki, rozszerzono zakres badań dotyczących oceny właściwości fizycznych ekstrudatów, takich jak badania mikrostruktury. Ponadto, przeprowadzono analizę składu chemicznego, obejmującą zarówno makro- jak i mikroelementy. Przeprowadzone badania umożliwiły opracowanie zalecanych parametrów procesu ekstruzji "na sucho" oraz określenie wpływu MMK na zmiany właściwości fizykochemicznych ekstrudatów. Wyniki tych badań zostały opublikowane w czasopiśmie naukowych oraz prezentowane na konferencji (**II.4.B.16, II.4.B.24, II.7.32**).

W ramach tego obszaru badawczego uczestniczyłem również w badaniach dotyczących wykorzystania technologii ekstruzji do zagospodarowania odpadów wylęgarnianych (OW). Odpady te stanowią istotny problem środowiskowy ze względu na swoje specyficzne składniki, takie jak skorupy jaj, jaja niezapłodnione, martwe embriony, późne wylęgi i martwe kurczęta. W badaniach analizowano możliwość wykorzystania OW jako wartościowego materiału paszowego, bogatego w białko, tłuszcze i minerały, zwłaszcza wapń. Określono wpływ udziału OW (w zakresie od 5% do 30%) w mieszankach z nośnikiem roślinnym oraz parametrów ekstruzji na przebieg procesu oraz cechy fizyczne (stopień ekspandowania, wytrzymałość kinetyczną, mikrostrukturę, rozpuszczalność i wodochłonność) i chemiczne (mikro- i makroelementy) ekstrudatów. Wyniki badań wykazały, że przetwarzanie OW przy użyciu technologii ekstruzji jest możliwe, przy uwzględnieniu odpowiednich udziałów OW (>30%) oraz parametrów procesu (wilgotność mieszanki 28%, temperatura ekstruzji 120/140/180/180/130°C). Takie parametry umożliwiają stabilizację warunków wylączania i uzyskanie produktu o wilgotności nieprzekraczającej 9%, co ma istotne znaczenie z uwagi na specyfikę produktu. Stwierdzono, że zwiększenie udziału OW prowadzi do wzrostu zawartości surowego tłuszczu, białka i składników mineralnych, zwłaszcza wapnia, w otrzymanych ekstrudatach. Jednocześnie zaobserwowano istotne zmiany w cechach fizycznych ekstrudatów, takich jak obniżenie stopnia ekspandowania, wytrzymałości kinetycznej, rozpuszczalności i wodochłonności. Wyniki badań zostały zaprezentowane podczas międzynarodowej konferencji naukowej (**II.7.34**) oraz opublikowane w artykule naukowym (**II.4.A.16**).

Ad 3. Ocena właściwości reologicznych surowców i produktów przemysłu spożywczego

Kolejnym znaczącym osiągnięciem (poza wykazanim w pkt. IV) wnoszącym wkład w rozwój dyscypliny technologia żywności i żywienia jest cykl publikacji dotyczący wykorzystania pomiarów lepkości pozornej zawiesin i kleików mącznych do oceny wartości technologicznej mąk zbożowych. W ramach tego cyklu publikacji opracowałem koncepcję badań, a także przeprowadziłem i nadzorowałem większość przeprowadzonych badań, takich jak przemiał laboratoryjny, pomiary właściwości reologicznych, wypiek i ocena jakości pieczywa oraz analiza składu frakcyjnego błonnika pokarmowego. Ponadto, byłem odpowiedzialny za opracowanie uzyskanych wyników, przeprowadzenie analizy statystycznej i wnioskowanie, a także pełniłem rolę głównego redaktora manuskryptów. Wyniki pomiarów lepkości pozornej zawiesin i kleików mącznych w trakcie ogrzewania i chłodzenia dostarczają praktycznych informacji dotyczących właściwości surowców oraz ich potencjalnego zachowania w procesach przetwórczych. Ponadto, pomiary lepkości mogą być wykorzystane do szybkiej oceny zawartości błonnika pokarmowego, co ma istotne znaczenie praktyczne. Główne cele zaplanowanych i przeprowadzonych badań obejmowały:

- [1] Określenie wpływu czasu i temperatury przechowywania mąk pszennych, otrzymanych z różnych odmian pszenicy uprawianej przy zróżnicowanym poziomie agrotechniki, na wartość liczby opadania oraz lepkość pozorną kleików uzyskanych z tych mąk.
- [2] Zbadanie zależności między parametrami jakościowymi pieczywa pszennego a właściwościami reologicznymi kleików mącznych otrzymanych z pszenicy uprawianej przy różnym poziomie agrotechniki.
- [3] Ocenę wpływu parametrów pomiaru lepkości pozornej (stężenia zawiesin, pH, czasu stabilizacji i gradientu prędkości ścinania) na lepkość pozorną zawiesin pełnoziarnistej mąki otrzymanej z przemiału różnych odmian ziarna owsa i jęczmienia. Następnie, dokonanie analizy korelacji między zawartością frakcji błonnika pokarmowego (TDF, IDF, SDF, w tym (1→3),(1→4)-β-D-glukanów) a lepkością pozorną zawiesin pełnoziarnistych mąk owsianych i jęczmiennych.
- [4] Określenie wpływu czasu i temperatury przechowywania pełnoziarnistej mąki owsianej na zmiany właściwości reologicznych.

Wyniki przeprowadzonych badań zostały zamieszczone w cyklu ośmiu publikacji, których byłem wiodącym autorem (II.4.A.4; II.4.A.5; II.4.A.8; II.4.A.9; II.4.B.11; II.4.B.12; II.4.B.25; II.4.B.26 – kopie prac w załączniku 8).

W pierwszym etapie badań przeprowadzono analizę wpływu czasu składowania mąk pszennych na zmiany liczby opadania oraz właściwości reologiczne kleików mącznych (II.4.A.5). Do badań wykorzystano mąki pszenne, otrzymane z przemiału laboratoryjnego ziarna pszenicy, pochodzącej z czterech odmian pszenicy ozimej uprawianej przy dwóch różnych poziomach agrotechniki (A1 i A2). Poziomy agrotechniki różniły się m.in. stosowaną dawką nawożenia azotowego oraz stopniem ochrony

chemicznej. Poziom A2 charakteryzował się wyższą dawką nawożenia azotowego o 40 kg/ha w porównaniu do poziomu A1. Ziarno pszenicy zostało dostarczone przez COBORU, Stację Doświadczalną Oceny Odmian Ciecior, Punkt Doświadczalny Czesławice, w ramach współpracy z tym ośrodkiem. Pomiar właściwości reologicznych kleików mącznych zostały przeprowadzone dla mąk bezpośrednio po przemiale laboratoryjnym oraz po składowaniu przez 2, 4 i 6 tygodni w temperaturze pokojowej. W ramach pomiarów lepkość pozornej kleików (w fazie ogrzewania i chłodzenia) mierzono lepkość początkową, maksymalną (w fazie ogrzewania tzw. *peak viscosity*), w temp. 95°C oraz końcową po wychłodzeniu (*final viscosity*). Ponadto, badano również właściwości pseudoplastyczne kleików w zakresie gradientu prędkości ścinania od 200 s⁻¹ do 1200 s⁻¹. Wyniki przeprowadzonych badań pozwoliły stwierdzić, że czas składowania mąki wpływał istotnie na zmiany lepkości kleików pszenicznych. Te zmiany właściwości reologicznych kleików są wynikiem różnych czynników, takich jak zmiany w hydrofobowości granul skrobiowych, zdolności do pęcznienia, hydrolizy białek, aktywności amylolitycznej oraz tworzenia kompleksów między składnikami mąki. Kierunek i intensywność tych zmian zależały od odmiany pszenicy, czasu składowania oraz poziomu agrotechniki, zastosowanego przy uprawie pszenicy. Wykazano, że mąki otrzymane z przemiału ziarna pszenicy uprawianej przy zwiększonym poziomie nawożenia azotowego (A2) charakteryzują się bardziej stabilnymi właściwościami reologicznymi w trakcie składowania. Jednocześnie kleiki otrzymane z tych mąk wykazują niższą wartość *breakdown* oraz wyższą wartość *setback* w porównaniu do kleików otrzymanych z mąk pochodzących z pszenic przy podstawowym poziomie nawożenia azotowego (A1). Przedstawione w pracy II.4.A.5 korelacje pomiędzy poszczególnymi parametrami reologicznymi stanowią uzupełnienie dostępnej wiedzy dotyczącej wpływu poziomu agrotechniki oraz czasu składowania mąk pszenicznych na zmiany właściwości reologicznych kleików.

W ramach kolejnej pracy (II.4.A.8) zbadano wpływ temperatury składowania mąk pszenicznych na zmiany właściwości reologicznych kleików. Dodatkowo, zweryfikowano możliwość wykorzystania pomiarów lepkości do określenia wartości liczby opadania. Wykazanie takich zależności może przyczynić się do ograniczenia ilości wykonywanych w laboratoriach analiz. Do badań wykorzystano mąki otrzymane z przemiału laboratoryjnego (wyciąg 63-65%) trzech odmian pszenicy jarej i trzech odmian pszenicy ozimej. Ziarno pszenicy pochodziło z COBORU, Stacji Doświadczalnej Oceny Odmian Ciecior, Punkt Doświadczalny Czesławice. Mąki były składowane w trzech różnych temperaturach: -20°C, 4°C oraz 20°C. Pomiar właściwości reologicznych przeprowadzono zaraz po przemiale oraz po kolejnych okresach składowania wynoszących 2, 4 i 6 tygodni. Analiza statystyczna wykazała istotne dodatnie korelacje (Person, p≤0,05) pomiędzy lepkością maksymalną, końcową oraz lepkością kleików mierzoną w temperaturze 95°C, a liczbą opadania. W celu opracowania modelu matematycznego wyjaśniającego zależności między analizowanymi zmiennymi zastosowano regresję krokową. Po eliminacji zmiennych o wysokim stopniu korelacji (na podstawie macierzy korelacji), uzyskano równanie liniowe o wysokim współczynniku determinacji (R²=0,80), które umożliwia

określenie wartości liczby opadania na podstawie lepkości pozornej mierzonej w temperaturze 95°C po 15-minutowym przetrzymaniu w tej temperaturze:

$$FN = 26,73 + 23965\mu_{95/15}$$

gdzie:

FN – liczba opadania (*Falling number*)

$\mu_{95/15}$ – lepkość pozorna kleików mierzona w temp. 95°C po 15 min przetrzymaniu w tej temp.

W kolejnym etapie badano zależności pomiędzy właściwościami reologicznymi kleików mącznych a cechami pieczywa otrzymanego w wyniku próbnego wypieku (**II.4.B.13**). Pomiar właściwości reologicznych obejmowały zakres opisany w wcześniejszych badaniach. Wypiek laboratoryjny pieczywa przeprowadzono z użyciem I-fazowej metody prowadzenia ciasta. Ciasto o wydajności 160% przygotowano z mąki pszennej, drożdży (3%), soli (1,5%) i wody. Do badań wykorzystano mąki jasne (wyciąg 59-72%) otrzymane z przemiału laboratoryjnego sześciu odmian pszenicy uprawianej przy dwóch poziomach agrotechniki (A1 i A2, opisanych wcześniej). Aby określić zależności między cechami pieczywa a właściwościami reologicznymi kleików mącznych, zastosowano analizę regresji wielokrotnej. Modele dopasowywano za pomocą metody możliwych regresji, eliminując modele zawierające wysoko skorelowane zmienne niezależne. Kryterium wyboru konkretnego modelu oparte było na wartościach współczynnika determinacji R^2 oraz R^2 skorygowanego. Wybrane modele zweryfikowano za pomocą regresji krokowej wstecznej w celu otrzymania modelu zawierającego tylko istotne zmienne niezależne. W pierwszej fazie badań skoncentrowano się na badaniu wpływu poziomu agrotechniki na właściwości przemiałowe ziarna, wypiekowe mąki oraz właściwości reologiczne kleików. W dalszym etapie, mąki o stwierdzonych zróżnicowanych właściwościach technologicznych zostały wykorzystane do laboratoryjnego wypieku pieczywa. Opracowano również tablicę korelacji pomiędzy poszczególnymi parametrami reologicznymi, która została wykorzystana w późniejszym etapie do eliminacji z modeli parametrów o istotnym skorelowaniu. W kolejnym kroku przeprowadzono analizę cech jakościowych otrzymanego pieczywa, takich jak wydajność pieczywa, upiek, objętość pieczywa oraz wilgotność miększu. Analiza wyników wykazała, że zastosowanie mąk pszennych z grupy A2 prowadziło do większej wydajności pieczywa, mniejszego upieku i mniejszej objętości w porównaniu do mąk z grupy A1. Wykazano statystycznie istotną ujemną korelację ($p \leq 0,05$) pomiędzy liczbą opadania a objętością pieczywa oraz lepkością maksymalną a objętością pieczywa. Objętość pieczywa była także istotnie skorelowana z lepkością początkową i maksymalną kleików oraz wartością *setback*. Nie zaobserwowano istotnej korelacji liniowej między pozostałymi cechami pieczywa, takimi jak upiek, wydajność pieczywa i wilgotność miększu, a właściwościami reologicznymi kleików. Brak prostych zależności liniowych potwierdza kompleksowy wpływ wielu czynników związanych zarówno z jakością mąki, jak i procesem technologicznym na cechy otrzymanego pieczywa. Finalnie przeprowadzono analizę regresji wielokrotnej, w której oprócz właściwości reologicznych kleików mąk

pszennych (takich jak lepkość początkowa i maksymalna, *setback*, *breakdown*), uwzględniono również inne właściwości mąki, takie jak wyciąg, popiołowość i zawartość glutenu, które wpływają na cechy jakościowe pieczywa. Analiza szeregu równań regresji wykazała, że właściwości reologiczne wodnych kleików mąk pszennych, przy uwzględnieniu pozostałych cech jakościowych mąki, mogą być wykorzystane do prognozowania wybranych cech pieczywa pszenne, takich jak objętość (Op) i wydajność (Wp). Otrzymane równania charakteryzowały się wysokimi wartościami współczynników R^2 i R^2 skorygowany:

Równanie objętości pieczywa ($R^2=0,78$):

$$Op [cm^3] = 73,1 + 8,05z_g + 27677L_p - 1810L_m$$

Równanie wydajności pieczywa ($R^2=0,76$):

$$Wp [\%] = 212 - 17P_m - 358L_p - 0,9W_m$$

gdzie: Z_g - zawartość glutenu mokrego [%]; L_p - lepkość początkowa [Pas]; L_m - lepkość maksymalna [Pas]; W_m - wyciąg mąki [%]; popiołowość mąki [%].

W kolejnych pracach z tego cyklu określono zależności pomiędzy zawartością frakcji błonnika pokarmowego (TDF, IDF, SDF, (1→3),(1→4)-β-D glukanów) a lepkością pozorną zawiesin pełnoziarnistych mąk owsianych i jęczmiennych. Wyniki badań dotyczące mąk owsianych zostały przedstawione w publikacjach **II.4.A.4** i **II.4.A.9**, natomiast wyniki dotyczące mąk jęczmiennych zostały opublikowane w pracach **II.4.B.11** i **II.4.B.26**. W każdym z etapów badań wykorzystano sześć różnych odmian owsa i jęczmienia, które charakteryzowały się zróżnicowaną zawartością błonnika pokarmowego. Ziarno użyte do badań pochodziło z sekcji badawczej Hodowli Roślin w Strzelcach. Mąki pełnoziarniste zostały uzyskane w wyniku przemiału laboratoryjnego. Celem tych badań było określenie możliwości wykorzystania pomiarów lepkości do szybkiego oszacowania zawartości błonnika pokarmowego. W pierwszej fazie badań zbadano wpływ różnych parametrów pomiaru lepkości, takich jak stężenie zawiesin, czas stabilizacji zawiesin (określony jako czas między przygotowaniem dyspersji a pomiarem lepkości), gradient prędkości ścinania oraz pH, na wartość lepkości pozornej zawiesin pełnoziarnistej mąki owsianej i jęczmiennej. W następnym etapie analizy dokonano ustalenia parametrów pomiaru lepkości, przy których obserwowano najwyższe wartości współczynników korelacji między lepkością pozorną a zawartością poszczególnych frakcji błonnika pokarmowego (TDF, SDF, IDF, (1→3),(1→4)-β-D glukany).

Wykazano, że zarówno w przypadku zawiesin pełnoziarnistych mąk owsianych, jak i jęczmiennych, istotny wpływ na lepkość wywiera czas stabilizacji. Zaobserwowano znaczący wzrost lepkości pozornej wraz z upływem czasu stabilizacji, przy czym zakres zmian zależy od rodzaju mąki (owsianej lub jęczmiennej), stosowanego stężenia, gradientu prędkości ścinania oraz poziomu pH. Przeprowadzone badania wykazały również istotny (Duncan; $p \leq 0,05$) wpływ pH na lepkość pozorną zawiesin,

zauważono jednak różnice w zachowaniu zawiesin mąk owsianych i jęczmiennych (**II.4.A.9, II.4.B.26**). W przypadku zawiesin mąki owsianej najwyższe wartości lepkości odnotowano przy pH 1,5, podczas gdy dla zawiesin mąki jęczmiennej najwyższe wartości lepkości wystąpiły przy pH 12. Obserwowane zmiany lepkości, wynikające ze zmiany pH, mogą być spowodowane zarówno różnicami w ekstrakcji (1→3),(1→4)-β-D glukanów, jak i odmiennymi cechami strukturalnymi rozpuszczalnego β-glukanu w zależności od wartości pH. Ponadto, ustalono, że niezależnie od wartości pH, zawiesiny mąki owsianej i jęczmiennej wykazują pseudoplastyczne charakterystyki przepływu, czyli zmniejszenie lepkości wraz ze wzrostem gradientu prędkości ścinania. Przeprowadzono szczegółową analizę korelacji (Pearson), opracowując tabele korelacji między lepkością pozorną a zawartością poszczególnych frakcji błonnika pokarmowego, uwzględniając wszystkie warunki pomiaru lepkości analizowane w badaniach zarówno dla zawiesin mąki owsianej, jak i jęczmiennej (**II.4.A.4, II.4.A.9, II.4.B.11** oraz **II.4.B.26**). W przypadku wodnych zawiesin mąki owsianej, najwyższe dodatnie współczynniki korelacji pomiędzy lepkością pozorną a zawartością (1→3),(1→4)-β-D glukanów stwierdzono dla zawiesin o pH 1,5. Wyniki pokazały, że w zależności od czasu stabilizacji, zawartość (1→3),(1→4)-β-D glukanów może być w 97-98% objaśniona lepkością pozorną dyspersji (**II.4.A.9**). Dla powyższych warunków pomiarów, zaobserwowano również istotne ($p \leq 0,05$) współczynniki korelacji między zawartością TDF a lepkością pozorną ($R=0,82-0,9$), oraz zawartością SDF a lepkością ($R=0,62-0,67$). Na podstawie uzyskanych wyników opracowano równania regresji, umożliwiające oszacowanie zawartości poszczególnych frakcji błonnika na podstawie pomiarów lepkości (przy określonych parametrach pomiarów). Na przykład, dla (1→3),(1→4)-β-D glukanów sformułowano równanie regresji o postaci ($R^2=0,98$):

$$y = 194,4x - 0,4188$$

gdzie: y-zawartość (1→3),(1→4)-β-D glukanów (% s.m.); x- lepkość pozorna (Pa s) 10% wodnych zawiesin pełnoziarnistej mąki owsianej (temp. 50 °C, czas stabilizacji 2,5 h; gradient prędkości ścinania 1200 s⁻¹).

W przypadku wodnych zawiesin pełnoziarnistych mąk jęczmiennych, stwierdzono najwyższe istotne współczynniki korelacji (Pearson, $p \leq 0,05$) między zawartością poszczególnych frakcji błonnika pokarmowego a lepkością dla zawiesin o pH 12. Wartości współczynników korelacji, w zależności od czasu stabilizacji, mieściły się w zakresie od 0,79 do 0,95 dla SDF, od 0,74 do 0,94 dla TDF oraz od 0,74 do 0,93 dla (1→3),(1→4)-β-D glukanów (**II.4.B.26**). Podobnie jak w przypadku mąk owsianych, opracowano równania regresji umożliwiające oszacowanie zawartości poszczególnych frakcji błonnika na podstawie pomiarów lepkości. Na przykład, dla (1→3),(1→4)-β-D glukanów sformułowano następujące równanie regresji o współczynniku determinacji R^2 równym 0,87:

$$y = 130,84x - 1,1207$$

gdzie: y -zawartość (1→3),(1→4)-β-D glukanów (% s.m.); x - lepkość pozorna (Pas) 10% wodnych zawiesin pełnoziarnistej mąki jęczmiennej (temp. 50°C, czas stabilizacji 2h; gradient prędkości ścinania 1200 s⁻¹).

Uzyskane wyniki wykazały zatem możliwość wykorzystania pomiarów lepkości zawiesin do szybkiej oceny zawartości frakcji błonnika pokarmowego, zwłaszcza (1→3),(1→4)-β-D glukanów, w pełnoziarnistej mące jęczmiennej i owsianej.

Podczas przechowywania mąki owsianej często obserwuje się zmiany w zawartości (1→3),(1→4)-β-D glukanów, które wynikają z zmian strukturalnych i prowadzą do zwiększenia ekstrakcji i rozpuszczalności tych glukanów. Zmiany te mają wpływ na właściwości reologiczne wodnych zawiesin mąki owsianej. W ramach omawianego cyklu badań (II.4.B.25) przeprowadzono kolejne badania, które miały na celu zbadanie wpływu temperatury przechowywania mąki owsianej na zmiany w frakcjach błonnika pokarmowego oraz właściwościach reologicznych kleików z mąki owsianej. W momencie opracowywania założeń do badań w danych literaturowych stwierdzono brak takich informacji. W przeprowadzonych badaniach oceniono wpływ czasu przechowywania (do 3 miesięcy) oraz różnych temperatur przechowywania (20°C, 4°C i -20°C) na zmiany właściwości reologicznych i skład frakcyjny błonnika pokarmowego w pełnoziarnistej mące owsianej. Do badań wybrano trzy wyselekcjonowane odmiany owsa nagiego, pochodzące z sekcji badawczej Hodowli Roślin w Strzelcach. Wybrane odmiany charakteryzowały się zbliżoną zawartością błonnika całkowitego, ale różniły się pod względem zawartości frakcji rozpuszczalnej i nierozpuszczalnej. Wybór konkretnych odmian owsa został dokonany na podstawie wcześniejszych badań pilotażowych przeprowadzonych na 18 różnych odmianach owsa. Pomiar lepkości pozornej zawiesin mąki owsianej obejmowały określenie lepkości początkowej (przy 25°C), maksymalnej w fazie ogrzewania, lepkości końcowej (przy 50°C), lepkości po 30 minutach przetrzymania w temperaturze 50°C oraz wartości *setback*. Przeprowadzone badania wykazały, że niezależnie od temperatury składowania mąki owsianej, podczas przechowywania dochodzi do zwiększenia zawartości IDF oraz zmniejszenia zawartości SDF. Zakres zmian w poszczególnych frakcjach błonnika zależy od konkretnych odmian owsa. Największe zmiany zaobserwowano podczas przechowywania mąki w temperaturze 20°C. W ciągu 3 miesięcy przechowywania w tej temperaturze, średnio dla 3 odmian owsa, stwierdzono wzrost zawartości IDF o 40%, wzrost zawartości TDF o 17% oraz obniżenie zawartości SDF o 30%. Przy obniżeniu temperatury przechowywania zaobserwowano mniejsze zakresy zmian. Badania pozwoliły zidentyfikować parametry reologiczne, które ulegają największym zmianom. Największe zmiany, w trakcie 3-miesięcznego okresu przechowywania, odnotowano dla wartości *setback*, które wzrosły średnio o 23% i 16% dla mąki przechowywanej odpowiednio w temperaturze 20°C i 4°C. Zakres zmian lepkości początkowej i końcowej nie przekraczał 10%. Najmniejsze zmiany zaobserwowano dla temperatury przechowywania -20°C. Przeprowadzone badania nie wykazały jednoznacznych zależności między

kierunkiem i zakresem zmian parametrów reologicznych a zmianami w zawartości poszczególnych frakcji błonnika pokarmowego.

Kolejnym badanym zagadnieniem w obszarze związanym z oceną właściwości reologicznych produktów zbożowych była analiza możliwości wykorzystania pomiarów właściwości reologicznych wodnych zawiesin rozdrobnionego makaronu do oceny stopnia skleikowania skrobi w makaronach błyskawicznych (**II.4.B.21**). Badania te były częścią projektu badawczego przeprowadzanego we współpracy z firmą Wytwórnia Makaronu Domowego Pol-Mak S.A. w ramach projektu "Opracowanie innowacyjnej technologii produkcji makaronów instant" finansowanego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020 (Załącznik 4 – **II.9.1**). W ramach tych badań zbadano wpływ procesu suszenia (w temperaturze od 35°C do 55°C) oraz parametrów obróbki parowej (czas od 120 do 360 sekund, temperatura 95°C) na właściwości fizyczne makaronów błyskawicznych, takie jak rozpuszczalność (WSI), wodochłonność (WAI), stopień skleikowania skrobi (%DG) oraz lepkość pozorną wodnych zawiesin rozdrobnionych makaronów. Proces produkcji makaronu został przeprowadzony na skalę przemysłową przy użyciu prasy makaronowej typu MAC 400 (ITAL PAST, Włochy) o prędkości obrotowej ślimaka wynoszącej 41 obr./min i ciśnieniu wytłaczania w zakresie od 5,8 do 7,9 MPa. Wyniki badań potwierdziły możliwość wykorzystania charakterystyk reologicznych do oceny stopnia skleikowania skrobi w makaronach typu instant. Analiza statystyczna wyników wykazała wysoką dodatnią korelację ($R = 0,93$) między WAI a stopniem skleikowania skrobi. Około 87% zmienności stopnia skleikowania skrobi (%DG) może być wyjaśnione przez WAI ($R^2 = 0,87$). Stwierdzono również istotną korelację (Pearson, $p < 0,01$) między stopniem skleikowania skrobi (%DG) a lepkością pozorną wodnych dyspersji rozdrobnionego makaronu ($R = 0,85$). Około 74% zmienności stopnia skleikowania skrobi mogło być wyjaśnione przez lepkość pozorną ($R^2 = 0,74$).

Dodatkowo, w ramach tego obszaru badawczego podejmowałem współpracę z innymi jednostkami naukowymi w Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie. W efekcie tej współpracy powstały publikacje dotyczące oceny właściwości reologicznych produktów spoza zbożowych, takich jak desery mleczne i jogurty (**II.4.A.13**, **II.2.5**), tłuszcze stołowe (**II.A.1**) czy izolaty białkowe (**II.2.8**, **II.7.18**).

Ad 4. Opracowanie i doskonalenie technologii produkcji zbożowych produktów spożywczych (pieczywo, makarony) o zwiększonej wartości żywieniowej

Punktem wyjścia do opracowywania receptur i technologii wytwarzania nowych produktów spożywczych jest weryfikacja właściwości fizykochemicznych potencjalnych surowców. Jednym z obszarów, którym się zajmowałem w ramach tego zagadnienia, była analiza dotychczasowego wykorzystania surowców oraz poszukiwanie nowych surowców o pożądanych właściwościach. W ramach tej analizy, byłem współautorem pracy **II.4.B.17**, gdzie zebrano dostępne informacje dotyczące

wartości odżywczej ziarna jęczmienia oplewionego i nagiego, wybranych przetworów jęczmiennych oraz ich wpływu na organizm człowieka. Kolejna praca, **II.4.B.15**, zestawiała właściwości różnych surowców zbożowych, takich jak ziarno owsa, jęczmienia, lędwianu, kasz i mąk. Swoistym podsumowaniem przeprowadzonych studiów literaturowych było współautorstwo monografii naukowej pt. "Błonnik pokarmowy jako funkcjonalny składnik żywności" (**II.1.2**). Celem tej monografii było określenie aktualnego stanu wiedzy na temat błonnika pokarmowego. Przeprowadzono analizę 431 źródeł literaturowych, przedstawiono historię dotyczącą definicji błonnika pokarmowego, zestawiono metody analityczne, scharakteryzowano składniki składające się na kompleks błonnika pokarmowego oraz omówiono rolę błonnika pokarmowego w profilaktyce i leczeniu niezakaźnych chorób cywilizacyjnych. Istotną część monografii stanowiła charakterystyka źródeł błonnika pokarmowego w diecie, takich jak produkty zbożowe, owoce, warzywa i rośliny strączkowe, oraz omówienie wpływu procesów technologicznych na zmiany w frakcjach błonnika. Powyższe dane zostały zestawione w 24 tabelach.

W ramach współpracy z Hodowlą Roślin Strzelce Sp. z o.o. Grupa IHAR, brałem udział w badaniach mających na celu oznaczenie zawartości frakcji błonnika (TDF, SDF, IDF, (1→3),(1→4)-β-D glukanów) w ziarniakach wybranych odmian i linii hodowlanych jęczmienia (*Hordeum vulgare L.*), oraz badanie rozmieszczenia (1→3),(1→4)-β-D glukanów w ziarnie owsa (*Avena sativa L.*). W pracy **II.4.B.18** przedstawiono wyniki badań 23 nowych linii jęczmienia nagoziarnistego. Zidentyfikowano odmiany o wysokiej zawartości błonnika pokarmowego, w tym (1→3),(1→4)-β-D glukanów, oraz określono zakres zmienności tych wartości w trzech kolejnych latach uprawy. W procesach przetwórczych ziarno może utracić pewną część składników, w zależności od ich rozmieszczenia w poszczególnych częściach anatomicznych ziarniaka oraz zastosowanej metody przetwarzania (np. polerowanie, przemiał). Znaczenie ma więc znajomość rozmieszczenia tych składników w ziarniaku, zwłaszcza jeśli chodzi o tak cenne składniki z punktu widzenia żywieniowego jak (1-3)(1-4)-β-D-glukany. Temat ten był przedmiotem pracy **II.4.A.12**. Wykazano, że rozmieszczenie beta-glukanów w przekroju ziarniaka owsa może zależeć od ich ogólnej zawartości. W odmianach o niskiej zawartości stwierdzono głównie ich akumulację w komórkach warstwy subaleuronej. Wraz ze wzrostem zawartości tych związków w ziarniaku, obserwowano większą ich koncentrację w ścianach komórek bielma właściwego.

W ramach współpracy z Zakładem Uprawy Roślin Zbożowych, IUNG – PIB w Puławach uczestniczyłem w badaniach mających na celu określenie wpływu poziomu nawożenia azotem na zmiany w zawartości białka i błonnika pokarmowego w ziarnie jęczmienia. Wykazano, że poziom nawożenia azotem ma istotny wpływ nie tylko na zwiększenie zawartości białka, ale także na zawartość TDF oraz (1→3),(1→4)-β-D glukanów w ziarnie. Wyniki tych badań zostały opublikowane w pracy **II.4.B.28**. W kolejnym artykule, którego jestem współautorem (**II.2.4**), przeprowadzono ocenę wartości przemiałowej i wypiekowej czterech odmian pszenicy, należących według klasyfikacji COBORU do różnych grup jakościowych (A, B, C). Przeprowadzone badania wykazały, że podział odmian na

pszenice elitarne (E), jakościowe (A), chlebowe (B), pozostałe (C) i ciasteczkowe (K) nie zawsze znajduje odzwierciedlenie w parametrach technologicznych otrzymanej mąki z badanych odmian. Wskazano także, że cennym wskaźnikiem wartości technologicznej ziarna może być rozkład popiołowości mąk pasażowych w zależności od wyciągów pasażowych. Innym badaniem dotyczącym analizy surowców zbożowych było opracowanie pracy **II.4.B.20**, w której dokonano oceny dostępnych na krajowym rynku mąk i kaszek makaronowych otrzymanych z przemiału pszenicy durum i pszenicy zwyczajnej.

Podstawową działalnością naukową w ramach tego obszaru były badania związane z technologią produkcji makaronu i wypieku pieczywa. Składały się na to takie aspekty jak opracowanie i modyfikacja receptur produktów w celu podniesienia ich wartości odżywczej, weryfikacja wpływu parametrów procesu na właściwości gotowego produktu oraz optymalizacja warunków prowadzenia procesu technologicznego ze względu na jakość produktu finalnego.

Jednym z pierwszych tematów badawczych związanych z technologią makaronu, które realizowałem, były badania zainicjowane i prowadzone przez dr hab. Aldonę Sobotę prof. UPL. W ramach tych badań oceniano wpływ obróbki kulinarnej na właściwości makaronu. W pracy **II.4.A.6** dokonano określenia wpływu czasu gotowania na zmiany składu frakcyjnego błonnika pokarmowego (TDF, SDF, IDF) w komercyjnie dostępnych makaronach typu spaghetti. Badano trzy rodzaje makaronu, pochodzące z różnych surowców: mąki z pszenicy durum, mąki pszennej i semoliny z pszenicy durum. Stwierdzono, że wydłużony czas gotowania z 4 do 16 minut spowodował wzrost udziału TDF w ugotowanym makaronie o 20,4-22,4%. Zakres zmian był zależny od rodzaju surowca. Wzrost zawartości TDF wynikał głównie z zwiększenia frakcji IDF, przy niewielkich zmianach w zawartości frakcji SDF. Wyższa zawartość frakcji IDF może wynikać z niejednakowych strat poszczególnych składników suchej masy podczas gotowania oraz powstawania skrobi odpornej. Składniki nierozpuszczalnego błonnika przechodzą do wody w mniejszym stopniu niż składniki rozpuszczalne, co prowadzi do zwiększenia zawartości IDF. Wpływ czasu gotowania na wskaźniki jakości kulinarnej oraz teksturę makaronu typu spaghetti został również poddany analizie w kolejnej publikacji (**II.4.B.12**), gdzie oceniano straty suchej masy, przyrost masy w czasie gotowania, maksymalną siłę cięcia makaronu oraz pracę cięcia. Stwierdzono, że wraz z wydłużeniem czasu gotowania wzrasta współczynnik przyrostu masy i zwiększają się straty suchej masy. Czas gotowania ma również istotny wpływ na twardość makaronu. Makaron, który został gotowany przez odpowiedni czas, pozwalający na hydratację rdzenia do takiego stopnia, że zachowywał się jak ciało plastyczne, charakteryzował się największą twardością. Przekroczenie tego czasu prowadziło do obniżenia twardości makaronu.

Bardzo istotnym zagadnieniem dotyczącym makaronów jajecznych, które stanowią znaczący segment rynku makaronu w Polsce, jest metoda weryfikacji liczby jaj w makaronie na podstawie oznaczenia zawartości tłuszczu. Stosowana metoda (PN-A-74131) nie uwzględnia hydrolizy kwasowej próbki przed ekstrakcją, a używany rozpuszczalnik niepolarny umożliwia jedynie oznaczenie tzw.

tłuszczu wolnego, co może stwarzać problemy dla producentów. To stanowiło impuls do dalszych badań mających na celu zbadanie wpływu procesu wytłaczania na zmiany stopnia wiązania tłuszczu wolnego w makaronach jajecznych (**II.4.B.14**). Badania te zostały przeprowadzone w ramach współpracy z Wytwórnią Makaronu Domowego Pol-Mak S.A. w Ludwinie i były inicjowane przez dr hab. Aldonę Sobotę prof. UPL. Do produkcji makaronów wykorzystano zwykłą mąkę makaronową typu 450 oraz pasteryzowaną i homogenizowaną masę jajową. Makaron (w postaci nitki) był wytwarzany na przemysłowej linii do produkcji makaronu typu C300 (La Parmigiana S.R.L, Parma, Włochy) w firmie Pol-Mak S.A. Wykazano, że podczas wytłaczania makaronu jajecznego dochodzi do intensywnego wiązania tłuszczu, a stopień tego wiązania jest istotnie wyższy w porównaniu do technologii walcowania ciasta. Największe zmiany zawartości tłuszczu wolnego zaobserwowano podczas intensywnego suszenia makaronu w suszarniach typu trabatto oraz w ciągu pierwszych dwóch godzin suszenia właściwego. Wysoki stopień żelifikacji skrobi, prowadzący do tworzenia kompleksów amylozowo-lipidowych, może być odpowiedzialny za takie zmiany. W konkluzji stwierdzono, że oznaczenie zawartości tłuszczu wolnego nie jest wiarygodnym wskaźnikiem do oszacowania zawartości jaj w makaronie.

Kluczową rolę w kształtowaniu jakości makaronu odgrywa również proces mieszania ciasta makaronowego, który może być przeprowadzany w warunkach ciśnienia atmosferycznego lub w próżni. Ostatnia z tych metod zwiększa dynamikę uwadniania mąki, co może korzystnie wpływać na cechy kulinarne makaronu. Temat ten był przedmiotem dalszych badań, których wyniki zostały opublikowane w pracy **II.2.7**. W badaniach zastosowano różne poziomy podciśnienia, od 0 do 0,8 atm, na etapie mieszania ciasta makaronowego. Makarony (penne) były wytwarzane z wykorzystaniem przemysłowej linii do produkcji makaronu typu C300 firmy La Parmigiana S.R.L. w Wytwórni Makaronu Domowego Pol-Mak S.A. w Ludwinie. Stwierdzono istotny wpływ zwiększonego podciśnienia na właściwości kulinarne makaronu. Zaobserwowano m.in. wydłużenie minimalnego czasu gotowania przy jednoczesnym zmniejszeniu strat suchej masy. Może to wynikać z usuwania powietrza podczas mieszania i uzyskania bardziej jednorodnej i zwartej struktury ciasta. Jednocześnie produkty otrzymane z ciasta mieszane przy maksymalnym zastosowanym podciśnieniu (0,8 atm) charakteryzowały się najniższym współczynnikiem przyrostu masy.

W kolejnych badaniach przeprowadzono ocenę możliwości uzyskania makaronów o zwiększonej zawartości błonnika pokarmowego poprzez dodatek otrąb pszenicy zwyczajnej jako alternatywy dla makaronów z pełnoziarnistej mąki durum. Otręby zostały dodane do mieszanek opartych na semolinie w ilości od 20 do 45%. Badania produkcyjne zostały przeprowadzone w Wytwórni Makaronu Domowego Pol-Mak S.A. w Ludwinie, na przemysłowej linii produkcyjnej typu C300 firmy La Parmigiana (Parma, Włochy). Opublikowane wyniki (**II.4.A.11**) wykazały, że dodatek otrąb pszenicznych w ilości 25% i 30% umożliwia uzyskanie makaronu charakteryzującego się bardzo niskimi stratami suchej masy podczas gotowania (od 2,47% do 5,76%) oraz niskimi wartościami współczynnika rozpuszczalności suchej masy (od 2,87% do 3,29% w ugotowanych makaronach). Szczególnie

korzystna jest druga cecha, która może wskazywać na niski indeks glikemiczny tych produktów. Dodatek otrąb pozwolił również uzyskać makaron o zawartości błonnika pokarmowego (TDF) na poziomie 10,88% s.m. i 11,23% s.m., co jest porównywalne z zawartością tego składnika w komercyjnie dostępnym makaronie z pełnoziarnistej mąki durum. Przeprowadzono także ocenę możliwości częściowego zastąpienia semoliny mąką z pszenicy zwyczajnej w produkcji makaronów jajecznych i bezjajecznych (**II.4.B.27**). Taka modyfikacja receptury może mieć istotny wpływ ekonomiczny, ze względu na różnice w kosztach surowców. W makaronach bezjajecznych, jednojajecznych i dwujajecznych semolina durum została zastąpiona mąką z pszenicy zwyczajnej w zakresie od 0% do 100%. Proces produkcji makaronu odbywał się przy użyciu półtechnicznej linii produkcyjnej składającej się z wyciarkarki MAC 30S-Lab Extruder (ItalPast, Włochy) oraz suszarki komorowej EAC30-LAB (ItalPast, Włochy). Przeprowadzone badania potwierdziły możliwość częściowego zastąpienia semoliny durum mąką z pszenicy zwyczajnej. Zastąpienie do 50% semoliny zwykłą mąką w makaronie bezjajecznym pozwala uzyskać produkt spełniający wszystkie ustalone w badaniu kryteria dotyczące cech jakościowych i kulinarnych. W przypadku makaronów jednojajecznych akceptowalny jest dodatek 60% mąki pszennej zwyczajnej. Dodatek jajek istotnie poprawił parametry jakościowe makaronu, takie jak zawartość białka, barwa i walory kulinarne. Najlepsze rezultaty uzyskuje się przy dodatku dwóch jajek lub ich odpowiednika (masa jajeczna). Wszystkie próbki makaronu dwujajecznego, niezależnie od proporcji semoliny durum i mąki zwyczajnej, spełniały ustalone w badaniu kryteria jakościowe, takie jak zawartość białka minimum 11,5%, zawartość błonnika pokarmowego minimum 3,8%, straty kulinarne poniżej 8%, YI (wskaźnik żółtości) minimum 30 dla makaronu surowego i 20 dla makaronu ugotowanego.

Celem kolejnych badań (**II.4.A.14**) było określenie możliwości wykorzystania nasion roślin strączkowych jako naturalnych składników barwiących w produkcji makaronów w formie podłużnej (Tagliatelle) przy użyciu technologii laminowania. Wykorzystano mąkę z nasion groszku zielonego, soczewicy czerwonej i lędźwianu siewnego w ilości od 5% do 20%. Badania wykazały, że mąki z roślin strączkowych mogą pełnić funkcję naturalnych barwników, jednocześnie istotnie poprawiając skład aminokwasowy produktu. W próbkach makaronów wzbogaconych o 15% mąki z roślin strączkowych stwierdzono wzrost zawartości lizyny (aminokwasu limitującego w produktach pszennych) o 60-88%. Dodatek mąki z roślin strączkowych znacznie zwiększał również zawartość białka i błonnika pokarmowego (TDF, IDF, SDF) w makaronach. Nie zaobserwowano istotnego pogorszenia właściwości kulinarnych makaronu po dodaniu mąki z roślin strączkowych. Otrzymane makarony charakteryzowały się akceptowalnymi przyrostami masy i stratami kulinarnymi podczas gotowania. Ze względu na zmianę barwy makaronu przed i po ugotowaniu oraz modyfikację składu makaronu, jako najlepszy składnik barwiący wskazano mąkę z soczewicy czerwonej. Inne komponenty, które mogą służyć jako naturalne środki barwiące, jednocześnie wpływając na podniesienie wartości odżywczej makaronu, to proszki i koncentraty warzywne. W ramach oceny takiej możliwości opublikowano badania (**II.4.A.15**), w których zastosowano sproszkowany burak, koncentrat buraczany, sproszkowaną marchew, koncentrat

marchwi oraz sproszkowany jarmuż w ilości od 0% do 8%. Badania obejmowały m.in. wpływ tych dodatków na barwę, skład chemiczny, jakość kulinarną i sensoryczną makaronu. Makaron w formie Tagliatelle produkowano przy użyciu wcześniej opisanej półtechnicznej linii produkcyjnej. Wykazano, że dodatek koncentratów warzywnych powoduje większe zmiany barwy makaronu w porównaniu z próbą kontrolną (ΔE od 12.45 do 48.01, w zależności od rodzaju dodatku), niż dodatek analogicznych proszków warzywnych (ΔE w zakresie 6.24–45.31). Jednakże kolor produktów był mniej stabilny podczas gotowania. Aby uzyskać makaron o bardziej stabilnej barwie w trakcie gotowania, zaleca się dodatek proszków roślinnych. Zastosowanie koncentratów warzywnych pozwala jednak uzyskać makaron o lepszej jakości kulinarnej, z mniejszymi stratami suchej masy podczas gotowania i niższym wskaźnikiem przyrostu masy w porównaniu z makaronem wzbogacającym proszkami. Zarówno dodatek proszków, jak i koncentratów, przyczynia się do zwiększenia wartości odżywczej makaronu, zwłaszcza zawartości błonnika pokarmowego i związków mineralnych. Wykazano, że interesującym dodatkiem może być jarmuż, który charakteryzuje się wysoką zawartością makroskładników, błonnika i białka. Jednak dodatek tego składnika nie powinien przekraczać 6% ze względu na aromat kapusty i gorzki posmak, które mogą wystąpić w otrzymanym makaronie.

Jednym z ostatnich zagadnień, które dotyczyły technologii produkcji makaronu, były badania mające na celu uzyskanie makaronu o niskim indeksie glikemicznym (**II.4.A.17**, **II.4.A.18**). W pierwszych badaniach sprawdzono możliwość suplementacji makaronu poprzez dodatek rozdrobnionych liofilizowanych liści pokrzywy w ilości do 5%. Stwierdzono, że suplementacja na poziomie 5% pozwala na uzyskanie makaronu o znacznie wyższej zawartości składników mineralnych, zwłaszcza wapnia, żelaza, potasu i magnezu. Zaobserwowano również wysoką zawartość chlorofilu i karotenoidów (odpowiednio 237,58 $\mu\text{g g}^{-1}$ i 13,35 $\mu\text{g g}^{-1}$). Dodatek pokrzywy w ilości od 0% do 5% spowodował istotny statystycznie ($p \leq 0,05$) wzrost zawartości ogólnego błonnika pokarmowego (od 5,1 g na 100 g do 8,82 g na 100 g) oraz frakcji nierozpuszczalnej (od 2,29 g na 100 g do 5,63 g na 100 g). Najniższe wartości wskaźnika hydrolizy skrobi (HI = 17,49%) oraz indeksu glikemicznego (IG = 49,31%) stwierdzono dla makaronu wzbogaconego w 3% pokrzywy (**II.4.A.17**). Kolejne badania (**II.4.A.18**) miały na celu określenie wpływu dodatku mąki łubinowej w ilości od 0% do 25% na wartości indeksu glikemicznego (IG) i ładunku glikemicznego (GL), właściwości fizykochemiczne oraz jakość kulinarną makaronu. Dodatkowo do receptury dodano β -glukany owsiane (7,5-20%), gluten witalny (5%) oraz mąkę jaglaną (20%). Stwierdzono, że dodatek 7,5% β -glukanów i 5% glutenu witalnego spowodował jedynie minimalne obniżenie IG produktów. Istotne obniżenie IG zaobserwowano po dodatku 20% mąki łubinowej. Makaron z 20% dodatkiem mąki łubinowej, 20% β -glukanów i 20% mąki jaglanej miał najniższy indeks glikemiczny i ładunek glikemiczny (odpowiednio GI = 33,75%, GL = 7,2%). Jednocześnie ten produkt charakteryzował się wyższą zawartością białka, tłuszczu, popiołu i błonnika pokarmowego oraz dobrą jakością kulinarną (**II.4.A.18**).

W ramach omawianego obszaru badań uczestniczyłem również w badaniach mających na celu określenie możliwości uzyskania pieczywa o zwiększonej wartości odżywczej w porównaniu do

tradycyjnego pieczywa pszennego. Wzbogacenie pieczywa pszennego w cenne składniki, takie jak białko i błonnik pokarmowy, zwłaszcza frakcje rozpuszczalne, mogłoby poszerzyć asortyment pieczywa i przyczynić się do zahamowania spadku jego spożycia. Z wcześniejszych badań (**II.4.B.18**, **II.4.A.12**) wynikało, że przetwory z ziarna jęczmienia i owsa mogą być takimi cennymi składnikami. Wyniki badań dotyczących możliwości wprowadzenia mąki jęczmiennej do pieczywa razowego zostały opublikowane w **II.2.6** oraz **II.4.B.22**. W obu badaniach wykorzystano wyselekcjonowane ziarno jęczmienia, zarówno oplewione, jak i nieoplewione, pochodzące ze stacji badawczej IHAR w Strzelcach. Kryterium selekcji dotyczyło zawartości (1-3)(1-4)- β -D-glukanów. Mąkę jęczmienną dodawano w ilości do 12-12,5%. Wykazano, że mąka jęczmienna razowa może być bardzo wartościowym składnikiem, podnoszącym jakość i wartość odżywczą białego pieczywa. Już dodatek 7,5% mąki jęczmiennej razowej pozwala na uzyskanie pieczywa o znacznie wyższej zawartości frakcji błonnika pokarmowego w porównaniu z pieczywem kontrolnym, przy porównywalnej jakości sensorycznej do pieczywa pszennego. Dodatkowo dodatek składników jęczmiennych powoduje niewielkie zmniejszenie straty wypiekowej i wzrost wilgotności miękiszu w porównaniu do pieczywa pszennego. Odmianą jęczmienia zalecaną dla piekarni na podstawie przeprowadzonych badań jest Rastik. Dodatek 12,5% mąki jęczmiennej razowej z tej odmiany pozwala na uzyskanie pieczywa o zawartości SDF i (1-3)(1-4)- β -D-glukanów odpowiednio: 3,38% s.m. i 0,77% s.m., przy jednoczesnej wysokiej ocenie sensorycznej (**II.4.B.22**). W pracy **II.4.B.23** dokonano analizy wpływu zastosowania śruty owsa oplewionego na cechy pieczywa pszenno-owsianego. Badano dodatek komponentu owsianego w zakresie od 1,5% do 12% w stosunku do mąki pszennej. W ramach badań porównano również wyniki dla dwóch metod wypieku: jednofazowej i dwufazowej. Stwierdzono, że zarówno udział śruty owsianej, jak i metoda prowadzenia ciasta, miały wpływ na cechy jakościowe otrzymanego pieczywa. Zwiększenie udziału komponentu owsianego prowadziło do zwiększenia wydajności pieczywa, co można przypisać dużej zdolności hydratacyjnej składnika owsianego. Jednocześnie dodatek śruty owsianej powodował zmniejszenie objętości chlebów z jej udziałem. Aby poprawić objętość pieczywa, można rozważyć zastosowanie innych dodatków (gluten witalny) lub zmianę technologii prowadzenia ciasta. Badania wykazały, że objętość pieczywa pszenno-owsianego otrzymanego metodą dwufazową była wyższa niż pieczywa otrzymanego metodą jednofazową. Jak można było przewidzieć, dodatek składnika owsianego istotnie zwiększał zawartość błonnika pokarmowego oraz jego frakcji w porównaniu do pieczywa pszennego. Ponadto stwierdzono, że zastosowana metoda prowadzenia ciasta miała wpływ na zawartość (1,3)(1,4)- β -D-glukanów w pieczywie, przy czym wyższą zawartość frakcji rozpuszczalnych zaobserwowano przy zastosowaniu dwufazowej metody prowadzenia ciasta.

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

VI.1. Osiągnięcia dydaktyczne

W okresie mojej pracy dydaktycznej, w latach 1999-2023, prowadziłem zajęcia z **10 przedmiotów** w ramach **5 kierunków kształcenia** prowadzonych na Wydziale Nauk o Żywności i Biotechnologii oraz Wydziale Agrobiotechnologii (Tabela 1). Jestem autorem programów nauczania na przedmiotach: Inżynieria procesowa, Aparatura i inżynieria procesów produkcyjnych oraz Inżynieria procesowa w winiarstwie. Aktualnie jestem odpowiedzialny za realizację przedmiotów: Inżynieria procesowa, Inżynieria procesowa w winiarstwie oraz Technologia ekstruzji (*przedmiot fakultatywny do wyboru*). Brałem udział w programie „Master of Didactics” Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (2020-2021) realizowanym w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój, w ramach którego zrealizowałem autorskie zajęcia z przedmiotu Metodyka pisania prac dyplomowych w formie tutoring.

Tabela 1. Wykaz realizowanych przedmiotów

L.p.	Nazwa przedmiotu	Kierunek	Forma zajęć
Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii			
1	Inżynieria procesowa	TZiŻC	Wykłady/ćwiczenia
2	Projektowanie technologiczne	TZiŻC	Wykłady/ćwiczenia
3	Projektowanie zakładów gastronomicznych	GiSK	Wykłady
4	Podstawy projektowania	Biotechnologia	Wykłady
5	Technologia Zbóż	TZiŻC	Wykłady/ćwiczenia
6	Technologia specjalizacyjna – Technologia zbóż	TZiŻC	Ćwiczenia
7	Technologia specjalizacyjna – Technologia gastronomiczna	TZiŻC	Ćwiczenia
8	Metodyka pisania prac dyplomowych *	TZiŻC	Tutoring
Wydział Agrobiotechnologii			
9	Aparatura i inżynieria procesów produkcyjnych	Towaroznawstwo	Wykłady/ćwiczenia
10	Inżynieria procesowa w winiarstwie	Enologia i Cydrownictwo	Wykłady/ćwiczenia

TZiŻC- Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka; GiSK- Gastronomia i sztuka kulinarna. *zajęcia realizowane w roku akademickim 2020/2021 (wymiar 100 godz.) w ramach programu „Mistrzowie dydaktyki” Program Operacyjny Wiedza Edukacja Rozwój (nr projektu CN/MD/3/2019). Zajęcia prowadzone z wykorzystaniem metod Tutoringu.

W trakcie pracy w Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie byłem **promotorem 57 prac dyplomowych**, w tym **17 prac magisterskich** (w latach 2017-2022) oraz **40 prac inżynierskich** (w latach 2012-2022) realizowanych na dwóch kierunkach studiów Technologia Żywności i Żywnienia Człowieka oraz Gastronomia i Sztuka Kulinarna (Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii). Aktualnie (rok 2023) pod moją opieką realizowane są dwie kolejne prace magisterskie na kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka. W ramach przygotowywanych prac magisterskich studenci zaangażowani byli również w przygotowanie publikacji (II.4.A.4; II.4.A.5; II.4.B.11 – załącznik nr 4). Ponadto byłem **recenzentem 24 prac dyplomowych**, w tym **14 prac inżynierskich** (w latach 2012-2022) oraz **10 prac magisterskich** (w latach 2012-2018) na kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka.

W sierpniu roku 2022 pełniłem opiekę nad studentką zagraniczną z Bolu Abant İzzet Baysal University podczas letniego stażu w ramach programu Erasmus, odbywającego się w Zakładzie Inżynierii i Technologii Zbóż.

W latach 2005-2010 pełniłem rolę opiekuna studentów na kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka (studia stacjonarne). Aktualnie (w kadencji 2022-2026) ponownie pełnię rolę opiekuna roku na kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka (studia stacjonarne).

VI.2. Działalność organizacyjna

Obok działalności naukowej i dydaktycznej istotnym elementem mojej pracy zawodowej jest działalność organizacyjna, w tym obszarze pełniłem wielokrotnie różnorodne funkcje (*pochodzące z mianowania jak i wyboru*) w gremiach Wydziałowych oraz Uczelnianych. Były to m.in. takie funkcje jak:

- członek zespołu do opracowania KRK (Krajowych Ram Kwalifikacji) w ramach Rady Programowej dla kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka w roku 2011 r.,
- elektor (*Mandat nr 221*) w wyborach na Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie na kadencje 2008-2012,
- członek Rady Programowej dla kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka kadencja 2012-2013,
- członek Wydziałowej Komisji ds. Promocji Wydziału w latach 2011-2016,
- członek Dziekańskiej Komisji do spraw Promocji Uczelni w latach 2013-2016,
- członek Rady Wydziału Nauk o Żywności i Biotechnologii (*nie będący samodzielnym pracownikiem naukowym, z wyboru*) w trzech kolejnych kadencjach w latach 2008-2012, 2012-2016 oraz 2016-2020,

- członek Kolegium Wydziału Nauk o Żywności i Biotechnologii (z mianowania) od 2020 do 2021 r.,
- członek zespołu ds. przeprowadzenia procesu akredytacji na kierunkach dwóch kierunkach studiów: Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka (2020 r) oraz Gastronomia i Sztuka Kulinarna (2021 r),
- członek komisji ds. oceny referatów w ramach III Międzynarodowego Sympozjum Studenckich Kół Naukowych w Sekcji Nauk o Żywności i Biotechnologii 21-04-2022 (on-line) organizowanej przez Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
- członek Wydziałowej Komisji ds. Oceny Jakości Kształcenia od 2016 r do chwili obecnej,
- redaktor strony Wydziałowej (Wydział Nauk o Żywności i Biotechnologii) od 2020 r. do chwili obecnej,
- członek Rady Dyscypliny Technologia żywności i żywienia (z wyboru) w kadencji 2021-2024 r.

W roku 2022 pełniłem funkcję przewodniczącego Komitetu Organizacyjnego III Konferencji Naukowej „Nauka o Zbożach – Osiągnięcia i Perspektywy” organizowanej w Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie (22-23.09.2022). Jako przewodniczący Komitetu byłem autorem wniosku o dofinansowanie Konferencji z programu Ministerialnego "Doskonała nauka - Wsparcie konferencji naukowych". Złożony wniosek (ID 547218) uzyskał dofinansowanie z w/w programu na kwotę 85 800 zł. W ramach organizacji Konferencji pełniłem również rolę redaktora strony konferencji.

VI.3. Działalność popularyzująca naukę

Od początku mojej pracy zawodowej angażuję się także w różne formy aktywności, mające na celu popularyzację nauki. Wielokrotnie brałem udział w realizacji projektów dydaktycznych (jako kierownik i współorganizator) m.in. w ramach Lubelskiego Festiwalu Nauki, Dni otwartych UP w Lublinie oraz Nocy Uniwersytetów (Tabela 2).

Tabela 2. Zestawienie zrealizowanych projektów dydaktycznych

Lp.	Rok	Tytuł projektu	Forma
Projekty zrealizowane w ramach Lubelskiego Festiwalu Nauki			
1	2013	Płatki, kasze i pęczaki – znacie wszystko to dzieciaki?	warsztaty
2	2015	Płatki, kasze i pęczaki – znacie wszystko to dzieciaki?	warsztaty
3	2015	Strategiczna rola zbóż niechlebowych w profilaktyce i zwalczaniu chorób cywilizacyjnych	wykład
4	2015	Żywność zbożowa smaczna i zdrowa	piknik naukowy
5	2016	Makaronowy zawrót głowy	warsztaty
6	2016	I ty możesz zostać piekarzem	warsztaty
7	2017	Strategiczna rola zbóż niechlebowych w profilaktyce i zwalczaniu chorób cywilizacyjnych	wykład
8	2018	Mali odkrywcy w wielkim świecie makaronów	warsztaty

9	2018	Zboże- z czym to się je?	warsztaty
10	2018	Po nitce do kłębka – prosta historia glutenu	wykład
11	2018	Czy zboże może udawać zboże? czyli słów kilka o pseudozbożach	wykład
12	2019	Chleb do jedzenia i do zrobienia	warsztaty
13	2019	Ryż w żywieniu człowieka	wykład
14	2022	Zapleciona, słodka, zdrowa czyli chałka kolorowa	warsztaty
Projekty zrealizowane w ramach Dni Otwartych UP w Lublinie			
15	2014	Płatki, Kasze - ale pycha	wykład
16	2015	Zbożowa żywność funkcjonalna w profilaktyce i zwalczaniu chorób cywilizacyjnych	wykład
Projekty zrealizowane w ramach Nocy Uniwersytetów			
17	2014	Zbożowa żywność funkcjonalna w profilaktyce i zwalczaniu chorób cywilizacyjnych	warsztaty

W roku 2019 wygłosiłem na zaproszenie Uniwersytetu III Wieku – Zespół Ogrodniczy LUTW wykład na temat „Ryż w żywieniu człowieka”

W ramach realizowanej w latach 2021-2022 współpracy z Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinie (Oddział w Radomiu) wygłosiłem autorskie wykłady "Przetwarzanie zbóż. Dostosowanie pomieszczeń, wymagania, wyposażenie w sprzęt i urządzenia nieprzemysłowe. Praktyczne wskazówki" (Łącznie siedem edycji) dla doradców rolniczych w ramach szkoleń realizowanych w programie „Przetwórstwo na poziomie gospodarstwa rolnego i rolniczy handel detaliczny” (PROW na lata 2014-2020).

W roku 2023 brałem udział w realizacji czterech audycji programu edukacyjnego „Na zdrowie” realizowanych przez Polskie Radio Lublin:

- 22.03.2023 - Związki arsenu w ryżu
- 27.03.2023 - Wartości odżywcze kasz ...
- 17.04.2023 - Wartości odżywcze kaszy gryczanej i jęczmiennej
- 29.05.2023 - O pszenicy, a także o kaszy bulgur oraz kuskus ...

VII. Dodatkowe informacje dotyczące kariery zawodowej

VII.1. Udział w kursach i szkoleniach

Od początku pracy naukowo-dydaktycznej na Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie uczestniczyłem w licznych szkoleniach i kursach, mających podnieść moje kompetencje przydatne zarówno w pracy naukowej, dydaktycznej jak i organizacyjnej. Zestawienie odbytych kursów i szkoleń zamieszczone zostało w Tabeli 3.

Tabela 3. Zestawienie odbytych kursów i szkoleń

L.p.	Data	Tytuł szkolenia/kursu
1	2001-2003	Kurs języka angielskiego w latach 2001-2003 – Top English School. Etap 10 Metody Callana. Łącznie 349 lekcji.
2	3.07.2006	Kurs dokształcający” Metody statystyczne i wykorzystanie programów komputerowych” - ukończony w dniu 3 lipca 2006. Akademia Rolnicza w Lublinie
3	21.04.2015	Szkolenie z zakresu bazy danych CAB Abstracts Plus na Ovid – nowoczesne narzędzie optymalizujące efektywność pracy z elektronicznymi źródłami naukowymi
4	19.06.2015	Udział w konferencji Upowszechniającej model INNO-BROKER mającej na celu upowszechnienie modelu wypracowanego w ramach projektu Nowy model kompleksowej obsługi potrzeb innowacyjnych przedsiębiorstw – INNO-BROKER, 19.06.2015 Lublin.
5	07.10.2015	„Środa z funduszami dla szkół i uczelni” szkolenie zorganizowane przez Urząd Marszałkowski Województwa Lubelskiego w Lublinie, Departament Zarządzania Regionalnym Programem Operacyjnym, w zakresie możliwości pozyskiwania środków na badania i infrastrukturę naukową w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego na lata 2014-2020,
6	26.11.2015	„Jak pozyskać środki na badania i innowacje z funduszy UE?” szkolenie zorganizowane przez Biuro Informacyjne Parlamentu Europejskiego w zakresie możliwości pozyskiwania środków na badania i infrastrukturę naukową z funduszy Unii Europejskiej.
7	15.02.2016	Warsztaty „Jak z sukcesem przygotować wniosek o grant i pokonać wszelkie wymagania formalne przy jego realizacji” – Lublin
8	14.03.2016- 15.03.2016.	Szkolenie pt. „Pomoc publiczna w ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Lubelskiego na lata 2014-2020” Lublin, Organizator: ALDEO Systemy Zarządzania Sp. z o.o 26-600 Radom, ul. Czachowskiego 34. Urząd Marszałkowski Województwa Lubelskiego w Lublinie.
9	26.04.2016	Szkolenie pt. „Wspomaganie statystycznej analizy wyników badań empirycznych w programie statistica” Organizator: StatSoft Polska Sp. z o.o.
10	22.11.2016	Warsztaty organizowane przez firmę Plagiat.pl Sp. z o.o. (ul. Wróbla 8, 02-736 Warszawa) z udziałem Politechniki Lubelskiej poświęconych skutecznej procedurze antyplagiatowej na uczelni oraz kwestii świadomości prawa autorskiego i granicy między zapożyczeniem a przywłaszczeniem Lublin, Politechnika Lubelska
11	04.12.2017	Szkolenie z zakresu produkcji wyrobów piekarniczych metodą tradycyjną i odroczonego wypieku w Akademii Piekarskiej Ireks-Prokopowicz w Radomiu
12	18.10.2018	Warsztaty kulinarne organizowane w ramach Pizza Forum przez Hendi Polska Sp. z o.o w zakresie techniki wyrobu pizzy. Lublin, k. Panieńszczyzna
13	24.09.2019	Szkolenie z zakresu obsługi linii technologicznej do wypieku w tym: obsługi pieca Helios 4060/3 Pro, urządzenia chłodniczo-garowniczego Tefi 400 Pro, mieszalki AWR „Kodiak” oraz wypieku w technologii odroczonej fermentacji. Szkolenie prowadzone przez Głównego technologa Debag- Mistrz piekarnictwa Sebastian Haratyk.
14	13.02.2019	Szkolenie z pierwszej pomocy pt. „Teoretyczne i praktyczne szkolenie z zakresu Podstawowego Kursu Pierwszej Pomocy dorosłych i Dzieci”., nr zaświadczenia wg rejestru 1899. Szkolenie zorganizowane przez Ratownictwo Medyczne ul. Junosza Kasperka 17/38, 21-040 Świdnik
15	10.09.2019- 24.09.2019	Kurs języka angielskiego na poziom C1 organizowany przez UP Lublin w dniach w wymiarze 30 godzin, w ramach udziału w projekcie Mistrzowie Dydaktyki
16	21.10.2019- 24.10.2019	Szkolenie „Kreatywne metody w edukacji na poziomie wyższym” organizowane przez KIP Training & Consulting Agnieszka Grzelak-Chodak w wymiarze 32 godzin. W ramach projektu „Zintegrowany Program Rozwoju Uniwersytetu Przyrodniczego w

		Lublinie". Projekt współfinansowany ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój na lata 2014-2020
17	11.12.2019	Szkolenie „Ocena programowa PKA” – szkolenie przeprowadzone przez Instytut Rozwoju Szkolnictwa Wyższego, prowadzący Grzegorz Laskowski
18	27.01.2020-31.01.2020	Wizyta studyjna (5 dniowa) na Uniwersytecie w Groningen (Holandia) „Fundamentals to University Teaching – Masters of Didactics” organizowana przez Educational Support and Innovation Department, University of Groningen, The Netherlands w ramach programu „Master of Didactics” Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.
19	21.06.2021-22.06.2021	Międzynarodowa konferencja „Podnoszenie kompetencji dydaktycznych nauczycieli akademickich” w ramach projektu pozakonkursowego pn. „Mistrzowie dydaktyki” realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój. Forma On-line
20	7.09.2021	Seminarium warsztatowe organizowane w ramach projektu pozakonkursowego pn.: „Mistrzowie dydaktyki”, przez Ministerstwo Edukacji i Nauki, Departament Innowacji i Rozwoju, współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego (PO WER) nr POWR.04.03.00-00-0074/17. Tytuł warsztatów: „Modele tutoringu a strategię rozwoju kompetencji dydaktyki akademickiej”. Forma on-line
21	8.11.2021-9.11.2021	Warsztaty dla piekarzy: chleb, pasja i ewolucja. Światowe trendy dla pieczywy najwyższej jakości. Warsztaty prowadzone przez Ośrodek Doskonalenia Kadr Stowarzyszenia Naukowo-Technicznego Inżynierów i Technologów Przemysłu Spożywczego 00—043 Warszawa, ul. Czackiego 3/5 w Lublinie (wymiar 20 godzin)
22	2020-2022	Udział w programie „Master of Didactics” Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (2020-2021) realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój zakończony certyfikatem Master of Didactics – Certificate Fundamentals of University Teaching and Tutoring. Program obejmował 5 ECTS (150 godzin zajęć) realizowanych w ciągu 12 miesięcy w tym 5 dniowa wizyta studyjna w Uniwersytecie Groningen (Holandia), trzy 2-dniowe konferencje (Warszawa) oraz 1-dniowa konferencja końcowa (on-line)
23	23.03.2021-10.02.2022	Kurs języka angielskiego 23.03.2021-10.02.2022 w wymiarze 160 godzin w ramach projektu „Podniesienie kompetencji kadry akademickiej i administracyjnej oraz potencjału instytucjonalnego w przyjmowaniu osób z zagranicy przez Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie” realizowanego w ramach programu „Welcome to Poland”, współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój, projekt pozakonkursowy pt. Podniesienie kompetencji kadry akademickiej i potencjału instytucji w przyjmowaniu osób z zagranicy – Welcome to Poland realizowany w ramach Działania określonego we wniosku o dofinansowanie projektu nr POWR.03.03.00-00-PN14/18.
24	4.01.2022-20.03.2023	Kurs „Tworzenie treści elearningowych” w wymiarze 40 h organizowany przez EduCafe (Wpis do RIS WUP w Szczecinie 2.32/00179/2018). Zaświadczenie o ukończeniu kursu 93/2023. Kurs zorganizowany w ramach projektu "Przyrodniczy MIT program dostosowania Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie do wyzwań Nauki 2.0" nr POWR.03.05.00-00-Z209/18

Wybrane otrzymane certyfikaty:

- Master of Didactics – Certificate Fundamentals of University Teaching and Tutoring (2022 r)
- Certyfikat znajomości j. angielskiego Telc English B2 - data egzaminu 26-03-2022

VII.2. Otrzymane nagrody i wyróżnienia

1. 19.05.2009 – wyróżnienie Studentów Wydziału Nauk o Żywności i Biotechnologii w plebiscycie na „Najlepsze slajdy na wykładzie” przyznane przez Radę Wydziałową Samorządu Studenckiego Wydziału Nauk o Żywności i Biotechnologii w ramach Dni Wydziału NoŻiB.
2. Dyplom uznania za osiągnięcia naukowe w latach 2007-2009 – przyznany przez Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie w 2010 r.
3. Nagroda zespołowa II stopnia za osiągnięcia naukowe w latach 2008-2010 – przyznana przez Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie w 2011 r.
4. Nagroda indywidualna II stopnia za osiągnięcia naukowe w latach 2013-2015 – przyznana przez Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie w 2016 r.
5. Medal brązowy za długoletnią służbę przyznany przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej, otrzymany postanowieniem z dnia 19 lipca 2017 r.
6. Nagroda zespołowa z okazji Inauguracji Roku Akademickiego 2019/2020 za działalność naukową w roku 2018 przyznana przez Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.
7. Honorowa odznaka Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie za długoletnią pracę przyznana przez Rektora UP Lublin w dniu 27.01.2020 r.
8. I-nagroda za doniesienie naukowe (referat) pt. „Możliwość wykorzystania wytlóków i mąki kokosowej jako dodatków funkcjonalnych do produkcji makaronu” podczas II konferencji naukowej Nauka o Zbożach "Nowa jakość dla świadomego konsumenta", Poznań 26-27 września 2019 r.

VII.3. Tabelaiczne zestawienie osiągnięć w pracy naukowo-dydaktycznych i popularyzatorskich

W Tabeli 4 przedstawiono zestawienie dorobku naukowo-dydaktycznego i popularyzatorskiego z podziałem na podstawowe formy aktywności. Mój dorobek naukowy obejmuje łącznie **107 pozycji bibliograficznych** w tym: **52 oryginalne publikacje naukowe**, 2 monografie i 8 rozdziałów w monografiach naukowych oraz 45 doniesień i komunikatów naukowych prezentowanych na konferencjach krajowych i międzynarodowych. Wśród publikacji naukowych 25 zostało opublikowanych w czasopiśmie z listy JCR (w tym 7 stanowi cykl wskazany jako szczególne osiągnięcie w postępowaniu habilitacyjnych), wśród publikacji z JCR w 11 pracach jestem pierwszym autorem oraz w 11 pełniłem rolę autora korespondencyjnego.

Łączna liczba punktów MEiN liczona zgodnie z rokiem wydania publikacji: **1753 pkt (IF 61,36)**. Po wyłączeniu siedmiu publikacji wchodzących w skład osiągnięcia liczba punktów MEiN wynosi **1113 pkt**, natomiast **IF wynosi 32,004**.

Tabela 4. Zestawienie wybranej aktywności naukowo-dydaktycznej i popularyzatorskiej przed i po uzyskaniu stopnia doktora

Rodzaj pracy	Przed uzyskaniem stopnia doktora			Po uzyskaniem stopnia doktora			Suma		
	Lp.	Liczba pkt. MEiN	IF*	Lp.	Liczba pkt. MEiN	IF*	Lp.	Liczba pkt. MEiN	IF*
Oryginalne opublikowane prace twórcze	3	14		59	1739	61,36	62	1753	61,36
Czasopisma z JCR				25	1391	61,36	25	1391	61,36
Pozostałe recenzowane	3	14	-	23	268		26	282	
Autorstwo monografii naukowej				2	45		2	45	
Rozdział w monografii naukowej				8	35		8	35	
Publikacje niepuktowane	8			38			46		
Komunikaty naukowe	8			37			45		
Inne recenzowane				1			1		
Opracowania dla przemysłu				3			3		
Ekspertyzy				2			2		
Inne opracowania				1			1		
Projekty naukowo badawcze				5			5		
Kierowanie zadaniem				2			2		
Wykonawstwo				3			3		
Recenzje publikacji				59			59		
Czasopisma z JCR				56			56		
Pozostałe				3			3		
Prace dyplomowe				81			81		
Promotorstwo				57			57		
Recenzje				24			24		
Popularyzacja nauki				29			29		
Projekty edukacyjne				17			17		
Wywiady w radiu				4			4		
Wykłady inne				8			8		
Pozostałe	1			33			34		
Staże zawodowe				1			1		
Kursy, szkolenia	1			24			25		
Wyróżnienia, nagrody				8			8		

Ocena punktowa czasopism zgodna z rokiem publikacji wg załączników do komunikatów MEiN. IF zgodnie z rokiem wydania publikacji, w przypadku publikacji z roku 2023 IF podano z roku poprzedniego z uwagi na brak danych dotyczących IF z roku wydania publikacji.

Lublin, 12.06.2023



PODPIS ZAUFANY

 PIOTR
 ZARZYCKI
 15.06.2023 11:32:53 [GMT+2]

 Dokument podpisany elektronicznie
 podpisem zaufanym

(podpis wnioskodawcy)