



Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
**Rada Dyscypliny Technologia
Żywności i Żywienia**
ul. Akademicka 13, 20-950 Lublin
(nazwa i dane adresowe podmiotu habilitującego,
wybranego do przeprowadzenia postępowania)
za pośrednictwem:
Rady Doskonałości Naukowej
pl. Defilad 1
00-901 Warszawa
(Pałac Kultury i Nauki, p. XXIV, pok. 2401)

Beata Biernacka
(imię i nazwisko wnioskodawcy)

Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
Wydział Inżynierii Produkcji
Katedra Techniki Ciepłej
(miejsce pracy/jednostka naukowa)

Wniosek

z dnia 04.03.2025

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

**FORTYFIKACJA MAKARONÓW WYBRANYMI DODATKAMI
ROŚLINNYMI: ASPEKTY ŻYWIENIOWE I JAKOŚCIOWE**

Wnoszę – 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 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*

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).

² * Niepotrzebne skreślić.

.....Beata Biermała.....
(podpis wnioskodawcy)

Załączniki:

1. Dane wnioskodawcy
2. Dokument potwierdzający posiadanie stopnia doktora
3. Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych
4. Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój określonej dyscypliny
5. Kopie artykułów wchodzących w skład osiągnięcia
6. Potwierdzenie wkładu współautorów publikacji
7. Nośniki danych zawierające wersje przedłożonych dokumentów (2 szt.)
8. Kopie zaświadczeń, certyfikatów, potwierdzenia stażu

Załącznik 3. Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych

**AUTOREFERAT
PRZEDSTAWIAJĄCY OPIS OSIĄGNIĘĆ
NAUKOWYCH LUB ARTYSTYCZNYCH**

**OSOBY UBIEGAJĄCEJ SIĘ O NADANIE STOPNIA
DOKTORA HABILITOWANEGO W DYSCYPLINIE
TECHNOLOGIA ŻYWNOŚCI I ŻYWIENIA**

DR INŻ. BEATA BIERNACKA

**KATEDRA TECHNIKI CIEPLNEJ
WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI
UNIwersytet PRZYRODNICZY W LUBLINIE**

SPIS TREŚCI

1. Imię i nazwisko.....	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne.....	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.....	3
4. 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.).....	4
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.....	47
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.....	55
7. Inne ważne informacje dotyczące kariery zawodowej.....	59

1. IMIĘ I NAZWISKOImię (imiona) i nazwisko: **BEATA BIERNACKA****2. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE LUB ARTYSTYCZNE**

19.06.2009	magister inżynier	Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji, temat pracy magisterskiej: „Wpływ asortymentu dań smażonych na wybrane cechy posmażalniczego oleju sojowego” promotor: dr hab. Marek Szmigielski
23.06.2015	doktor nauk rolniczych specjalność – inżynieria rolnicza	Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji, temat pracy doktorskiej: „Wpływ warunków gotowania i przechowywania na właściwości fizyczne makaronów” promotor: prof. dr hab. Dariusz Dziński

3. INFORMACJA O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH LUB ARTYSTYCZNYCH

01.03.2016 – 30.09.2018	Asystent naukowo - dydaktyczny	Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Techniki Ciepłej, od 2017 r. Katedra Techniki Ciepłej i Inżynierii Procesowej, Zakład Techniki Ciepłej
01.10.2018 – nadal	Adiunkt naukowo - dydaktyczny	Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, Wydział Inżynierii Produkcji, Katedra Techniki Ciepłej i Inżynierii Procesowej, Zakład Techniki Ciepłej, od 2025 r. Katedra Techniki Ciepłej

4. 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.)

Wszystkie moje najważniejsze osiągnięcia w dotychczasowej pracy naukowej związane są z badaniami dotyczącymi fortyfikacji żywności. W szczególności skupione są na wzbogacaniu makaronów naturalnymi substancjami roślinnymi, pochodzącymi z wysuszonej i rozdrobnionej do postaci proszku żywności, z uwzględnieniem przygotowania i walidacji wybranych dodatków, a następnie opracowywaniu i ocenie **innowacyjnych makaronów fortyfikowanych dodatkami pochodzenia roślinnego**.

Prowadzone przeze mnie badania dotyczyły i dotyczą w głównej mierze obszaru dyscypliny **technologia żywności i żywienia**. Wpływ na to ma także zdobyte w ostatnich latach doświadczenie zawodowe w sektorze produkcyjnym, zwłaszcza w obszarze przetwórstwa rolno-spożywczego.

4.1. Określenie głównego osiągnięcia naukowego/artystycznego

Za swoje najważniejsze osiągnięcie naukowe uważam **wyznaczenie nowatorskiego kierunku badań w zakresie opracowywania i oceny innowacyjnych makaronów wzbogacanych naturalnymi dodatkami roślinnymi**. Moje badania koncentrują się na rozwijaniu procesów technologicznych, które pozwalają na wytwarzanie makaronów o ukierunkowanych właściwościach fizykochemicznych i sensorycznych poprzez dodanie naturalnych substancji pochodzących z wysuszonych i rozdrobnionych surowców roślinnych. W szczególności zajmuję się oceną wpływu tych dodatków na jakość makaronów, ich wartość odżywczą i właściwości przeciwutleniające oraz możliwość poprawy cech funkcjonalnych, takich jak tekstura, smak, zapach czy barwa, a także przygotowaniem i walidacją tych dodatków.

Wzbogacenie makaronów substancjami roślinnymi, często pochodzącymi z produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego, wpisuje się w nowoczesne trendy zrównoważonego rozwoju i zdrowej żywności. Opracowane warunki procesowe umożliwiają produkcję makaronów, które są zarówno zdrowe, jak i akceptowalne przez konsumentów. Tego rodzaju innowacyjne produkty mogą znaleźć szerokie zastosowanie na rynku spożywczym, odpowiadając na rosnące zapotrzebowanie konsumentów na żywność o wysokiej wartości odżywczej i cechach jakościowych.

Moje badania są zgodne z trendami konsumenckimi i licznymi zaleceniami Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) oraz Organizacji Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (FAO), które promują wprowadzanie na rynek produktów spożywczych wzbogacanych w naturalne składniki roślinne. Współpracowałam z zespołami naukowców z różnych ośrodków badawczych, w tym z IUNG – Państwowego Instytutu Badawczego w Puławach, z Zakładu Uprawy Roślin Zbożowych i Instytutu Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego (IA PAN), z Laboratorium Oceny Jakości Surowców Zbożowych, co zaowocowało cyklem publikacji w międzynarodowych czasopismach o wysokim prestiżu i współczynnikach cytowalności.

Ten kierunek badań stanowi istotny krok w rozwoju technologii żywności i żywienia, przyczyniając się do promowania zdrowego stylu życia oraz innowacyjnych rozwiązań procesowych w produkcji żywności. Fortyfikacja makaronów naturalnymi substancjami roślinnymi to innowacyjne podejście, które przynosi korzyści zarówno w kontekście zdrowia publicznego, jak i zrównoważonego rozwoju.

a) tytuł głównego osiągnięcia naukowego/artystycznego

**”FORTYFIKACJA MAKARONÓW WYBRANYMI DODATKAMI ROŚLINNYMI:
ASPEKTY ŻYWIENIOWE I JAKOŚCIOWE”**

Główne osiągnięcie dokumentuje cykl 8 publikacji powiązanych tematycznie, wydanych po uzyskaniu przez Wnioskodawcę stopnia naukowego doktora.

b) wykaz prac opublikowanych w czasopismach, dokumentujący osiągnięcie naukowe:

- P1. **Biernacka B.**, Dziki D., Gawlik-Dziki U., Różyło R., Siastała M. 2017, *Physical, sensorial, and antioxidant properties of common wheat pasta enriched with carob fiber*. Lebensm. - Wiss. Technol., Vol. 77 s. 186-192, DOI: 10.1016/j.lwt.2016.11.042, **40 pkt wg MEiN^a; IF₂₀₁₇ = 3,129^b**.
- P2. **Biernacka B.**, Dziki D., Różyło R., Gawlik-Dziki U. 2020, *Banana powder as an additive to common wheat pasta*. Foods, Vol. 9(1) Article number 53, DOI: 10.3390/foods9010053, **100 pkt wg MEiN^a; IF₂₀₂₀ = 4,350^b**.
- P3. **Biernacka B.**, Dziki D., Gawlik-Dziki U., Różyło R. 2021, *Common wheat pasta enriched with cereal coffee: quality and physical and functional properties*. Lebensm. - Wiss. Technol., Vol. 139, Article number 110516, DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110516, **100 pkt wg MEiN^a; IF₂₀₂₁ = 6,056^b**.
- P4. **Biernacka B.**, Dziki D., Kozłowska J., Kowalska I., Soluch A. 2021, *Dehydrated at different conditions and powdered leek as a concentrate of biologically active substances: antioxidant activity and phenolic compound profile*. Materials, Vol. 14 Iss. 20 Article number 6127, DOI: 10.3390/ma14206127, **140 pkt wg MEiN^a; IF₂₀₂₁ = 3,748^b**.
- P5. **Biernacka B.**, Dziki D., Rudy S., Krzykowski A., Polak R., Dziki L. 2022, *Influence of pretreatments and freeze-drying conditions of Strawberries on drying kinetics and physicochemical properties*. Processes, Vol. 10 Iss. 8 Article number 1588, DOI: 10.3390/pr10081588, **70 pkt wg MEiN^a; IF₂₀₂₂ = 3,500^b**.
- P6. **Biernacka B.**, Dziki D., Gawlik-Dziki U. 2022, *Pasta enriched with dried and powdered leek: physicochemical properties and changes during cooking*. Molecules (Basel,Online), Vol. 27 Issue 14 Article number 4495, DOI: 10.3390/molecules27144495, **140 pkt wg MEiN^a; IF₂₀₂₂ = 4,600^b**.
- P7. **Biernacka B.**, Dziki D., Różyło R., Gawlik-Dziki U., Nowak R., Pietrzak W. 2023, *Common wheat pasta enriched with ultrafine ground oat husk: physicochemical and sensory properties*. Molecules (Basel,Online), Vol. 28 Issue 20 Article number 7197, DOI: 10.3390/molecules28207197, **140 pkt wg MEiN^a; IF₂₀₂₃ = 4,200^b**.
- P8. **Biernacka B.**, Dziki D., Piekut J., Nawrocka A. 2025, *Effect of varied addition of freeze-dried strawberry powder on selected quality parameters of common wheat pasta*. DOI: <https://doi.org/10.31545/intagr/197359>, Int. Agrophys. 2025, 39(2): 125-134, **100 pkt wg MEiN^a; IF₂₀₂₄ = 2,000^c**.

ŁĄCZNIE (OSIĄGNIĘCIE):

- | | |
|----------------------|-----------------------|
| - Punkty MEiN | 830 ^{a,c} |
| - Impact factor (IF) | 31,583 ^{b,c} |

^a Punktacja MEiN według roku wydania publikacji^b IF z roku wydania publikacji^c Punktacja MEiN i IF z roku 2024, ponieważ artykuł ukaże się w II kwartale 2025

Wkład w powstanie każdej z ww. publikacji opisano i dołączono do dokumentacji aplikacyjnej. Oświadczenia pozostałych współautorów, wraz z określeniem ich indywidualnego wkładu w powstanie poszczególnych prac, zawarte są w stosownym załączniku.

4.2. Wprowadzenie do tematyki osiągnięcia

Pszenica zwyczajna (*Triticum aestivum*) od wieków stanowi jeden z kluczowych składników diety człowieka, będąc podstawowym źródłem energii, białka oraz innych składników odżywczych. Odgrywa kluczową rolę w diecie człowieka, dostarczając 20% dziennego zapotrzebowania na kalorie i białko (Javid Iqbal, Shams, and Fatima, 2022). Dzięki swoim właściwościom technologicznym jest szeroko stosowana w produkcji pieczywa, wyrobów cukierniczych i makaronów (Arshad *et al.*, 2017; Nilusha *et al.*, 2019). Makaron, szczególnie popularny w kuchniach europejskich, azjatyckich i obu Ameryk, stał się produktem globalnym, dostępnym w różnorodnych formach i kształtach. Jego szerokie zastosowanie w kuchni wynika nie tylko z łatwości przygotowania, ale także z jego wartości odżywczych, które można wzbogacać (fortyfikować) o dodatkowe substancje odżywcze, takie jak witaminy, minerały czy błonnik (Dziki, 2021).

Makarony pszenne, zaraz po chlebie, są jednymi z najpopularniejszych, łatwych w przygotowaniu i wszechstronnych produktów spożywczych. Są bogatym źródłem węglowodanów złożonych (74–77%) i białka (11–15%), a ubogim źródłem sodu, aminokwasów i tłuszczu całkowitego. Najlepszej jakości makarony uzyskuje się z mąki durum (semoliny) (Nilusha *et al.*, 2019). Semolina jest produkowana przez mielenie pszenicy durum (*Triticum durum*) o wysokiej zawartości glutenu, co pozwala na uzyskanie produktu końcowego o bardzo dobrej jakości (Ye *et al.*, 2023). Ponadto wysoka zawartość karotenoidów w semolinie oraz jej gruboziarnista struktura sprawiają, że makarony mają bardziej atrakcyjny żółty kolor niż makarony z pszenicy zwykłej (Bustos, Perez and Leon, 2015). Jednak pszenica durum stanowi zaledwie około 5% światowej produkcji pszenicy, a jej koszt jest wyższy niż pszenicy zwykłej (*Triticum aestivum* L.) (Fuad and Prabhasankar, 2010). Z tego powodu makarony są często produkowane z mąki pszennej zwykłej.

Większość produktów makaronowych powstaje z rafinowanej mąki bogatej w łatwo przyswajalne węglowodany. Produkty te mają niską zawartość błonnika i innych biologicznie aktywnych związków, takich jak kwasy fenolowe, flawonoidy i witaminy. Dieta bogata w te związki odgrywa istotną rolę w zapobieganiu chorobom sercowo-naczyniowym, cukrzycy i nowotworom ('Scientific Opinion on Dietary Reference Values for carbohydrates and dietary fibre', 2010; Lucas-González *et al.*, 2021). Tradycyjny makaron dostarcza jedynie około 5% zalecanej dziennej dawki magnezu i cynku. Makarony z pełnoziarnistej pszenicy są bardzo odżywcze, ale charakteryzują się słabszymi właściwościami sensorycznymi (Slavin, 2003; Slavin *et al.*, 2001). W ostatnich latach na całym świecie obserwuje się trend spożywania produktów zbożowych wzbogacanych różnymi

dodatkami roślinnymi bogatymi w przeciwutleniacze, błonnik pokarmowy (DF), białko, witaminy i minerały. Rośliny są bogatym źródłem wielu bioaktywnych związków o właściwościach przeciwutleniających, takich jak związki fenolowe, witaminy, alkaloidy i inne fitozwiązki (Loi *et al.*, 2020; Melini, Melini and Acquistucci, 2020), które mają pozytywny wpływ na zdrowie człowieka i mogą zmniejszać ryzyko rozwoju wielu chorób (Zhang *et al.*, 2015). Badania epidemiologiczne wyraźnie wskazują, że długotrwałe spożywanie żywności bogatej w polifenole w szczególności chroni przed rozwojem niektórych typów nowotworów, cukrzycy, osteoporozy, a także chorób neurodegeneracyjnych i sercowo-naczyniowych (Cory *et al.*, 2018). Polifenole są najliczniejszymi wtórnymi metabolitami roślinnymi i można je podzielić na kilka grup strukturalnych: kwasy fenolowe, flawonoidy, stilbeny, garbniki i lignany (Wojtunik-Kulesza *et al.*, 2020). Wykazano, że żywność bogata w kwasy fenolowe, flawonoidy i błonnik ma pozytywny wpływ na zdrowie człowieka (Arts and Hollman, 2005; Cory *et al.*, 2018).

Wzbogacenie makaronu dodatkami roślinnymi zwiększa poziom związków fenolowych w gotowym produkcie (Melini, Melini and Acquistucci, 2020). Ponadto w ostatnich latach szeroko badano możliwość wprowadzenia do makaronów surowców pochodzenia zwierzęcego, takich jak produkty uboczne ryb lub owady jadalne, które są bogatym źródłem białka, tłuszczu i błonnika (Duda *et al.*, 2019). Fortyfikacja makaronów, szczególnie tych produkowanych z pszenicy zwyczajnej, ma na celu modyfikowanie ich wartości odżywczej i funkcjonalności w odpowiedzi na rosnące zapotrzebowanie na zdrową żywność (Dziki, 2021). Proces ten staje się coraz bardziej popularny w kontekście walki z niedoborami mikroelementów, takich jak żelazo, cynk czy witaminy z grupy B, które są kluczowe dla prawidłowego funkcjonowania organizmu (Chang, Alasalvar and Shahidi, 2016; Monteiro *et al.*, 2016). W literaturze naukowej coraz więcej uwagi poświęca się badaniom nad możliwościami wzbogacania produktów zbożowych, w tym makaronów, o dodatkowe substancje bioaktywne, co ma istotny wpływ na jakość diety i zdrowie konsumentów (Bianchi *et al.*, 2021; Dziki, 2021). Fortyfikacja makaronów staje się zatem ważnym kierunkiem rozwoju w przemyśle spożywczym, pozwalając na dostosowanie tych popularnych produktów do współczesnych wymagań dietetycznych i zdrowotnych.

Jakość makaronu jest związana z jego właściwościami sensorycznymi, takimi jak tekstura, kolor, wygląd i smak (Biernacka *et al.*, 2021). Właściwości kulinarne makaronu, takie jak optymalny czas gotowania, wskaźnik wzrostu masy, zdolność do pęcznienia i straty podczas gotowania, również stanowią ważne cechy tego produktu (Biernacka *et al.*, 2018). Jakość makaronu zależy głównie od składników użytych do jego przygotowania (Dziki, 2021). Metoda produkcji (walcowanie lub ekstruzja) (Zardetto and Dalla Rosa, 2006; Teterycz *et al.*, 2020), proces mieszania ciasta oraz warunki suszenia również mają istotny wpływ na właściwości makaronu (Vimercati *et al.*, 2020).

Wprowadzenie różnych surowców do makaronu pszennego zmieniło jego właściwości kulinarne, wartość odżywczą i cechy sensoryczne (Nilusha *et al.*, 2019). Dlatego tak ważne są badania koncentrujące się na rozwijaniu procesów technologicznych, które pozwalają na wytwarzanie makaronów zarówno z pszenicy zwykłej i pszenicy durum o wybranych właściwościach fizykochemicznych i sensorycznych poprzez dodanie naturalnych substancji pochodzących z wysuszonych i rozdrobnionych surowców roślinnych oraz wpływ tego wzbogacenia na jakość, zmiany wartości odżywczej i aktywność antyoksydacyjną końcowych produktów. Ponadto walidacja dodatków roślinnych jest kluczowa, ponieważ umożliwia ich wdrożenie bez konieczności zmiany technologii produkcji, co przekłada się na wysoką jakość makaronu, stabilność procesu oraz optymalizację kosztów.

Owoce i warzywa są cennym źródłem błonnika, minerałów i wielu prozdrowotnych związków, takich jak witaminy, karotenoidy, glukozytolany, a w szczególności polifenole, które wykazują silne właściwości przeciwutleniające i przeciwzapalne (Oliviero and Fogliano, 2016). Ich silne właściwości antyoksydacyjne chronią organizm ludzki przed wieloma chorobami (Melini, Melini and Acquistucci, 2020). W ostatnich latach przeprowadzono wiele badań nad wzbogacaniem makaronu poprzez dodanie suszonych i sproszkowanych lub przecieranych owoców, warzyw czy związków wyekstrahowanych z tych surowców. Bustos i wsp. (Bustos, Paesani, *et al.*, 2019) badali właściwości antyoksydacyjne, sensoryczne i jakość gotowania makaronu wzbogaconego o owoce jagodowe. Częściowo zastąpili mąkę pszenną zwykłą liofilizowanym i suszonym proszkiem z jeżyny, maliny oraz z czarnej i czerwonej porzeczki. Dzięki temu wzbogaceniu wzrosła zawartość polifenoli i antocyjanów w makaronie. W efekcie wzbogacony produkt wykazywał zwiększoną aktywność antyoksydacyjną (test ABTS (2,2'-azyno-bis(3-etylo-benzotiazolino-6-sulfonowego) kwasu)). Wprowadzenie owoców jagodowych spowodowało jednak duże pęcznienie makaronu, co negatywnie wpłynęło na jego właściwości podczas gotowania. Pomimo tego mankamentu wzbogacone próbki makaronu zostały wysoko ocenione przez konsumentów. Makaron wzbogacony owocami jagodowymi był postrzegany jako owocowy i smaczny, o dobrej twardości. Dodatkowo inni badacze (Zheng *et al.*, 2016) stwierdzili, że dodanie mąki z dojrzałych bananów do makaronu zwiększyło jego odporność na trawienie enzymatyczne w porównaniu do produktu niefortyfikowanego. Lucas-González i wsp. (Lucas-González *et al.*, 2021) badali bioaktywność polifenoli oraz trawienie skrobi w makaronie z pszenicy durum wzbogacanym mąką z persymony uzyskaną z owoców Diospyros kaki. Dodanie mąki z persymony do makaronu zmieniło jego profil polifenolowy, w którym szczególnie wykryto kwas galusowy i p-kumarylo-o-heksozyd. Jednak zawartość związków fenolowych w surowym makaronie nie zmieniła się po dodaniu mąki z persymony. Dodatkowo bioaktywność polifenoli w makaronie była niska, a dodanie mąki z persymony jej nie poprawiło. Co więcej, ugotowany makaron wykazał zmniejszoną zawartość wolnych polifenoli i obniżoną aktywność antyoksydacyjną (test ABTS) pod względem frakcji wolnych fenoli. Ponadto, zdolność do neutralizacji kationorodnika ABTS wzrosła po procesie trawienia makaronu proporcjonalnie do stężenia mąki z persymony. Interesujące jest to, że dodanie 3% mąki z persymony spowolniło trawienie skrobi, ale efekt ten nie był obserwowany przy dodaniu 6% tej mąki. Inni autorzy (Chusak *et al.*, 2020) dodali proszek z niedojrzałych i dojrzałych owoców gac (*Momordica cochinchinensis*) do makaronu z pszenicy zwykłej. Stwierdzili, że makaron wzbogacony proszkiem z dojrzałego owocu zawierał karotenoidy, takie jak luteina, zeaksantyna, β -kryptoksantyna, α -karoten i β -karoten. Co więcej, wzbogacony makaron wykazywał około dwukrotnie wyższą zawartość całkowitych związków fenolowych oraz czterokrotnie wyższą aktywność przeciwutleniającą (badanie FRAP (ferric reducing antioxidant power)) w porównaniu z produktem kontrolnym. Warto podkreślić, że gotowanie nie zmieniło istotnie zawartości całkowitych związków fenolowych i aktywności przeciwutleniającej, ale zmniejszyło zawartość karotenoidów. Dodatkowo zastąpienie mąki pszennej zarówno mąką z niedojrzałych, jak i dojrzałych owoców gac zwiększyło całkowitą zawartość błonnika pokarmowego dwukrotnie i zmniejszyło zawartość węglowodanów. Tolve i in. (Tolve *et al.*, 2020) zastosowali proszek z wysuszonych wyłóków winogron do wzbogacenia makaronu z pszenicy durum. To wzbogacenie zwiększyło straty masy podczas gotowania oraz twardość makaronu, ale wyraźnie zmniejszyło jego wskaźnik pęcznienia. Co istotne, zawartość związków fenolowych i aktywność przeciwutleniająca surowego i gotowanego makaronu znacząco wzrosły po dodaniu wyłóków winogron w porównaniu do produktu kontrolnego. Pomimo strat fenoli podczas gotowania, wzbogacony makaron nadal wykazywał wysoką aktywność przeciwutleniającą (badania FRAP i ABTS) dzięki retencji związków fenolowych. Dodatkowo wyniki

testu strawności skrobi wykazały, że zawartość skrobi szybko przyswajalnej i skrobi odpornej nieznacznie, ale istotnie, się zmniejszyła, natomiast zawartość skrobi wolno przyswajalnej wzrosła. W rezultacie indeks glikemiczny makaronu spadł z 57,5 (makaron kontrolny) do 53,2 (po dodaniu 15% wytłoków winogron). Warto podkreślić, iż wzbogacony makaron uzyskał dobrą akceptację sensoryczną. Minarovičová i wsp. (Minarovičová *et al.*, 2018) zastąpili mąkę pszenną proszkiem uzyskanym z suszonego korzenia selera i suszonej pulpy buraka cukrowego. Dodanie tych składników do semoliny prowadziło do większego wchłaniania wody przez produkt makaronowy z powodu wzrostu zawartości błonnika. Ponadto straty podczas gotowania wzrosły z powodu rozcieńczenia sieci białkowej przez błonnik. Straty podczas gotowania są powszechnie używanym wskaźnikiem jakości gotowania makaronu i nie powinny przekraczać 8% dla makaronu dobrej jakości (Bustos, Ramos, *et al.*, 2019). Jednak, gdy dodatek zarówno proszku z korzenia selera, jak i pulpy buraka cukrowego, do makaronu wyniósł 20%, straty podczas gotowania przekroczyły tę wartość. Ponadto wzbogacenie makaronu proszkiem z korzenia selera skutkowało akceptowalnym brązowym kolorem i przyjemnym smakiem produktu, podczas gdy dodanie pulpy buraka cukrowego negatywnie wpłynęło na te cechy. Dodatkowo oba wzbogacone makarony były bardziej miękkie i miały bardziej ziarnistą strukturę niż próbka kontrolna (Minarovičová *et al.*, 2018). Inni badacze (Pasqualone *et al.*, 2017) użyli ekstraktów przygotowanych z produktów ubocznych przetwórstwa karczochów do fortyfikacji makaronu pszenne. Według ich wyników wzbogacony makaron wykazał o 70% wyższą zawartość całkowitych polifenoli (z przewagą luteoliny-7-O-rutynozydu) i około 50% wyższą aktywność antyoksydacyjną (test ABTS) niż produkt kontrolny. Co ważne, dodany ekstrakt nie miał negatywnego wpływu na jakość gotowania i teksturę makaronu, ale zmniejszył jego jasność i żółtość. Djeukeu i wsp. (Djeukeu *et al.*, 2017) częściowo zastąpili semolinę mąką z ignamu (*Dioscorea schimperiana*). Wzbogacony makaron wykazał wyższy poziom całkowitych polifenoli i zwiększoną aktywność antyoksydacyjną (testy DPPH, ABTS i FRAP), ale również wyższe straty podczas gotowania i zmniejszoną twardość. Ponadto wchłanianie skrobi *in vitro* zmniejszała się wraz ze wzrostem dodatku mąki z ignamu, z 62% dla makaronu kontrolnego do 50% dla makaronu z 60% mąki z ignamu. Dodatkowo mąka z ignamu zmniejszała jasność i żółtość makaronu. Inni badacze (Kolarič *et al.*, 2020) dodali skrobię z batatów do makaronu pszenne. Stwierdzili, że ten dodatek zwiększał zawartość skrobi odpornej we wzbogaconym produkcie. Jednak dodanie tego składnika zmniejszało twardość i zwiększało lepkość makaronu. W rezultacie wzbogacony makaron otrzymał niższe oceny w ocenie sensorycznej. Vital i wsp. (Vital *et al.*, 2020) użyli mąki z zielonego szparaga do produkcji funkcjonalnego makaronu. Zawartość całkowitych polifenoli i flawonoidów oraz aktywność antyoksydacyjna (testy FRAP, DPPH i ABTS) wzrosły wraz z proporcją proszku ze szparaga w recepturze makaronu. Dodatkowo proponowany składnik zmodyfikował skład chemiczny produktu, w szczególności zwiększając zawartość błonnika i białka. Dodatek mąki z zielonego szparaga do semoliny znacząco wpłynął również na właściwości gotowania makaronu skracając czas gotowania, ale zwiększając straty podczas gotowania i zmniejszając wchłanianie wody przez produkt. Ponadto, twardość i sztywność makaronu wzrosły wraz z wyższym stężeniem tego dodatku. Dodanie tego składnika zmniejszyło również jasność i nadało produktowi zielono-żółty kolor.

Interesującą metodą fortyfikacji makaronu jest dodanie puree z owoców i warzyw do mąki pszennej lub semoliny. Ta metoda wzbogacania makaronu jest ekonomicznie uzasadniona, ponieważ materiał puree dodawany jest bezpośrednio (bez suszenia). Ponghal i wsp. (Panghal *et al.*, 2019) dodali blanszowany i rozdrobniony owoc *Syzygium cumini* bezpośrednio do semoliny podczas produkcji makaronu. Zaobserwowali, że wzbogacony makaron miał zwiększoną zawartość całkowitych polifenoli i podwyższoną aktywność antyoksydacyjną (DPPH). Zawartość fenoli wzrosła

z 111 mg GAE (równoważnik kwasu galusowego)/g suchej masy (s.m.) dla makaronu kontrolnego (bez wzbogacania) do 176 mg GAE/g s.m. dla makaronu z 40% puree owocowego. Ponadto zawartość błonnika w makaronie wzrosła około dwukrotnie, a wskaźnik wchłaniania wody i wskaźnik rozpuszczalności również wzrosły (od 1,65 do 2,38 i od 7,0% do 9,33%, odpowiednio). Dodatkowo, dodanie puree owocowego do semoliny spowodowało niższą jasność i żółtość produktu, ale zwiększyło jego czerwoność. Rekha i wsp. (Rekha *et al.*, 2013) dodali puree z różnych warzyw (marchew, szpinak, burak i puree pomidorowe) do makaronu pszennego. Stwierdzili, że dodanie puree warzywnego prowadziło do interakcji między ziarnami skrobi a matrycą białkową, co wzmocniło strukturę ciasta z mąki pszennej. W konsekwencji straty podczas gotowania i wskaźnik pęcznienia makaronu zmniejszyły się. Jednak dodanie puree warzywnego zmniejszało twardość makaronu, ale zwiększało zawartość błonnika i pigmentów odżywczych, takich jak karoten, chlorofil, likopen i betalainy. Co więcej, kolor wzbogaconego makaronu był bardziej atrakcyjny, chociaż ogólna jakość nieco się pogorszyła. Tylko makaron z puree marchewkowym nie różnił się istotnie od produktu kontrolnego pod względem ogólnej jakości.

Podsumowując, wzbogacanie makaronu pszennego w owoce i warzywa to bardzo interesujący trend w produkcji żywności, który pozwala uzyskać bardziej atrakcyjne dla konsumentów produkty makaronowe, pod względem nie tylko poprawionych cech sensorycznych, ale także zwiększonej wartości odżywczej i prozdrowotnej. Często prowadzi to również do zwiększenia dostępności skrobi, a tym samym zwiększa wskaźnik glikemiczny makaronu (Oliviero and Fogliano, 2016). Z drugiej strony takie wzbogacenie makaronu prowadzi do modyfikacji sieci glutenowej i powoduje wyższe wchłanianie wody przez ziarna skrobi. Zmiany te często mają negatywny wpływ na jakość gotowania i cechy sensoryczne makaronu. Dlatego poziom poszczególnych składników musi być dokładnie oszacowany przed ich dodaniem do makaronu, co uwzględniłam w swoich badaniach.

Poza owocami i warzywami do fortyfikacji makaronów dodatkami pochodzenia roślinnego stosuje się różnorodne składniki, które poprawiają wartość odżywczą i właściwości funkcjonalne makaronu. Nasiona i zboża, a także ich części, produkty uboczne lub izolaty mogą być cennym dodatkiem w tworzeniu nowych produktów makaronowych. W ostatnich latach wiele badań dotyczyło tego zagadnienia. Littardi i in. (Littardi *et al.*, 2020) częściowo zastąpili mąkę pszenną mąką kasztanową w produkcji makaronu. Stwierdzili, że mąka kasztanowa znacząco zwiększyła aktywność antyoksydacyjną (test DPPH) zarówno w surowym, jak i gotowanym makaronie. Zarówno mąka kasztanowa, jak i proces gotowania zwiększyły aktywność antyoksydacyjną makaronu. Jednak twardość produktu znacznie zmniejszyła się po dodaniu mąki kasztanowej z powodu osłabionej struktury makaronu. Gupta i in. (Gupta, Sharma and Reddy Surasani, 2021) dodali izolat białka z quinoa do semoliny, co spowodowało wzrost strat podczas gotowania ale również wzrost objętości makaronu. Zjawisko to przypisano wyższej zdolności do wchłaniania wody i drobniejszym cząstkom izolatu. Co ważne, zawartość białka w makaronie wzrosła z 11,73% (próbka kontrolna) do 21,52% dla makaronu wzbogaconego 12,0% dodatkiem izolatów białkowych, podczas gdy zawartość tłuszczu i węglowodanów znacznie się zmniejszyła. Ocena sensoryczna wykazała, że dodanie tego dodatku obniżyło ogólną akceptowalność produktu, szczególnie gdy udział izolatów białkowych przekroczył 8%. Poza tym, analiza morfologii strukturalnej makaronu ujawniła, że produkt kontrolny miał gładką powierzchnię, podczas gdy wzbogacony makaron miał chropowatą powierzchnię z nieregularną siecią glutenu. Ponadto, wzbogacony makaron wykazywał większą twardość niż próbka kontrolna. W innym badaniu (Bustos, Ramos, *et al.*, 2019) zmielone nasiona kañawy (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) zostały dodane do pszennej makaronu. Nasiona tej rośliny mają podobną wartość odżywczą jak nasiona quinoa. Ponadto nie zawierają saponin, jak quinoa, i dlatego mogą być bezpośrednio

stosowane jako żywność. Dodanie kaŃawy do mąki pszennej spowodowało wyższe wchłanianie wody i wyższy wskaźnik pęcznienia makaronu. W związku z tym wzbogacony makaron wykazał zmniejszoną twardość i sprężystość oraz wyższą zawartość błonnika. Co ważne, zarówno zawartość błonnika, jak i białka znacznie wzrosły po procesie gotowania wraz ze wzrostem udziału kaŃawy w makaronie. Mikroskopowe zdjęcia makaronu, wzbogaconego kaŃawą, pokazały pewne dziury i zaburzoną matrycę białek z mniejszą ilością nieskrobiowych ziaren skrobi.

W badaniach nad wzbogacaniem makaronu dodatkami roślinnymi, takimi jak mąka kasztanowa (Littardi *et al.*, 2020), izolat białka quinoa (Gupta, Sharma and Reddy Surasani, 2021), nasiona kaŃawy (Bustos, Ramos, *et al.*, 2019), otręby owsiane czy jęczmienne, obserwuje się wzrost wartości odżywczych, w tym zawartości białka, błonnika i antyoksydantów. Dodatki te często poprawiają aktywność antyoksydacyjną, ale mogą wpływać na strukturę i teksturę makaronu, np. zmniejszając jego twardość lub powodując straty podczas gotowania. Dodawanie fermentowanych mąk i nasion, takich jak z quinoa czy bobu, zwiększa zawartość aminokwasów, poprawia trawienie białek i obniża indeks glikemiczny. Jednak dodatki te mogą negatywnie wpływać na właściwości sensoryczne i gotowanie makaronu (Dziki, 2021).

W ostatnich latach przeprowadzono liczne badania nad możliwością wzbogacania makaronu surowcami roślinnymi, w tym ziołami, przyprawami i liśćmi różnych roślin. Badania te wykazały, że takie wzbogacanie może zwiększać zawartość bioaktywnych związków w makaronie oraz jego właściwości prozdrowotne, choć może też wpływać na cechy sensoryczne i teksturę produktów. Padalino i in. (Padalino *et al.*, 2019) wzbogacili świeży makaron z pszenicy durum ekstraktem z rośliny *Salicornia europaea*, znanej z właściwości przeciwzapalnych i przeciwnowotworowych. Wyniki pokazały, że ekstrakt zwiększył zawartość związków fenolowych, flawonoidów i aktywność antyoksydacyjną makaronu, jednak po gotowaniu ich poziom znacząco się zmniejszył. Mimo to, właściwości antyoksydacyjne utrzymywały się na wysokim poziomie. Lisiecka i in. (Lisiecka *et al.*, 2019) dodali liście *Cistus incanus L.* do makaronu z pszenicy zwyczajnej, co znacząco podwyższyło zawartość związków fenolowych i antyoksydantów. Badania Lisieckiej i in. wykazały, że zastąpienie 5% mąki pszennej liśćmi czystka powoduje dwukrotny wzrost fenoli, ale zmienia kolor makaronu i zwiększa straty masy podczas gotowania. Przy dodatku powyżej 3% obniżają się też właściwości sensoryczne produktu. Wśród wielu przypraw szczególne zainteresowanie w przemyśle spożywczym wzbudza szafran (suszone i sproszkowane kwiaty *Crocus sativus L.*) ze względu na przyjemny aromat, właściwości prozdrowotne i barwiące. Armellini i in. (Armellini *et al.*, 2019) wzbogacili mąkę z pszenicy durum ekstraktem z szafranu i odkryli, że dodatek ten zmniejsza strawność skrobi oraz indeks glikemiczny wzbogaconego makaronu, a także uwalnia krocynę – barwnik odpowiedzialny za charakterystyczny kolor szafranu – podczas trawienia. Inni autorzy (Cárdenas-Hernández *et al.*, 2016) dodali mąkę z amarantusa oraz suszone i sproszkowane liście amarantusa do makaronu z pszenicy durum. Liście amarantusa znacząco zwiększyły całkowitą zawartość związków fenolowych oraz aktywność antyoksydacyjną makaronu (testy ABTS, DPPH, FRAP i ORAC) zarówno w surowych, jak i gotowanych produktach. Proces gotowania zwiększał zawartość związków fenolowych. Ponadto dodatek liści amarantusa wzbogacił makaron w żelazo, cynk, magnez, potas i błonnik. Wzbogacony makaron charakteryzował się również krótszym, optymalnym czasem gotowania i większą stratą masy podczas gotowania, co wynikało z obniżonej zawartości glutenu i zahamowania jego rozwoju. Seczyk i in. (Seczyk *et al.*, 2016) zbadali wpływ dodatku sproszkowanych liści pietruszki na potencjał nutraceutyczny i odżywczy makaronu z pszenicy durum. Odkryli, że makaron wzbogacony pietruszką wykazywał wyższą zawartość związków fenolowych oraz zwiększoną aktywność antyoksydacyjną (testy ABTS i FRAP). Tendencja ta była również widoczna po trawieniu *in vivo*, a wzbogacony

makaron charakteryzował się wysoką biodostępnością związków fenolowych. Dodatek liści pietruszki do próbki pszenicznej nie miał istotnego wpływu na strawność skrobi, ale znacząco obniżał strawność białka (spadek o około 20% dla makaronu z dodatkiem 4% pietruszki).

Podsumowując, wzbogacanie makaronu ziołami i liśćmi różnych roślin prowadzi do uzyskania produktów o podwyższonej wartości odżywczej i zawartości związków bioaktywnych. Mimo że proces ten może niekiedy negatywnie wpływać na cechy sensoryczne lub teksturę, stanowi interesujący kierunek w produkcji funkcjonalnych produktów spożywczych.

Wzbogacanie makaronu surowcami bogatymi w błonnik pokarmowy stało się popularnym kierunkiem badań ze względu na liczne korzyści prozdrowotne. Błonnik pokarmowy to „jadalne części roślin lub analogi węglowodanów, które są odporne na trawienie i wchłanianie w jelicie cienkim człowieka, a ulegają częściowej lub całkowitej fermentacji w jelicie grubym” (Li and Komarek, 2017). Jego niedobór w diecie prowadzi do problemów trawiennych i zwiększa ryzyko chorób sercowo-naczyniowych. Spożycie produktów bogatych w błonnik wpływa korzystnie na obniżenie ciśnienia krwi i poziomu cholesterolu oraz zmniejsza ryzyko otyłości. Zalecane dzienne spożycie błonnika zależy od płci i wieku i wynosi od 21 do 38 g (Soliman, 2019). W odpowiedzi na te potrzeby powstają produkty, takie jak makarony wzbogacane błonnikiem. Przykładem są badania nad wzbogacaniem makaronu inuliną, która jest rozpuszczalnym błonnikiem pochodzącym z korzeni kordonu i cykorii. Włączenie inuliny skraca czas gotowania makaronu i wpływa na jego właściwości sensoryczne. Z kolei inulina z kordonu charakteryzuje się większą odpornością na działanie enzymów trawiennych, co powoduje jej większą bioaktywność w organizmie (Garbetta *et al.*, 2020). Innym przykładem wzbogacania makaronu jest dodatek wytlóków z oliwek, będących produktem ubocznym przemysłu olejarskiego. Dodanie wytlóków zwiększa zawartość błonnika w makaronie i wpływa na jego strukturę, zmniejszając zawartość szybko trawionych węglowodanów, a zwiększając ilość wolniej trawionych skrobi. Wzbogacony makaron wykazuje również wyższą zawartość polifenoli i większą aktywność antyoksydacyjną. Jednak gotowanie obniża zawartość polifenoli nawet o 70%, co ogranicza te korzystne właściwości (Simonato *et al.*, 2019). Inne badania dotyczyły wzbogacania makaronu mąką owsianą bogatą w β -glukan. Ten dodatek poprawił zawartość błonnika, zmieniając jednocześnie teksturę makaronu, który stał się mniej jędrny i bardziej kleisty. Podobne efekty uzyskano wzbogacając makaron o 80% nierozpuszczalnego błonnika owsianego, co zwiększyło zawartość błonnika siedmiokrotnie w porównaniu do makaronu kontrolnego (Piwińska *et al.*, 2016). Padalino i in. (Padalino *et al.*, 2017) wzbogacili makaron z semoliny łuskami pomidorów, co zwiększyło zawartość likopenu i β -karotenu. Mimo korzyści zdrowotnych, dodatek ten negatywnie wpłynął na ocenę sensoryczną makaronu pogarszając jego zapach, elastyczność i twardość. Podobne problemy zauważono w przypadku dodatku wytlóków z winogron, które zwiększyły zawartość polifenoli i zdolności antyoksydacyjne makaronu, ale obniżyły jego sprężystość i twardość (Marinelli *et al.*, 2018). Dodatkowo, badania nad wykorzystaniem produktów ubocznych, takich jak skórka cebuli również wykazały, że wzbogacenie makaronu w błonnik zwiększa zawartość fenoli i aktywność antyoksydacyjną. Jednak w przypadku skórki cebuli dodatek ten zmniejszał jakość gotowania i cechy sensoryczne makaronu, obniżał jego jasność i żółtość, a zwiększał czerwień (Michalak-Majewska *et al.*, 2020).

Podsumowując, wzbogacanie makaronu surowcami bogatymi w błonnik, głównie pochodzenia poprodukcyjnego, ma liczne korzyści prozdrowotne, jak wzrost zawartości bioaktywnych związków, takich jak polifenole oraz powoduje poprawę wartości antyoksydacyjnych produktu. Jednak proces ten często negatywnie wpływa na właściwości sensoryczne i jakość gotowania, co stanowi wyzwanie w akceptacji takich produktów przez konsumentów.

Fortyfikacja makaronów składnikami pochodzenia roślinnego pozwala nie tylko poprawić ich wartość odżywczą, ale także zmienić smak, teksturę czy właściwości prozdrowotne. Wprowadzenie różnych surowców roślinnych do makaronu może być bardzo atrakcyjną alternatywą dla konsumentów preferujących zdrową żywność. Dodanie różnych części roślin, takich jak owoce, warzywa czy nasiona, poprawia zawartość związków bioaktywnych i zwiększa zdolność antyoksydacyjną. Wprowadzenie produktów ubocznych przemysłu przetwórczego do makaronu może znacznie poprawić jego wartość odżywczą, szczególnie w przypadku makaronu wzbogaconego błonnikiem i związkami fenolowymi. Dodatkowo, włączenie surowców bogatych w błonnik do makaronu zwiększa zawartość węglowodanów powoli przyswajalnych i obniża indeks glikemiczny. Metody oceny aktywności antyoksydacyjnej, takie jak DPPH, ABTS i FRAP, potwierdzają, że dodatek różnych materiałów roślinnych do makaronu zwiększa jego właściwości antyoksydacyjne.

Dane literaturowe wykazały, że mimo prowadzonych różnych badań nad fortyfikacją makaronu, niewiele jest prac dotyczących projektowania makaronów z zastosowaniem dodatków takich jak mączka chleba świętojańskiego – karob, kawa zbożowa, mikronizowana łuska owsiana, liofilizowane banany i truskawki, liofilizowany por oraz opracowania koncepcji przygotowania tych dodatków do fortyfikacji makaronów. Dlatego też, w swoich badaniach wykorzystałam te surowce do opracowywania i oceny innowacyjnych makaronów fortyfikowanych dodatkami pochodzenia roślinnego.

Podjęta problematyka badawcza dotycząca wytyczenia nowatorskiego kierunku badań w zakresie opracowywania i oceny innowacyjnych makaronów, wzbogacanych naturalnymi i odpowiednio przygotowanymi dodatkami roślinnymi, rozwija dotychczasowe rozwiązania w krajowej, jak i europejskiej tematyce związanej z wytwarzaniem i właściwościami makaronów oraz wpisuje się w nowoczesne trendy zrównoważonego rozwoju i zdrowej żywności. W efekcie przeprowadzonych badań opracowano rozwiązania recepturowe w produkcji makaronów oraz koncepcję przygotowania dodatków roślinnych.

4.3. Cel i zakres osiągnięcia

Celem głównym przeprowadzonych badań i zaprezentowanych w publikacjach P1 – P8 oraz stanowiących główne osiągnięcie naukowe, było **wytyczenie dalszego kierunku ich rozwoju w zakresie opracowywania i oceny innowacyjnych makaronów, wzbogacanych naturalnymi i odpowiednio przygotowanymi dodatkami roślinnymi, o wybranych właściwościach fizykochemicznych i cechach jakościowych**. Cel główny został osiągnięty przez realizację celów szczegółowych, które pozwoliły na:

- wyznaczenie optymalnych warunków suszenia surowców pochodzenia roślinnego stanowiących dodatek funkcjonalny do wzbogacania makaronu zarówno z pszenicy zwyczajnej jak i semoliny (P2, P4, P5),
- określenie możliwości dodatku owoców tj. liofilizowane banany i truskawki do makaronu z pszenicy zwyczajnej oraz ich wpływu na właściwości fizyczne, sensoryczne i przeciwutleniające makaronu (P2, P8),
- określenie możliwości dodatku warzyw (liofilizowany por) do makaronu z semoliny oraz ich wpływu na właściwości fizyczne, sensoryczne i przeciwutleniające makaronu (P6),

- określenie możliwości dodatku błonnika tj. mączka chleba świętojańskiego – karob, kawa zbożowa oraz mikronizowana łuska owsiana do makaronu z pszenicy zwyczajnej oraz jego wpływu na właściwości fizyczne, sensoryczne i przeciwutleniające makaronu (**P1, P3, P7**),
- analiza wybranych właściwości fizycznych i kulinarnych makaronów fortyfikowanych wymienionymi dodatkami pochodzenia roślinnego - analiza m.in. tekstury, barwy i wytrzymałości mechanicznej, optymalnego czasu gotowania, wskaźnika przyrostu wagowego, strat suchej substancji (**P1, P2, P3, P6, P7, P8**),
- analiza wybranych właściwości sensorycznych makaronów fortyfikowanych dodatkami pochodzenia roślinnego tj. smaku, zapachu, wyglądu, tekstury i ogólnej akceptowalności makaronu wzbogaconego w porównaniu do próby kontrolnej (**P1, P2, P3, P6, P7, P8**),
- analiza wybranych właściwości przeciwutleniających makaronów fortyfikowanych dodatkami pochodzenia roślinnego tj. całkowita zawartość związków fenolowych (TPC) oraz zdolność antyoksydacyjna wobec ABTS, DPPH, CHEL, RED wzbogaconego makaronu oraz suszonych dodatków (**P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8**),
- analiza ilościowo jakościowa UPLC-MS/MS flawonoidów i kwasów fenolowych w makaronach z dodatkami pochodzenia roślinnego oraz w suszonych dodatkach (**P4, P7, P8**).

Aby zrealizować cel główny postawiono następujące hipotezy badawcze:

- metoda przygotowania i obróbki surowców roślinnych wpływa na ich cechy jakościowe i funkcjonalne,
- dodatki funkcjonalne poprawiają właściwości fizykochemiczne i cechy jakościowe makaronów.

4.4. Omówienie głównego osiągnięcia naukowego

W kontekście współczesnych wyzwań prozdrowotnych i idei zrównoważonego rozwoju, innowacyjne podejście do produkcji żywności, takie jak fortyfikacja makaronów naturalnymi substancjami roślinnymi, wytwarzanych zwłaszcza na bazie mąki z pszenicy zwyczajnej, zyskuje na rosnącym znaczeniu. Naturalne dodatki pochodzenia roślinnego, bogate w cenne składniki odżywcze, mogą przyczynić się do poprawy jakości diety człowieka jednocześnie wspierając wykorzystanie produktów ubocznych w przemyśle spożywczym. Tego typu innowacje wpisują się w globalne trendy dążące do minimalizacji negatywnego wpływu procesów przetwórczych na środowisko naturalne oraz przyczyniają się promowania zdrowych nawyków żywieniowych.

Substancje roślinne, takie jak ekstrakty z warzyw, ziół czy nasion, stanowią doskonały surowiec do wzbogacania produkowanych od lat wyrobów spożywczych. Fortyfikowane makarony mogą być źródłem naturalnych witamin, minerałów, błonnika, a także przeciwutleniaczy, co zwiększa ich wartość zdrowotną. Wprowadzenie tych innowacyjnych rozwiązań do otwartej produkcji wymaga jednak dalszych badań nad optymalizacją procesów technologicznych tak, aby wzbogacone produkty zachowały odpowiednią teksturę, smak oraz trwałość, a sam proces był stabilny i ekonomicznie uzasadniony.

Warto zaznaczyć, że proces fortyfikacji makaronów naturalnymi substancjami roślinnymi nie tylko wspiera zdrowie publiczne, ale także wpisuje się w strategię zrównoważonego rozwoju redukując zależność procesu wytwórczego od sztucznych dodatków i wzmacniając wykorzystanie surowców naturalnych. Już teraz obserwujemy rosnące zainteresowanie zarówno wśród konsumentów, jak i producentów, którzy w odpowiedzi na proekologiczne trendy oraz rosnące zapotrzebowanie na

zdrową żywność, wprowadzając na rynek nowe, innowacyjne produkty o niskim stopniu przetworzenia i podwyższonej wartości odżywczej.

Bardzo istotnym aspektem, związanym z wytwarzaniem makaronów z dodatkami pochodzenia roślinnego są badania dotyczące przygotowania suszonych owoców i warzyw będących źródłem substancji biologicznie aktywnych. Walidacja dodatków roślinnych do makaronów jest kluczowa, ponieważ zapewnia zgodność z technologią produkcji, gwarantuje wysoką jakość i wartość odżywczą produktu, optymalizuje koszty oraz spełnia normy prawne i bezpieczeństwa żywności. Dzięki niej unika się problemów technologicznych, strat surowców i ryzyka pogorszenia jakości makaronu. Zagadnienie to jako potwierdzenie postawionej hipotezy dotyczącej metod przygotowania i obróbki surowców roślinnych, które wpływają na ich cechy jakościowe i funkcjonalne zostało częściowo przedstawione w pracy **P2** oraz w pracach **P4** i **P5**.

W artykule **P2** scharakteryzowano owoc – banana, który był dodatkiem zastosowanym w badaniach (*Musa paradisiaca* L.). Banany są bogate w składniki odżywcze, takie jak witaminy A, C, E, K oraz te z grupy B, a także minerały, w tym magnez, fosfor, wapń i potas. Zawierają także błonnik oraz przeciwutleniacze, które mogą mieć korzystny wpływ na zdrowie. Ze względu na wysoką zawartość skrobi i cukrów są często wykorzystywane jako składnik różnych produktów spożywczych, w tym makaronów. Banany zostały obrane, a następnie pokrojone w plastry o grubości około 5 mm. Surowiec został następnie zamrożony w temperaturze -25°C w zamrażarce (Liebherr GTL-4905, Bulle, Szwajcaria). Zamrożone próbki (300 g, 76,6 % wilgotności) liofilizowano w temperaturze 40°C przy użyciu liofilizatora laboratoryjnego ALPHA 1-4 z ciśnieniem w komorze suszenia 63 Pa. Podczas suszenia zmiany masy próbki były stale rejestrowane. Proces suszenia trwał około 570 minut, a największa utrata wody nastąpiła w ciągu pierwszych 150 minut suszenia. Wysuszony banan (około 4% zawartości wilgoci) został zmielony przy użyciu młynka nożowego Retsh Grindomix GM 200, co pozwoliło uzyskać stabilny i łatwy do przechowywania produkt. Częstki mniejsze niż 0,2 mm zostały zakwalifikowane jako mąka i dodane do mąki pszennej zwykłej w odpowiednich proporcjach. Proszek bananowy (BP) otrzymał wysokie oceny w badaniu sensorycznym. Wysokie oceny wskazały, że BP może być atrakcyjnym dodatkiem do produktów spożywczych, w tym makaronów. Wnioski z przeprowadzonych badań dotyczących przygotowania bananów do fortyfikacji żywności wykazały, że liofilizowany proszek bananowy jest atrakcyjnym dodatkiem spożywczym o wysokiej ocenie sensorycznej. Jego umiarkowany dodatek (do 3%) do makaronu poprawia jego właściwości bez negatywnego wpływu na teksturę i smak co zostało przedstawione w dalszej części pracy **P2**.

Kontynuacją badań dotyczących metod przygotowania surowców roślinnych i ich wpływu na właściwości fizyczne i wartość odżywczą produktu finalnego, który może być zastosowany do wzbogacania żywności jest praca **P4**. Niniejsze badania miały na celu analizę aktywności przeciwutleniającej, profilu kwasów fenolowych, zmiany barwy i składu chemicznego zielonej i białej części pora, które poddano suszeniu różnymi metodami – suszenie konwekcyjne, suszenie próżniowe i liofilizacja w tej samej temperaturze 60°C. Próbką liofilizowaną w temperaturze 20°C stanowiła próbę kontrolną. Podjęta w tej pracy tematyka badań umożliwiła opracowanie metody otrzymywania funkcjonalnego dodatku do żywności, który w późniejszym okresie został przetestowany jako jej składnik na wyrobach typu makaron. Pracę rozpoczęto od przeglądu literatury, gdzie przedstawiono szczegółowe informacje na temat pora (*Allium porrum*), który jest rośliną dwuletnią z rodziny amarylkowatych, spokrewnioną z czosnkiem. Pochodzi z Azji Mniejszej i był uprawiany już w starożytnym Egipcie, Grecji i Rzymie, gdzie stosowano go zarówno w kuchni, jak i w celach leczniczych. Jego jadalną część stanowią łodyga i liście. Por jest niskokaloryczny (100 g zawiera tylko 25 kalorii), co czyni go lekkostrawnym warzywem o smaku przypominającym cebulę lub czosnek.

Wyróżnia się bogactwem składników odżywczych, takich jak minerały: cynk, żelazo, wapń, fosfor, miedź, potas, sód, mangan i magnez, a także witaminy A (karoten), B (B1, B2, B3, B6), C, E, K oraz kwas foliowy. Por zawiera również antyoksydanty, takie jak luteina, zeaksantyna, a także związki siarki, które wykazują właściwości bakteriobójcze. Dzięki obecności polifenoli, glukozynolanów oraz pektyn por ma właściwości prozdrowotne, wspomagające ochronę naczyń krwionośnych i krwinek przed uszkodzeniami oksydacyjnymi. Wprawdzie zawiera mniej polifenoli niż czosnek czy cebula, ale jest lekkostrawny i korzystnie wpływa na funkcjonowanie organizmu. W przeglądzie literatury wykazano, że może redukować ryzyko nowotworów, a także wykazuje działanie antyalergiczne i przeciwzapalne. Ekstrakty z pora mają również właściwości przeciwdrobnoustrojowe. Wstęp artykułu wprowadza również w temat suszenia pora, co ma na celu przedłużenie trwałości surowca roślinnego. Suszenie jest jedną z głównych metod przetwarzania żywności, ale może prowadzić do niepożądanych zmian, takich jak degradacja niektórych składników odżywczych. W artykule została zwrócona uwaga na konieczność doboru odpowiednich parametrów suszenia, aby zachować pożądane właściwości strukturalne, barwę, aromat i zawartość składników odżywczych.

Materiałem badawczym w artykule **P4** był por (*Allium porrum*), a dokładniej jego dwie części: biała łodyga (WH) i zielona łodyga (GR). Rośliny pochodziły z regionu Lublina w Polsce i zostały zebrane jesienią 2019 roku. Następnie podzielony na dwie części (WH i GR) por został poddany różnym metodom suszenia: suszeniu konwekcyjnemu, suszeniu próżniowemu (VD) oraz liofilizacji (FD). Suszenie konwekcyjne przeprowadzono w laboratoryjnej suszarce konwekcyjnej (Promis Tech, Wrocław, Polska) przy temperaturze powietrza 60°C i stałej prędkości przepływu powietrza 0,5 m/s. Procesy FD i VD przeprowadzono w laboratoryjnej suszarce próżniowej (ALPHA 1-4, Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Osterode am Harz, Niemcy). W przypadku FD, płyty grzejne w suszarce były utrzymywane w temperaturach 20°C i 60°C przy stałej wartości ciśnienia 63 Pa. Próbkę liofilizowaną w temperaturze 20°C została użyta jako kontrola (CS). Przed FD por został zamrożony w temperaturze -30°C w zamrażarce (Liebherr GTL-4905, Bulle, Szwajcaria) przez 24 godziny. W przypadku VD płyty grzejne suszarki były utrzymywane w temperaturze 60°C przy stałej wartości ciśnienia 2000 Pa (materiał nie był wcześniej zamrożony). Wszystkie suszarki były wyposażone w system rejestracji masy. Suszenie prowadzono do momentu, gdy końcowa zawartość wilgoci w próbce wynosiła 10-11%. Określono czas suszenia oraz kinetykę procesu suszenia. Wysuszone próbki pora zostały sproszkowane przy użyciu młynka nożowego (Retsh, Grindomix GM 200, Düsseldorf, Niemcy), a cząstki poniżej 350 µm zostały wybrane do dalszych analiz. Metodyka przeprowadzonych badań obejmowała analizy chemiczne i fizyczne. W celu określenia zawartości suchej masy, białka, popiołu i tłuszczu, przeprowadzono analizy zgodnie z metodami AOAC (American Organization of Analytical Chemists). Natomiast ocenę barwy suszonych i sproszkowanych próbek mierzono w systemie CIE $L^*a^*b^*$ za pomocą kolorymetru, gdzie zarejestrowano wartości L^* (jasność), a^* (od zielonego do czerwonego) i b^* (od niebieskiego do żółtego). Badania skupiały się również na analizie profilu kwasów fenolowych, zawartości flawonoidów oraz aktywności przeciwutleniającej suszonych próbek pora. Analiza kwasów fenolowych została zrealizowana poprzez hydrolizę próbek przy użyciu NaOH i kwasu askorbinowego, a następnie ekstrakcję octanem etylu. Otrzymane kwasy fenolowe analizowano za pomocą UPLC (ultracienkowarstwowej chromatografii cieczowej) i detektora masowego. Natomiast ekstrakcję flawonoidów w materiale roślinnym rozpoczęto od odtłuszczenia chloroformem, a następnie ekstrahowano przy użyciu automatycznego ekstraktora z wykorzystaniem 80% metanolu. Ekstrakty odparowywano, a pozostałości rozpuszczano w 75% metanolu przed analizą LC-MS/MS (spektrometria masowa sprzężona z chromatografią cieczową). Aktywność przeciwutleniająca ekstraktów z suszonych próbek pora oceniano za pomocą kilku metod: zdolność

wychwytywania wolnych rodników ABTS, zdolność neutralizacji wolnych rodników DPPH, zdolność chelatująca (CHEL) - metoda oparta na badaniu zdolności chelatowania jonów metali oraz zdolność redukująca (RED) - metoda oznaczająca zdolność próbek do redukcji. Działanie przeciwutleniające wyrażano za pomocą indeksu EC50, czyli stężenia substancji przeciwutleniającej, które powoduje 50% zmniejszenie aktywności wolnych rodników.

Wyniki badań przeprowadzonych w artykule **P4** dostarczyły wielu interesujących informacji na temat wpływu różnych metod suszenia na wybrane właściwości pora, zwłaszcza na jego skład chemiczny, profil kwasów fenolowych oraz aktywność przeciwutleniającą. Wyniki składu chemicznego wykazały, że zielona część pora zawierała więcej popiołu, białka, tłuszczu oraz błonnika niż biała, zarówno w stanie świeżym, jak i po suszeniu. Dodatkowo stwierdzono, że proces suszenia zwiększył zawartość suchej masy w obu częściach pora (do 88,55% w GR i 88,69% w WH), jednak metoda suszenia miała niewielki wpływ na zawartość popiołu, białka, tłuszczu i błonnika w suszonych próbkach. Zielona część pora zawierała znacznie więcej związków fenolowych niż biała. Najbardziej dominującym kwasem fenolowym w zielonej łądydze był kwas ferulowy, który stanowił około 85% całkowitej zawartości fenoli, podczas gdy w białej łądydze dominował kwas p-kumarowy. Suszenie w wyższych temperaturach (60°C) spowodowało znaczną degradację fenoli, przy czym liofilizacja i suszenie próżniowe w 60°C powodowały podobne poziomy degradacji fenoli jak suszenie konwekcyjne. Flawonoidy były obecne tylko w zielonej części pora. Zawartość flawonoidów zmniejszyła się po suszeniu, szczególnie przy zastosowaniu liofilizacji (spadek nawet o 49,62%) i suszenia próżniowego (spadek o 35,47%). W badanych próbkach wykryto różne pochodne kemferolu, których najwięcej było w zielonej łądydze suszonej metodą liofilizacji w 20°C. Wzrost temperatury suszenia powodował znaczną degradację tych związków, zwłaszcza przy suszeniu próżniowym. Zaobserwowano również, że zielona część wykazywała znacznie wyższą aktywność przeciwutleniającą niż biała we wszystkich przeprowadzonych testach (ABTS, DPPH, CHEL i RED). Największe różnice obserwowano w teście DPPH. Najwyższą aktywność przeciwutleniającą wykazywały próbki kontrolne (liofilizowane w 20°C), natomiast wyższe temperatury suszenia (60°C) prowadziły do zmniejszenia tej aktywności w obu częściach pora. Długotrwałe suszenie w wysokiej temperaturze powodowało większą degradację związków przeciwutleniających, co wpływało na niższą zdolność neutralizowania wolnych rodników. Wyniki oceny barwy wykazały, że zielona część wykazywała większe zmiany barwy w wyniku suszenia w porównaniu z białą. Największe zmiany zaobserwowano podczas suszenia konwekcyjnego, natomiast najmniejsze w próbkach suszonych próżniowo. Wyższa temperatura suszenia powodowała zmniejszenie jasności zielonej łądygi, co było związane z degradacją naturalnych pigmentów, takich jak chlorofil. Wykazano również, że metoda suszenia wpływała na czas trwania tego procesu. Wzrost temperatury liofilizacji z 20°C do 60°C trzykrotnie skrócił czas suszenia zarówno dla białej, jak i zielonej części pora. Najdłuższy czas suszenia zanotowano w przypadku liofilizacji, natomiast suszenie próżniowe i konwekcyjne były szybsze.

Podsumowując wyniki badań uzyskane w pracy **P4**, wykazano, że metoda suszenia ma istotny wpływ na skład chemiczny, aktywność przeciwutleniającą oraz właściwości sensoryczne pora, a zielona część pora jest bogatsza w cenne składniki odżywcze niż biała część. Liofilizacja w niskiej temperaturze (20°C) najlepiej zachowywała związki fenolowe, flawonoidy oraz aktywność przeciwutleniającą, podczas gdy wyższe temperatury suszenia (60°C) prowadziły do większej degradacji tych związków. Mimo, że liofilizacja przy wyższej temperaturze (60°C) skraca czas procesu, może prowadzić do podobnych strat bioaktywnych związków jak suszenie konwekcyjne. W związku z tym suszenie konwekcyjne może być efektywniejszym i tańszym rozwiązaniem przy

konieczności stosowania wyższych temperatur. Wyniki dwuczynnikowej analizy wariancji wykazały, że zarówno metoda suszenia, jak i próbka (GR lub WH) miały istotny wpływ na określone właściwości suszonego pora. Dodatkowo, w przypadku większości oznaczonych parametrów, interakcje między metodą suszenia a częścią pora były istotne. Badanie to dowiodło, że GR zawiera wyższą zawartość popiołu i błonnika w porównaniu do WH. Ponadto jest cennym źródłem związków biologicznie czynnych, zwłaszcza kwasów fenolowych. W suszonej próbce pora wykryto kwas ferulowy jako dominujący kwas fenolowy. GR zawierał również pochodne fenolowe, z dominującym acylowanym glikozydem kemferolu. Najwyższy poziom kwasów fenolowych i flawonoidów, a także najwyższe zdolności przeciwutleniające i lepsze zachowanie barwy zaobserwowano w sproszkowanych próbkach pora uzyskanych po liofilizacji w temperaturze 20°C. Wzrost temperatury suszenia spowodował degradację związków fenolowych i obniżył aktywność przeciwutleniającą pora. Co najważniejsze, zastosowanie wyższych temperatur odwadniania metodą konwekcji, w porównaniu do FD i VD, ułatwiło lepsze zachowanie związków biologicznie czynnych w próbce pora. To odkrycie ma duże znaczenie, ponieważ w warunkach przemysłowych żywność jest często liofilizowana lub suszona próżniowo w wyższych temperaturach. Chociaż stosowanie wysokich temperatur podczas FD lub VD pozwala na lepsze zachowanie barwy i skrócenie czasu trwania procesu, może to również prowadzić do wyższego stopnia degradacji substancji biologicznie czynnych. Badanie wykazało, że zielona część pora liofilizowanego w temperaturze 20°C może być cennym dodatkiem do żywności. Jednakże, jeśli mają być stosowane wyższe temperatury, wówczas suszenie konwekcyjne jest lepszą i tańszą metodą w porównaniu do FD i VD.

Rozwinięciem badań dotyczących zastosowania różnych metod i parametrów suszenia materiałów pochodzenia roślinnego w celu uzyskania funkcjonalnego dodatku do żywności o wysokiej zawartości związków biologicznie czynnych jest praca **P5**. Celem tego badania była ocena wpływu obróbki wstępnej oraz warunków suszenia sublimacyjnego (liofilizacji) truskawek na kinetykę suszenia oraz właściwości fizykochemiczne. Badano, jak różne metody przygotowania truskawek (krojenie na plastry i rozdrabnianie na puree) oraz temperatura suszenia (20°C, 40°C i 60°C) wpływają na czas suszenia, zawartość kwasu askorbinowego, zmiany barwy oraz aktywność przeciwutleniającą owoców. Analizowano również całkowitą zawartość związków fenolowych i ich wpływ na właściwości prozdrowotne truskawek po procesie liofilizacji. Badania rozpoczęto od przeglądu literatury, gdzie przedstawiono znaczenie owoców, w tym truskawek jako ważnych składników codziennej diety, bogatych w błonnik, minerały, witaminy oraz związki fenolowe, które mają silne właściwości przeciwutleniające. Truskawki są szczególnie cenione ze względu na zawartość witaminy C, antocyjanów oraz innych składników o działaniu prozdrowotnym. Jednak truskawki mają krótki okres przydatności do spożycia, co wymaga ich przetwarzania, aby zachować ich jakość i właściwości odżywcze. Zwrócono uwagę na to, że tradycyjne metody konserwacji mogą prowadzić do utraty wartości odżywczych i zmian sensorycznych owoców. Jednym z najbardziej efektywnych sposobów przetwarzania owoców, który minimalizuje straty wartości odżywczych, jest suszenie sublimacyjne (liofilizacja). Metoda ta pozwala zachować wysoką jakość produktów, ale jej efektywność zależy od parametrów procesu, takich jak temperatura oraz obróbka wstępna surowca. W literaturze brakowało dotychczas szczegółowych badań dotyczących wpływu wstępnej obróbki truskawek na kinetykę liofilizacji oraz właściwości suszonych produktów. Celem artykułu było więc zbadanie, jak różne metody przygotowania truskawek oraz temperatury liofilizacji wpływają na proces suszenia i właściwości fizykochemiczne truskawek w formie proszku.

Materiałem badawczym w pracy **P5** były truskawki (odmiana „Senga Sengana”) pochodzące z polskich upraw. Truskawki zostały zakupione w supermarkecie w Lublinie, a następnie oczyszczone i

pozbawione szypulek. Próbkę truskawek zostały przygotowane w dwóch formach: pokrojone na plastry o grubości około 0,5 cm oraz rozgniecione na puree. Następnie obie formy truskawek poddano procesowi suszenia sublimacyjnego (liofilizacji) w różnych temperaturach (20°C, 40°C i 60°C) przy stałym ciśnieniu 63 Pa. W trakcie procesu suszenia monitorowano masę próbek co 5 minut, a proces trwał aż do momentu, gdy zawartość wilgoci spadła do około 3%. Następnie wysuszone próbki truskawek zostały zmielone przy użyciu laboratoryjnego młynka nożowego. Sproszkowane próbki truskawek (cząstki < 0,2 mm) poddano dalszym analizom. Metodyka przeprowadzonych badań obejmowała kilka kluczowych etapów, które miały na celu ocenę wpływu obróbki wstępnej i warunków suszenia sublimacyjnego na kinetykę suszenia oraz właściwości fizykochemiczne truskawek. Kinetyka suszenia została przedstawiona jako zmiana stosunku wilgoci (moisture ratio, MR) w funkcji czasu suszenia. Użyto siedmiu najczęściej stosowanych modeli matematycznych do opisu kinetyki suszenia (w tym modele Newtona, Page'a, Midilli, logarytmiczny i inne). Modele te posłużyły do opisanie dynamiki suszenia truskawek, a do analizy statystycznej wyników zastosowano współczynnik determinacji (R^2), błąd średniokwadratowy (RMSE) oraz zredukowaną wartość testu χ^2 , co pozwoliło na ocenę dopasowania modeli do danych eksperymentalnych. Pomiar barwy wykonano przy użyciu systemu CIE $L^*a^*b^*$. Na podstawie tych danych obliczono całkowitą zmianę koloru (ΔE) w porównaniu do surowca. Dodatkowo wyznaczono aktywność wody (a_w) truskawek po liofilizacji za pomocą przyrządu LabMaster, która była istotnym parametrem, gdyż wpływa na trwałość produktu. Aktywność przeciwutleniającą badano przy użyciu dwóch metod: ABTS i DPPH. Wyniki wyrażono jako EC50, czyli stężenie próbki potrzebne do uzyskania 50% neutralizacji rodników. Natomiast zawartość kwasu askorbinowego (witamina C) oznaczono za pomocą wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC). Analizowano sumę kwasu askorbinowego i dehydroaskorbinowego, a wyniki przedstawiono w mg/100 g suchej masy.

Wyniki badań przeprowadzonych w artykule **P5** wskazują na kilka kluczowych wniosków dotyczących wpływu metod wstępnego przygotowania i temperatury liofilizacji (FD) na kinetykę suszenia oraz właściwości fizykochemiczne truskawek. Badania wykazały, że zwiększenie temperatury płyt grzewczych z 20°C do 60°C skróciło czas suszenia o 44% dla plastrów truskawek i o 27% dla puree truskawkowego. Rozdrobnienie truskawek na puree przed liofilizacją znacząco skróciło czas suszenia, co dowodzi, że metoda wstępnego przygotowania ma istotny wpływ na przebieg procesu suszenia. Dodatkowo najlepsze dopasowanie modeli opisujących kinetykę suszenia uzyskano dla modelu Midilli i logarytmicznego. Stwierdzono, że proces liofilizacji znacznie zmniejszył jasność (L^*), czerwień (a^*) i żółtość (b^*) suszonych truskawek. Wyższe temperatury liofilizacji przyczyniały się do bardziej intensywnego czerwonego koloru, zwłaszcza w przypadku puree truskawkowego. Wstępna obróbka i temperatura liofilizacji miały niewielki wpływ na całkowitą zawartość związków fenolowych oraz aktywność przeciwutleniającą. Najniższą zawartość związków fenolowych odnotowano dla pulpy suszonej w 60°C, natomiast najwyższą dla plastrów suszonych w tej samej temperaturze. Najwięcej witaminy C zawierały truskawki suszone w postaci plastrów w temperaturze 60°C, co sugeruje, że wyższa temperatura liofilizacji może sprzyjać zachowaniu tej witaminy w owocach. Ogólnie rzecz biorąc, rozdrobnienie truskawek do postaci puree przed liofilizacją oraz suszenie w temperaturze 60°C prowadziło do uzyskania produktów o dobrej jakości, przy jednoczesnym znacznym skróceniu czasu suszenia.

Podsumowując wyniki przeprowadzonych w pracy **P5** badań stwierdzono, że obróbka wstępna truskawek (szczególnie rozdrabnianie) oraz liofilizacja w temperaturze 60°C pozwoliły uzyskać najlepsze wyniki pod względem skrócenia czasu suszenia oraz zachowania pożądaných właściwości fizykochemicznych, w tym zawartości witaminy C. Niniejsze badanie wykazuje, że zarówno wstępna

obróbka truskawek, jak i temperatura liofilizacji mają kluczowy wpływ na kinetykę suszenia oraz właściwości fizykochemiczne suszonych owoców. Rozdrobnienie truskawek na puree i zwiększenie temperatury liofilizacji znacząco skraca czas suszenia. Dodatkowo wzrost temperatury suszenia z 20°C do 60°C oraz rozdrobnienie truskawek mają niewielki wpływ na całkowitą zawartość polifenoli i aktywność przeciwutleniającą, ale zmniejszają jasność, czerwień i żółtość suszonych owoców. Co ważniejsze, rozdrobnienie truskawek przed liofilizacją obniża zawartość kwasu askorbinowego w suszonym produkcie. Biorąc pod uwagę zarówno czas suszenia, jak i jakość liofilizowanych owoców, badanie zaleca rozdrobnienie truskawek do postaci puree przed liofilizacją oraz suszenie w temperaturze 60°C. Taka wstępna obróbka i temperatura liofilizacji prowadzą do znacznego skrócenia czasu suszenia oraz uzyskania produktów o wysokiej jakości. Uzyskany proszek truskawkowy może być wykorzystywany do wzbogacania różnych rodzajów żywności, takich jak lody, przekąski, ciastka, cukierki i makarony. Przyszłe badania skoncentrują się na innych metodach suszenia puree truskawkowego oraz ocenie zmian w profilu polifenoli w suszonym materiale.

Kontynuacją moich badań było zastosowanie przygotowanych dodatków do fortyfikacji makaronów. Postawiona w celu realizacji badań nad wzbogacaniem makaronów dodatkami roślinnymi druga hipoteza badawcza dotycząca założenia, że dodatki funkcjonalne poprawiają właściwości fizykochemiczne i cechy jakościowe makaronów została wyjaśniona w pracach **P2**, **P6** i **P8**. Odpowiednio przygotowane dodatki funkcjonalne w produkcji makaronów mają na celu poprawę ich właściwości fizykochemicznych, wartości odżywczej oraz cech sensorycznych. Stosowanie tych dodatków pozwala na modyfikację struktury, barwy, smaku, tekstury oraz wartości prozdrowotnych gotowego produktu. Zagadnienie to jest bardzo istotne w kontekście rozwoju dyscypliny technologia żywności i żywienia, dzięki odpowiedniemu doborowi dodatków funkcjonalnych można dostosować makaron do specyficznych potrzeb konsumentów, poprawiając jednocześnie jego jakość i wartość zdrowotną.

W pracy **P2** omówiono zagadnienia związane z możliwością wykorzystania suszonych owoców do fortyfikacji makaronów. Niniejsze badania miały na celu analizę wpływu suszonego proszku bananowego (BP) na właściwości makaronu z pszenicy zwyczajnej. Celem badania była ocena wpływu dodatku proszku bananowego na jakość i właściwości przeciwutleniające makaronu na bazie pszenicy zwyczajnej. W pracy we wstępie scharakteryzowano dwa główne produkty spożywcze: makaron i banany. Przedstawiono informacje dotyczące popularności makaronu ze względu na smak, właściwości odżywcze i łatwość przygotowania oraz pozytywny wpływ na zdrowie, w tym na metabolizm i choroby cywilizacyjne, tj. cukrzycę typu I i II. Następnie opisano, że najlepszej jakości makaron jest wytwarzany z mąki pszenicy durum (semolina), która nadaje mu żółty kolor, większą odporność na rozgotowanie oraz zapewnia lepszą teksturę. Jednak ze względów ekonomicznych często używa się mąki z pszenicy zwyczajnej, co wpływa na gorszą jakość, ale akceptowalną pod kątem ekonomicznym dla konsumentów. Przedstawiono dane literaturowe dotyczące fortyfikacji makaronów różnymi składnikami, jak suszone warzywa, otręby czy zioła, aby podnieść jego wartość odżywczą. Podsumowując, w artykule scharakteryzowano właściwości makaronu (szczególnie tego z semoliny) oraz potencjalne korzyści z wzbogacania makaronów z pszenicy zwyczajnej różnymi składnikami, w tym bananami, które są wartościowym składnikiem diety.

Materiał badawczy w pracy **P2** stanowił makaron z mąki pszennej, która została zastąpiona suszonym, sproszkowanym bananem (BP) w ilości 1, 2, 3, 4 i 5%. Makaron kontrolny został przygotowany bez dodatku BP. Próbkę ciasta o masie 500 g zostały uformowane przy użyciu urządzenia KitchenAid Heavy Duty model 5KPM5. Do przygotowania ciasta na makaron użyto miksera hakowego. Wszystkie składniki były mieszane przez 5 minut (150 obr./min). Zastosowano

matrycę z okrągłymi otworami o średnicy 2 mm. Uzyskany makaron (vermicelli o grubości około 3,0 mm i długości 120 mm) został ułożony warstwowo na suszarce do makaronu (KitchenAid 5KPDR, Benton Harbor, Stany Zjednoczone) i umieszczony w komorze klimatycznej (ICH 256, Düsseldorf, Niemcy) na 24 godziny w temperaturze 25°C i wilgotności względnej 20%, aż wilgotność makaronu osiągnęła poziom między 11-12%. Metodę przeprowadzonych badań rozpoczęto od przygotowania dodatku do makaronu. W gotowym makaronie określono: barwę, optymalny czas gotowania (OCT), wskaźnik przyrostu wagowego, straty suchej substancji oraz WAI (wskaźnik absorpcji wody) i WSI (wskaźnik rozpuszczalności w wodzie). Przeprowadzono analizę sensoryczną, która obejmowała smak, zapach, barwę, teksturę i ogólną akceptowalność makaronu wzbogaconego suszonym bananem w porównaniu do tradycyjnego i ocenę właściwości teksturalnych na podstawie testu cięcia przy wykorzystaniu maszyny wytrzymałościowej Zwick ZN20/TN2S. Ponadto w makaronie określono całkowitą zawartość związków fenolowych i aktywność przeciwutleniającą wobec ABTS i DPPH.

Wyniki przeprowadzonych w pracy **P2** badań wykazały, że zwiększenie zawartości BP w recepturze makaronu spowodowało wzrost wskaźnika przyrostu masy (z 2,88 do 3,55) i straty podczas gotowania (z 5,2 do 6,4%). Efekty dodania bananów zaobserwowano również w zmianach współrzędnych barwy. Wykazano, że BP nieznacznie zmniejszyło jasność ugotowanego makaronu i miało niewielki wpływ na współrzędne barwy surowego makaronu. Stwierdzono również, że dodatek BP wyższy niż 3% zmniejszył jędrność makaronu. Całkowita zawartość fenoli i pojemność przeciwutleniająca makaronu wzrastały wraz z dodatkiem BP. Najwięcej TPC stwierdzono przy 5% dodatku BP wynoszącym odpowiednio 13,4 i 30,3 mg GEA/g (dla ekstraktów wodnych i buforowanych). Gotowanie makaronu zmniejszyło zawartość TPC o 15-22%. Dodatek mąki z banana (BP) zwiększył jednak zdolność antyoksydacyjną w gotowanym makaronie, zarówno w ekstraktach wodnych (WE), jak i buforowanych (BE). W przypadku testu ABTS wartości EC50 spadły z 46,8 do 37,2 mg dm/mL (WE) oraz z 42,3 do 36,1 mg dm/mL (BE). Podobny trend zaobserwowano dla testu DPPH, gdzie EC50 zmniejszyło się z 353,4 do 223,3 mg dm/mL (WE) oraz z 458,0 do 212,8 mg dm/mL (BE). Ocena sensoryczna makaronu wykazała, że zastąpienie zwykłej mąki pszennej BP nie powinno przekraczać 3%.

Podsumowując, wyniki badań w pracy **P2** dowodzą, że wzbogacenie mąki pszennej zwykłej dodatkiem suszonego banana wpływa zarówno na parametry gotowania makaronu, jak i na jego jakość. Dodatek suszonych bananów w ilości 4 i 5% spowodował skrócenie OCT i zmniejszenie siły cięcia (Fc). Najlepsze wyniki dla ogólnej oceny sensorycznej makaronu uzyskano, gdy dodatek BP nie przekraczał 3%. Dodatek BP wpływa na całkowitą różnicę barwy między makaronem surowym i ugotowanym. W szczególności wzrost udziału BP powyżej 3% doprowadził do tego, że ugotowane makarony były ciemniejsze i nieco bardziej czerwone. Co ważne, wzbogacenie makaronu z pszenicy zwyczajnej w BP spowodowało wzrost TPC i aktywności przeciwutleniającej suplementowanego makaronu. Ponadto wyniki wykazały, że zastąpienie mąki pszennej suszonym bananem nie powinno przekraczać 3% w produkcji zwykłego makaronu pszennego, jeśli akceptowalne właściwości sensoryczne mają zostać zachowane.

Kontynuacją badań nad możliwością wykorzystania dodatków pochodzenia roślinnego w fortyfikacji makaronów jest praca **P6**, gdzie wzięto pod uwagę wyniki badań przeprowadzone w pracy **P4** dotyczące przygotowania funkcjonalnego dodatku, który może być zastosowany do poprawy cech jakościowych i walorów smakowych makaronów. Badania w pracy **P6** miały na celu ocenę, w jaki sposób zielona część pora w postaci proszku (GL) dodana do semoliny wpłynęła na właściwości fizykochemiczne, sensoryczne i kulinarne makaronu. Przegląd literatury rozpoczął od przedstawienia roli makaronów w żywieniu człowieka. Zaznaczono, że pszeniczny makaron jest popularnym

produktem ze względu na niskie koszty produkcji, łatwość przygotowania oraz długi okres przechowywania. Tradycyjnie produkuje się go z pszenicy durum. Chociaż jest bogaty w łatwo przyswajalne węglowodany i białko, zawiera mało błonnika, witamin i przeciwutleniaczy, które są istotne w profilaktyce wielu chorób, takich jak nowotwory czy cukrzyca. We wstępie artykułu opisano znaczenie wzbogacania produktów spożywczych w celu zwiększenia ich wartości prozdrowotnych i odżywczych. Wzbogacanie makaronu różnymi dodatkami roślinnymi, w tym porem, może poprawić jego właściwości funkcjonalne. Por, będący bogatym źródłem składników odżywczych i związków biologicznie aktywnych, jest szczególnie wartościowy jako dodatek do żywności. Wcześniejsze badania (praca **P4**) sugerują, że zielone części pora zawierają więcej substancji biologicznie czynnych niż białe, co może czynić je atrakcyjnym dodatkiem do produktów spożywczych. W pracy tej skupiono się na przedstawieniu informacji nt. wzbogacaniu makaronu z semoliny sproszkowanym suszonym porem (GL) oraz jego wpływie na właściwości fizykochemiczne, sensoryczne i proces gotowania makaronu.

Materiał badawczy w pracy **P6** stanowił makaron z semoliny, którą częściowo zastąpiono proszkiem z pora (GL) w ilości 0, 1, 2, 3, 4 i 5 g/100 g mąki. Proces przygotowania makaronu z dodatkiem GL rozpoczęto od przygotowania składników: mąki z semoliny (z pszenicy durum), wody i sproszkowanego pora w odpowiednich proporcjach. Wszystkie składniki były mieszane przez 5 minut z prędkością 150 obrotów na minutę w mikserze KitchenAid Heavy Duty (model T-5KPM5EER). Do wyrabiania ciasta zastosowano płaskie mieszadło KitchenAid (5KSM5TH3PSS). Następnie ciasto zostało rozwałkowane na arkusze o szerokości do 150 mm i grubości 2,0 mm przy użyciu przystawki do wałkowania ciasta (model 5KSMP5A). Z ciasta utworzono paski makaronu o grubości 1,5 mm używając specjalnej przystawki (model 5KSMPRA). Gotowy makaron suszono przez 24 godziny na suszarce KitchenAid (model 5KPDR) w klimatyzowanej komorze (model ICH 256) w temperaturze 25°C i przy 30% wilgotności względnej, aż wilgotność makaronu osiągnęła poziom między 11,5 a 12%. Następnie próbki makaronu oceniano pod kątem właściwości fizykochemicznych, kulinarnych, cech sensorycznych, właściwości mechanicznych, TPC i przeciwutleniaczy. Analiza fizykochemiczna obejmowała oznaczenie zawartości suchej masy, białka, popiołu i tłuszczu zgodnie ze standardami AOAC. Zmierzono również aktywność wody oraz współrzędne barwy (w systemie CIE $L^*a^*b^*$), aby ocenić zmianę barwy makaronu spowodowaną dodatkiem pora. Jakość gotowania makaronu określono poprzez ustalenie optymalnego czasu gotowania (OCT) według norm AACC, sprawdzając czas potrzebny do pełnego uwodnienia makaronu oraz oceniono również wskaźnik przyrostu wagowego (WI) i straty suchej substancji podczas gotowania (CL). Analizę tekstury gotowanego makaronu przeprowadzono za pomocą testu rozciągania przy użyciu maszyny Zwick. Zawartość polifenoli (TPC) oznaczono metodą Folin-Ciocalteu, a aktywność przeciwutleniającą (AA) analizowano przy użyciu testów ABTS i DPPH. Makaron poddano również ocenie sensorycznej pod kątem zapachu, barwy, smaku, konsystencji (twardość, kleistość) oraz ogólnej akceptowalności przeprowadzonej przez panel 37 konsumentów. Skala hedoniczna użyta do pomiaru badanych cech miała punktację od 1 (najmniej akceptowalna) do 7 (najbardziej akceptowalna).

Wyniki przeprowadzonych w artykule **P6** badań wykazały kilka istotnych wniosków dotyczących wpływu dodatku sproszkowanego pora na właściwości otrzymanego makaronu. Dodatek pora zmniejszał zawartość białka w makaronie, ale zwiększał zawartość popiołu, błonnika oraz tłuszczu. Większa zawartość popiołu i błonnika jest zgodna z wynikami wcześniejszych badań nad zieloną częścią pora (**P4**). Wyniki badań wykazały, że aktywność wody wzrosła z 0,537 dla makaronu kontrolnego do 0,570 dla makaronu z największym dodatkiem GL, jednak wartość ta nie przekroczyła

dopuszczalnej granicy 0,6, co zapewnia odpowiednią trwałość mikrobiologiczną produktu. Dodatek pora wpływał na barwę makaronu – zmniejszał jasność (L^*) i czerwoność (a^*) oraz zwiększał żółtość (b^*). Im większe było stężenie pora, tym bardziej zmieniała się barwa makaronu. Zmiany barwy były bardziej widoczne po ugotowaniu, a różnice barw (ΔE) wzrosły z 2,54 dla makaronu surowego do 11,06 dla makaronu po ugotowaniu, co wynikało głównie z obecności chlorofilu w proszku z pora, który odpowiadał za zielonkawe zabarwienie makaronu. Wraz ze wzrostem zawartości pora wydłużał się optymalny czas gotowania makaronu (z 9,03 do około 11,63 minut dla najwyższego stężenia pora). Zaobserwowano również, że zwiększenie dodatku GL zmniejszyło wskaźnik przyrostu wagi oraz zwiększyło straty podczas gotowania, jednak wartości te nie przekroczyły dopuszczalnych norm dla dobrej jakości makaronu. Dodatek GL zwiększył siłę rozciągania ugotowanego makaronu, co sugeruje, że makaron wzbogacony GL miał lepszą wytrzymałość mechaniczną w porównaniu do kontrolnego. Wzbogacenie makaronu porem obniżyło wskaźnik chłonności wody – im większe było stężenie pora, tym mniejsza była absorpcja wody przez makaron, co wpływało na wzmocnienie jego struktury. Dodatek pora istotnie zwiększał całkowitą zawartość polifenoli i aktywność antyoksydacyjną makaronu. Przy największym stężeniu (5 g/100 g pora) zawartość fenoli była ponad dwukrotnie wyższa niż w makaronie kontrolnym, co świadczy o prozdrowotnym potencjale takiego wzbogacenia. Przeprowadzone badania wykazały, że dodatek pora w stężeniu do 2 g/100 g nie miał negatywnego wpływu na ocenę sensoryczną (smak, zapach, kolor). Jednak przy wyższych stężeniach (powyżej 3 g/100 g) obserwowano pogorszenie parametrów sensorycznych, takich jak kolor i kleistość. W przypadku stężenia 5 g/100 g makaron otrzymał najniższe oceny w zakresie smaku i barwy, co wskazuje na zbyt intensywny smak i aromat pora oraz większą kleistość makaronu. Zatem wzbogacenie makaronu suszonym porem może być korzystnym dodatkiem zwiększającym jego wartość prozdrowotną, choć wyższe stężenia mogą wpływać negatywnie na jego smak i teksturę.

Podsumowując wyniki przeprowadzonych w pracy **P6** badań wykazano, że dodatek pora do makaronu poprawia jego wartość odżywczą i prozdrowotną, choć zmienia właściwości fizyczne i sensoryczne, takie jak barwa czy tekstura. Pora obniża zawartość białka w makaronie, ale zwiększa ilość błonnika, tłuszczu i popiołu, co podnosi jego wartość odżywczą. Dodatek pora wpływa na barwę makaronu, zmniejszając jego jasność i dodając żółtawy odcień, szczególnie widoczny po ugotowaniu. Całkowita różnica barwy między próbą kontrolną a wzbogaconymi próbkami makaronu wahała się od 2,54 do 6,89 i od 5,60 do 11,06 (odpowiednio dla niegotowanego i gotowanego makaronu). Wyższe stężenia pora wydłużają również czas gotowania i zwiększają straty suchej substancji, choć pozostają one w akceptowalnym zakresie. Pod względem jakości tekstury makaron z porem wykazuje większą wytrzymałość na rozciąganie, co jest pozytywnym efektem strukturalnym. Bardzo ważną kwestią jest wzrost zawartości związków fenolowych i aktywności antyoksydacyjnej wraz ze zwiększaniem ilości pora, co może podnosić prozdrowotne właściwości makaronu. Sensorycznie makaron z dodatkiem do 3 g/100 g pora zachowuje wysoką akceptowalność wśród konsumentów, ale wyższa jego ilość (>3 g/100 g) może pogarszać smak, zapach i kleistość produktu. Podsumowując, dodanie pora do makaronu do poziomu 3 g/100 g może wzbogacić produkt o wartości odżywcze i antyoksydacyjne, jednocześnie utrzymując akceptowalny smak i wygląd. Wyniki przeprowadzonych badań zalecają częściowe zastąpienie semoliny przez zielony sproszkowany por (do 3 g/100 g) w produkcji makaronu.

Kolejnym etapem badań nad zastosowaniem dodatków roślinnych do wzbogacania makaronów jest praca **P8**, która uwzględnia wyniki z pracy **P5** dotyczące opracowania dodatku funkcjonalnego w postaci liofilizowanych truskawek. Dodatek ten ma na celu poprawę jakości oraz walorów smakowych makaronu. Celem badania było określenie wpływu wzbogacenia makaronu

pszennego proszkiem z liofilizowanych truskawek na jego wybrane właściwości fizykochemiczne, cechy jakościowe i akceptowalność sensoryczną. Przegląd literatury rozpoczęto od omówienia znaczenia makaronu jako popularnego produktu o niskim indeksie glikemicznym, co czyni go istotnym składnikiem zbilansowanej diety. Ze względu na jego wszechstronne zastosowanie, producenci chętnie wprowadzają innowacje oferując nowe kształty i smaki oraz wzbogacając makaron o dodatki roślinne, takie jak owoce, warzywa i przyprawy. Celem fortyfikacji jest poprawa wartości odżywczej, smakowej i zdrowotnej produktów. Następnie w artykule podkreślono rosnące zainteresowanie społeczeństwa produktami prozdrowotnymi, co sprzyja rozwojowi produktów wzbogacanych dodatkami roślinnymi. Zacytowano badania wykazujące, że owoce bogate w błonnik, witaminy, minerały i przeciwutleniacze mogą być skutecznymi dodatkami funkcjonalnymi do makaronów. W szczególności zwrócono uwagę na popularność truskawek ze względu na ich wartości odżywcze (m.in. witaminy C i K, kwas foliowy, antyoksydanty) oraz walory smakowe. Przegląd literatury odnosi się również do metod przetwarzania owoców, takich jak liofilizacja, która umożliwia zachowanie koloru, smaku i wartości odżywczych truskawek, co może czynić je odpowiednim dodatkiem do produktów spożywczych. Liofilizowane truskawki są cennym źródłem błonnika, flawonoidów i fitosteroli, które mogą wpływać korzystnie na zdrowie, m.in. zmniejszając ryzyko chorób układu krążenia. Odwołano się do badań dotyczących wpływu różnych dodatków owocowych na właściwości makaronu, takich jak zawartość składników odżywczych, profil związków fenolowych i właściwości antyoksydacyjne. Przytoczone wyniki badań, wykazały, że inne owoce (np. maliny, czarna porzeczka, maqui berry) również korzystnie wpływają na zawartość błonnika, polifenoli i aktywność antyoksydacyjną makaronu, co przyczynia się do jego prozdrowotnych właściwości. W podsumowaniu przeglądu literatury wskazano na brak wcześniejszych badań dotyczących zastosowania liofilizowanych truskawek w produkcji makaronu, co stanowi przyczynę dla podjęcia niniejszych badań. Dlatego też, celem pracy było określenie wybranych właściwości fizykochemicznych, kulinarnych, sensorycznych, teksturalnych, przeciwutleniających oraz profilu kwasów fenolowych makaronu z pszenicy zwyczajnej wzbogaconego liofilizowanymi truskawkami w zależności od zastosowanego dodatku.

W pracy **P8** do produkcji makaronu zastosowano mąkę pszenną krupczatkę typu 500 oraz liofilizowany proszek z truskawek (FS). Liofilizowane truskawki zostały przygotowane zgodnie z metodologią opisaną w pracy **P5**. Dodatek proszku z truskawek wprowadzano w różnych ilościach: 0, 3, 6, 9 i 12 g na 100 g mąki pszennej. Surowce zostały dokładnie wymieszane, a następnie formowano ciasto i kształtowano je w tagliatelle, które suszono w kontrolowanych warunkach, aby uzyskać wilgotność końcową na poziomie 11–12%. Następnie przeprowadzono szczegółowe analizy chemiczne surowców oraz przygotowanych próbek makaronu, obejmujące ocenę zawartości suchej masy, białka, popiołu, tłuszczu oraz błonnika według standardowych metod AOAC. Aktywność wody w makaronie mierzono w temperaturze 20°C, co jest istotne dla stabilności mikrobiologicznej produktu. Do pomiaru barwy surowców oraz makaronu surowego i gotowanego użyto kolorymetru, stosując system CIE *Lab*. Parametry kolorystyczne obejmowały jasność (L^*), czerwoność (a^*) oraz żółtość (b^*), a zmiany barwy wprowadzone przez dodatek truskawek oceniano za pomocą wskaźnika różnicy barw (ΔE). Wykonano również analizę właściwości kulinarnych i tekstury. Czas gotowania, wskaźnik przyrostu wagowego oraz straty suchej substancji podczas gotowania analizowano na podstawie metod AACC. Analiza tekstury obejmowała test rozciągliwości ugotowanego makaronu, w którym mierzono deformację oraz siłę potrzebną do rozciągania, przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Zwick. Ekstrakty z makaronu badano pod kątem zawartości całkowitych polifenoli za pomocą metody Folina-Ciocalteu, a aktywność antyoksydacyjną oceniano na podstawie

metod ABTS i DPPH. Wysokosprawną chromatografię cieczową (UPLC-MS/MS) zastosowano do analizy profilu związków fenolowych identyfikując i kwantyfikując fenolokwasy i flawonoidy. Przeprowadzono również ocenę sensoryczną, w której udział wzięło 63 konsumentów w wieku 20–55 lat oceniających wygląd, barwę, aromat, smak i teksturę makaronu w skali hedonicznej. Warunki przeprowadzenia oceny były zgodne z zasadami standardowej oceny sensorycznej, co pozwoliło na obiektywną ocenę wpływu dodatku truskawek na akceptowalność makaronu. Metodyka badawcza była kompleksowa i pozwalająca na pełną ocenę wpływu liofilizowanego proszku z truskawek na jakość fizykochemiczną, antyoksydacyjną i sensoryczną makaronu.

Wyniki przeprowadzonych w artykule **P8** badań wykazały znaczący wpływ dodatku liofilizowanego proszku z truskawek na wybrane właściwości fizykochemiczne, antyoksydacyjne, kulinarne oraz sensoryczne makaronu pszennego. Dodatek FS spowodował wzrost zawartości popiołu i błonnika w makaronie, co świadczy o wyższej wartości odżywczej. Jednocześnie zaobserwowano niewielki spadek poziomu białka i tłuszczu, co było proporcjonalne do wzrastającego udziału truskawek. Zwiększenie zawartości FS znacząco zmieniło barwę makaronu. Jasność (L^*) uległa obniżeniu, a intensywność czerwieni (a^*) wzrosła. Te zmiany były widoczne zarówno w surowym, jak i gotowanym produkcie, co wiąże się z naturalnymi pigmentami antocyjanowymi zawartymi w truskawkach. Dodatek FS wpłynął na skrócenie optymalnego czasu gotowania makaronu oraz na wzrost strat podczas gotowania. Jednocześnie zmniejszył się wskaźnik przyrostu masy, co sugeruje, że FS wpływa na strukturę skrobi i matrycy glutenowej, zmniejszając absorpcję wody i zachowanie integralności makaronu podczas gotowania. Wprowadzenie liofilizowanej truskawki do receptury zwiększyło elastyczność makaronu, co objawiało się wzrostem deformacji podczas rozciągania, ale nie wpłynęło istotnie na siłę potrzebną do rozciągania ugotowanego makaronu. To oznacza, że makaron wzbogacony w FS miał bardziej miękką, ale stabilną strukturę po ugotowaniu. W artykule szczegółowo przeanalizowano wpływ liofilizowanego proszku z truskawek na właściwości antyoksydacyjne i zawartość polifenoli w makaronie. Badania wykazały, że dodatek FS znacząco zwiększa całkowitą zawartość polifenoli oraz aktywność antyoksydacyjną makaronu, co podkreśla jego potencjał jako składnika funkcjonalnego. Całkowita zawartość polifenoli wzrastała proporcjonalnie do ilości liofilizowanej truskawki w recepturze – w próbce makaronu zawierającej 12 g FS na 100 g mąki pszennej całkowita zawartość polifenoli była ponad dwukrotnie wyższa w porównaniu z makaronem kontrolnym. Wykazano również silną korelację między zawartością FS a poziomem polifenoli, co sugeruje, że FS jest skutecznym źródłem tych związków bioaktywnych. Aktywność antyoksydacyjną makaronu wzbogaconego FS oceniano za pomocą dwóch metod: ABTS i DPPH. W obu przypadkach dodatek FS wyraźnie zwiększał zdolność makaronu do neutralizacji wolnych rodników. Wyniki testów pokazały, że wyższe stężenie FS skutkowało większą aktywnością antyoksydacyjną. Wartość EC50 (odwrotność mocy antyoksydacyjnej) była niższa dla makaronu wzbogaconego FS, co oznacza większą efektywność w zwalczaniu wolnych rodników. Dzięki zastosowaniu chromatografii UPLC-MS/MS zidentyfikowano specyficzne kwasy fenolowe i flawonoidy obecne w makaronie wzbogaconym FS. Wśród nich dominował kwas elagowy, który jest znany z silnych właściwości antyoksydacyjnych i potencjalnych korzyści zdrowotnych, takich jak działanie przeciwzapalne i przeciwnowotworowe. Inne fenole, takie jak kwas chlorogenowy, p-kumarowy oraz flawonoidy (kwercetyna i kemferol), także były wykrywane w większych ilościach wraz ze wzrostem udziału FS. Obecność tych związków jeszcze bardziej zwiększała wartość antyoksydacyjną wzbogaconego makaronu. Wysoka zawartość polifenoli i intensywna aktywność antyoksydacyjna wskazują, że FS może efektywnie podnosić właściwości prozdrowotne makaronu. Zauważono również silną korelację między całkowitą zawartością polifenoli a aktywnością

antyoksydacyjną, co sugeruje, że FS jest wartościowym dodatkiem, który może wzbogacić makaron o składniki chroniące organizm przed stresem oksydacyjnym. Dodatkowo w ocenie sensorycznej dodatek FS poprawił ogólny wygląd, barwę, zapach i smak makaronu, jednak wyższe jego stężenia (powyżej 6 g/100 g) pogarszały teksturę. Makaron zawierający do 12 g FS na 100 g mąki był dobrze akceptowany przez konsumentów, co wskazuje na jego potencjał rynkowy. Dodatek FS w ilości do 12 g na 100 g mąki pszennej zwiększał wartość odżywczą i prozdrowotną makaronu, zwłaszcza pod względem zawartości błonnika i właściwości antyoksydacyjnych, nieznacznie wpływając na teksturę i czas gotowania. Wyniki te dostarczają podstawowych wskazówek dotyczących zastosowania FS jako funkcjonalnego dodatku do makaronów.

Podsumowując wyniki przeprowadzonych w pracy **P8** badań wykazano, że liofilizowany proszek truskawkowy może być skutecznie wykorzystywany do wzbogacania odżywczo receptur makaronów. Dodatek FS doprowadził do umiarkowanego zmniejszenia zawartości białka i tłuszczu, przy jednoczesnym zwiększeniu poziomu popiołu i błonnika. FS znacząco zmienił kolor zarówno nieugotowanego, jak i ugotowanego makaronu, w szczególności zmniejszając jasność i zażółcenie przy jednoczesnym zwiększeniu zaczerwienienia. Dodatkowo FS wpłynął na właściwości kulinarne makaronu, zwiększając straty podczas gotowania i skracając optymalny czas gotowania oraz wskaźnik przyrostu wagowego. Chociaż dodatek liofilizowanej truskawki znacząco zwiększał deformację podczas rozciągania ugotowanego makaronu, nie wpłynął znacząco na siłę rozciągania. FS znacznie zwiększał również całkowitą zawartość fenoli i poprawiał zdolność przeciwutleniającą makaronu. Ocena sensoryczna wykazała, że wyższe stężenia FS pozytywnie wpłynęły na wygląd, barwę, zapach i smak makaronu, choć miały negatywny wpływ na teksturę. Co ważne, włączenie FS (do 12 g/100 g) zostało pozytywnie przyjęte przez konsumentów i stanowiło cenne źródło błonnika i związków bioaktywnych, zwłaszcza kwasu elagowego. Badania te wskazują podstawowe wytyczne dotyczące produkcji makaronu wzbogaconego FS ze zwykłej mąki pszennej. Ponadto dodatek FS do makaronu znacząco zwiększał zawartość polifenoli oraz właściwości antyoksydacyjne, co potwierdza jego wartość jako funkcjonalnego dodatku o właściwościach wspierających zdrowie. Badania te wykazują potencjał liofilizowanej truskawki jako dodatku do poprawy wartości odżywczej makaronu, szczególnie pod kątem antyoksydacyjnym, co może przyciągnąć konsumentów szukających żywności o korzyściach prozdrowotnych.

Znaczna część moich badań to również fortyfikacja makaronów dostępnymi na rynku dodatkami roślinnymi o podwyższonej zawartości błonnika. Postawiona hipoteza badawcza mówiąca o tym, dodatki funkcjonalne poprawiają właściwości fizykochemiczne i cechy jakościowe makaronów stanowi dalszy ciąg badań wnoszących istotny wkład w rozwój dyscypliny technologia żywności i żywienia. Walidacja dodatków błonnikowych jest kluczowa w ocenie poprawy wartości odżywczej makaronów, zmian w konsystencji ciasta oraz cech sensorycznych. W związku z tym podjęłam badania, które koncentrują się głównie na wzbogacaniu makaronów naturalnymi składnikami roślinnymi o podwyższonej zawartości błonnika. Szczególny nacisk został położony na opracowywanie innowacyjnych makaronów o specyficznych właściwościach fizykochemicznych i jakościowych, wzbogaconych dodatkami takimi jak karob (praca **P1**), kawa zbożowa (praca **P3**) oraz mikronizowana łuska owsiana (praca **P7**).

Zagadnienie dodatku do makaronu preparatu błonnikowego w celu poprawy jego cech jakościowych i żywieniowych omówiono w pracy **P1**. Przegląd literatury obejmował charakterystykę *Ceratonia siliqua* L., powszechnie znaną jako drzewo chlebowe, drzewo karobowe, karob lub szarańczyn. Nasiona i strąki owoców drzewa chlebowego są wykorzystywane w różnych gałęziach przemysłu, takich jak spożywczy, farmaceutyczny oraz kosmetyczny. Mączka z nasion drzewa

chlebowego, znana jako guma guar (E-410), jest powszechnie stosowana jako dodatek do żywności. Strąki drzewa chlebowego, stanowiące produkt uboczny, charakteryzują się niską zawartością białka (3–4 g/100 g) i tłuszczów (0,4 – 0,8 g/100 g), ale też wysoką zawartością cukrów rozpuszczalnych (40–50 g/100 g), głównie sacharozy. Ponadto strąki te są bogatym źródłem cennych związków, takich jak błonnik pokarmowy oraz zawierają wysoką zawartość związków fenolowych, zwłaszcza tanin skondensowanych. Bez nasion strąki mogą być zmielone na mąkę i stosowane jako zamiennik czekolady lub kakao. Wykazano, że mąka z drzewa chlebowego może być także używana jako funkcjonalny dodatek do produkcji żywności. Błonnik z drzewa chlebowego, który jest produktem ubocznym procesu produkcji syropu z tych strąków, to głównie nierozpuszczalny i niefermentujący błonnik pokarmowy. Błonnik z drzewa chlebowego jest wyjątkowy ze względu na wysoką zawartość polifenoli. Dane literaturowe wskazują, że błonnik z drzewa chlebowego może być wykorzystywany jako funkcjonalny składnik żywności w szerokim zakresie produktów, takich jak pieczywo, produkty ekstrudowane, napoje mleczne, batony zdrowotne i suplementy diety. W pracy scharakteryzowano również makaron, który jest popularnie spożywaną żywnością ze względu na niską cenę, łatwość przygotowania i długą trwałość. Makaron wysokiej jakości jest wytwarzany z semoliny z pszenicy durum ze względu na jej bardzo dobrą jakość gotowania i wysoką akceptację konsumencką. Jednak w wielu krajach dostępność pszenicy durum do produkcji makaronu jest ograniczona, co skłoniło do licznych badań nad częściowym lub całkowitym zastąpieniem semoliny mąką z pszenicy zwyczajnej lub innymi mąkami. W pracy **P1** szczególna uwaga została poświęcona wykorzystaniu błonnika z drzewa chlebowego jako zamiennika mąki pszennej w produkcji makaronu. Autorzy pracy analizowali wpływ tego dodatku na jakość makaronu, w tym na jego właściwości sensoryczne, proces gotowania oraz działania antyoksydacyjne, co ma na celu poprawę wartości odżywczej i funkcjonalnej makaronu.

W pierwszym etapie badań w pracy **P1** wytworzono makaron z mąki pszennej z dodatkiem błonnika z chleba świętojańskiego w ilości 1, 2, 3, 4 i 5%. Makaron został wyprodukowany w warunkach przemysłowych, w wytwórni makaronu "Bona Lux" w Zemborzycach Tereszyńskich k. Lublina, przy wykorzystaniu maszyny do makaronu Marcato Atlas Wellness 150 Pasta Maker (Marcato, Campodarsego, Włochy). Próbkę makaronu (vermicelli o grubości około 3,0 mm i długości 80 mm) suszono w suszarce laboratoryjnej SML30 w temperaturze 50°C (POL-EKO-APARATURA, Wodzisław Śląski, Polska) do momentu, gdy wilgotność makaronu osiągnęła około 11 %. Metodyka przeprowadzonych badań obejmowała analizę różnych parametrów makaronu, takich jak: ocena właściwości fizycznych m.in. barwa i wilgotność, ocena właściwości kulinarnych: optymalny czas gotowania, wskaźnik przyrostu wagowego, straty suchej substancji oraz przeprowadzono analizę sensoryczną, która obejmowała smak, zapach, barwę, teksturę i ogólną akceptowalność makaronu wzbogaconego błonnikiem w porównaniu do wyrobu tradycyjnego, ocena tekstury na podstawie testu cięcia przy wykorzystaniu maszyny wytrzymałościowej Zwick ZN20/TN2S. Ponadto w makaronie określono całkowitą zawartość związków fenolowych (TPC) i przeprowadzono cztery różne metody oceny aktywności przeciwutleniającej makaronu: test zmiatania rodników ABTS, zdolność redukcji jonów żelaza (FRAP), chelatowania jonów metali (CHEL) i hamowania lipooksygenazy.

Wyniki przeprowadzonych w pracy **P1** badań wykazały, że dodatek błonnika z chleba świętojańskiego wpływał na teksturę makaronu powodując wzrost twardości i zmniejszenie elastyczności. Im większa była ilość dodanego błonnika, tym bardziej wyraźne były te zmiany. Kolor makaronu z dodatkiem błonnika stał się ciemniejszy, co było najbardziej zauważalne przy wyższych stężeniach błonnika. Wzbogacenie makaronu błonnikiem wpłynęło na ocenę sensoryczną, szczególnie na smak i teksturę. Makaron z 2% dodatkiem błonnika miał najwyższą akceptowalność wśród konsumentów. Przy wyższych stężeniach akceptowalność spadała ze względu na zmianę tekstury i smaku, co wpłynęło na negatywne odczucia konsumentów. Makaron, wzbogacony błonnikiem, wykazywał znacznie wyższe właściwości antyoksydacyjne niż tradycyjny makaron pszeniczny.

Poziom związków fenolowych oraz zdolność neutralizacji wolnych rodników rosła proporcjonalnie do ilości dodanego błonnika.

Podsumowując wyniki badań w pracy **P1** stwierdzono, że udział błonnika karobowego w stosunku do zwykłej mąki pszennej do 5 g/100 g miał niewielki wpływ na właściwości kulinarne makaronu, ale silnie wpłynął na kolor makaronu, w szczególności powodował spadek jasności i zaczerwienienie produktów. Gotowanie zwiększyło jasność i czerwoność makaronu z dodatkiem błonnika, ale zmniejszyło zażółcenie. Ocena sensoryczna makaronu wykazała, że dodatek błonnika do 4 g/100 g w zwykłej mące pszennej miał niewielki wpływ na ogólną akceptowalność produktu. Ponadto, dodatek z chleba świętojańskiego znacząco zwiększył TPC i poprawił właściwości przeciwutleniające makaronu. Co najważniejsze, związki aktywne były wysoce biodostępne *in vitro*. Uzyskane wyniki wykazały, że błonnik karobowy może być użytecznym dodatkiem do produkcji makaronu z pszenicy zwyczajnej o zwiększonych właściwościach prozdrowotnych. Dodatek błonnika z chleba świętojańskiego do makaronu pszennego znacząco poprawia jego wartość prozdrowotną zwiększając zawartość przeciwutleniaczy i właściwości antyoksydacyjne. Choć zmiany w teksturze i smaku mogą wpłynąć na ocenę sensoryczną konsumentów, umiarkowany dodatek (około 2%) jest nadal dobrze akceptowalny. Badania pokazują, że wzbogacenie makaronu błonnikami z chleba świętojańskiego jest obiecującym sposobem na poprawę jakości żywności, zwłaszcza pod kątem korzyści prozdrowotnych.

Badania w pracy **P3** dotyczą również poprawy jakości technologicznej i odżywczej makaronu pszennego poprzez fortyfikację dodatkami pochodzenia roślinnego bogatymi w błonnik. W szczególności analizowano wpływ kawy zbożowej (CC) na właściwości makaronu produkowanego z mąki pszennej. Makaron z reguły wytwarzany jest z rafinowanej mąki pszennej lub semoliny, ubogich w błonnik, witaminy i związki bioaktywne. Aby poprawić jakość takich produktów, stosuje się wzbogacanie ich różnymi dodatkami, np. mąką z amarantusa, ryżu, proszkami owocowymi czy błonnikami. W niniejszym badaniu podkreślono potencjał kawy zbożowej jako wartościowego dodatku. CC wyróżnia się wysoką zawartością błonnika, witamin (zwłaszcza z grupy B), minerałów oraz przeciwutleniaczy. Jej bioaktywne składniki, takie jak inulina, kwas fitynowy czy kwas kawowy, wykazują działanie prozdrowotne, m.in. antyoksydacyjne i wspierające układ odpornościowy oraz nerwowy. Co ważne, CC nie zawiera kofeiny, co czyni ją odpowiednią dla osób wrażliwych na ten składnik, w tym kobiet w ciąży i osób z problemami sercowo-naczyniowymi. Przegląd literatury stanowił wprowadzenie do badań nad makaronem pszennym wzbogaconym kawą zbożową. Podkreślono korzyści płynące z zastosowania tego dodatku, m.in. zwiększenie zawartości rozpuszczalnego błonnika, polifenoli oraz innych składników odżywczych, co wpływa na podniesienie walorów zdrowotnych i odżywczych produktu.

Materiał badawczy w pracy **P3** stanowił makaron z dodatkiem kawy zbożowej „Inka” (zboża 78%, tj. jęczmień i żyto oraz cykoria) w różnych proporcjach. Makaron przygotowano z mąki krupczatki (CGF), wody wodociągowej (w ilości ok. 45%) i kawy zbożowej (CC) w ilości 1, 2, 3, 4 i 5 g/100 g mąki. Makaron kontrolny (CP) bez dodatku CC został również wytworzony. Do przygotowania ciasta makaronowego zastosowano Mikser KitchenAid Heavy Duty (model T-5KPM5EER, Greenville, Stany Zjednoczone). Wszystkie składniki mieszano przez 5 min przy 150 obr/min. Zgodnie z instrukcją producenta urządzenia do wyrabiania ciasta makaronowego użyto płaskiego miksera KitchenAid model 5K452B. Ciasto zostało rozwałkowane na arkusze o szerokości do 140 mm i grubości 1,5 mm przy użyciu urządzenia do wałkowania makaronu (5KSMPSA, Greenville, Stany Zjednoczone) i pocięte za pomocą specjalnej przystawki (5KSMPPRA, Greenville, Stany Zjednoczone). Gotowy makaron rozmieszczono na suszarce do makaronu (KitchenAid 5KPDR, Greenville, Stany Zjednoczone) i umieszczano w komorze klimatycznej (ICH 256, Düsseldorf,

Niemcy) na 24 godziny w temperaturze 25°C i wilgotności względnej 30%, aż wilgotność makaronu osiągnęła poziom między 11,5 a 12%. Uzyskany makaron (fettuccine) o grubości około 1-2 mm, szerokości 5 mm i długości około 250 mm, poddano założonym badaniom. Zbadano różne właściwości makaronu, zaczynając od podstawowego składu chemicznego, określono zawartość białka, popiołu oraz jego wilgotność i aktywność wody. Współrzędne barwy makaronu, przed i po gotowaniu, oznaczano w systemie klasyfikacji liczbowej przestrzeni barwy CIE $L^*a^*b^*$ przy użyciu kolorymetru CR-400 (Minolta). Wyznaczono współrzędne chromatyczne barwy, tj. jasność (L^*), zakres kolorów od zielonego do czerwonego (a^*) i od niebieskiego do żółtego (b^*). Po obróbce hydrotermicznej oceniono optymalny czas gotowania, wskaźnik przyrostu wagowego i straty suchej substancji oraz przeprowadzono analizę sensoryczną. Ugotowany makaron oceniano pod kątem zapachu, barwy, smaku i konsystencji. Cechy te zostały wyrażone w kategoriach jędrności i kleistości, a następnie dokonano ogólnej oceny. Określono właściwości teksturalne na podstawie testu rozciągania, przy wykorzystaniu maszyny wytrzymałościowej Zwick ZN20/TN2S. Ponadto w makaronie przed i po gotowaniu określono całkowitą zawartość związków fenolowych i właściwości przeciwutleniające wobec ABTS i moc chelatującą (CHEL).

W badaniach nad makaronem z pszenicy zwyczajnej wzbogaconym kawą zbożową (CC) przeprowadzonych w pracy **P3** wykazano, że dodatek CC zwiększył zawartość błonnika w makaronie, ale jednocześnie zmniejszył zawartość białka. Po gotowaniu zawartość białka spadła z 10,37 (próbka kontrolna) do 9,84% (makaron z dodatkiem 5 g/100 g CC). Zawartość błonnika wzrosła osiągając 3,50% dla makaronu z dodatkiem 5 g CC. Dodatkowo kawa zbożowa miała pozytywny wpływ na teksturę makaronu, zwiększając jego elastyczność. Najwyższą wartość deformacji i pracy rozciągania zaobserwowano dla makaronu z dodatkiem 5 g CC/100 g mąki. Wzbogacenie makaronu kawą zbożową poprawiło jego smak, zapach i kolor. Makaron z dodatkiem CC był oceniany wyżej pod względem koloru i smaku, przy czym najlepsze wyniki uzyskano przy dodatku 4 g CC/100 g mąki. Co ważniejsze, podczas oceny sensorycznej zwiększona ilość CC spowodowała zmniejszenie kleistości makaronu. Makaron stał się bardziej czerwony, a jego jasność zmalała. Dodatek CC znacząco zwiększył zawartość związków fenolowych i zdolność przeciwutleniającą makaronu. Wartość całkowitej zawartości fenoli wzrosła z 1,32 (próbka kontrolna po gotowaniu) do 2,25 mg GEA/g (makaron z dodatkiem 5 g CC). Dodatek CC poprawił także aktywność przeciwutleniającą zarówno surowego, jak i gotowanego makaronu. Gotowanie zmniejszyło tylko ilość związków fenolowych z 12 do 15%. Dodatek CC skrócił optymalny czas gotowania z 8 minut (próbka kontrolna) do 7 minut dla makaronu z dodatkiem 5 g CC/100 g mąki. Wnioski z badań wskazują, że dodatek CC do makaronu poprawia jego wartości odżywcze, właściwości sensoryczne oraz zdolności przeciwutleniające, co czyni go korzystnym dodatkiem do żywności.

Podsumowując wyniki badań przedstawione w pracy **P3**, wykazano skuteczność zastąpienia mąki z pszenicy zwyczajnej dodatkiem CC (do 4 g/100 g). Dodatek kawy zbożowej do mąki pszennej wpłynął na właściwości kulinarne makaronu, zwłaszcza zwiększając wskaźnik przyrostu wagowego. Udział CC powyżej 3 g/100 g spowodował obniżenie OCT oraz znacząco wpłynął na kolor makaronu, zmniejszając jego jasność i zwiększając wartość współrzędnej a^* w kierunku barwy czerwonej. Wyniki pokazały, że dopiero 5 g/100 g dodatku CC spowodowało istotny wzrost wartości odkształcenia i pracy rozciągania. Dodatkowo, CC znacząco podniosła zawartość TPC i zwiększyła właściwości przeciwutleniające makaronu, zarówno surowego, jak i ugotowanego. Ocena sensoryczna wykazała, że dodatek CC (do 4 g/100 g) miał niewielki wpływ na ogólną akceptowalność makaronu. Wyniki te wskazują, że CC może być wartościowym dodatkiem w produkcji makaronu pszennego, zwiększając jego właściwości prozdrowotne oraz poprawiając cechy sensoryczne.

Kolejnym przykładem badań stanowiących spójny cykl poświęcony opracowywaniu nowej gamy makaronów o unikalnych właściwościach fizykochemicznych i jakościowych, wzbogacanych dodatkami roślinnymi o podwyższonej zawartości błonnika, jest praca **P7**. Artykuł dotyczy wzbogacania makaronu z pszenicy zwyczajnej mikronizowaną łuską owsianą oraz analizy jej wpływu na właściwości fizykochemiczne i sensoryczne makaronu. Celem badania było częściowe zastąpienie mąki pszennej łuską owsianą w różnych stężeniach (0, 5, 10, 15 i 20 g/100 g), aby ocenić zmiany w składzie chemicznym, barwie, właściwościach podczas gotowania, strukturze oraz aktywności antyoksydacyjnej makaronu. Artykuł podkreśla potencjał łuski owsianej jako funkcjonalnego dodatku wzbogacającego wartości odżywcze i prozdrowotne makaronu pszennego. W przeglądzie literatury został przedstawiony aspekt, który dotyczy rosnącego zainteresowania wykorzystaniem błonnika pokarmowego (DF) jako kluczowego składnika diety o udowodnionym pozytywnym wpływie na zdrowie. Zgodnie z wytycznymi Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), Organizacji Narodów Zjednoczonych do spraw Wyżywienia i Rolnictwa (FAO), Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) oraz Agencji Żywności i Leków Stanów Zjednoczonych (US FDA), zalecane dzienne spożycie błonnika wynosi 25 g dla dorosłego człowieka. W związku z tym produkty zbożowe, będące głównym źródłem błonnika w diecie, pozostają ważnym elementem zdrowego odżywiania. W artykule zwrócono uwagę, że tradycyjnie przetworzone produkty zbożowe tracą wiele właściwości zdrowotnych w porównaniu z produktami pełnoziarnistymi lub wzbogaconymi dodatkami o wysokiej zawartości błonnika. Otręby owsiane jako produkt uboczny przemysłu zbożowego są bogatym źródłem błonnika nierozpuszczalnego, co czyni je idealnym dodatkiem funkcjonalnym do wzbogacania makaronu pszennego. Ponadto produkty owsiane są znane z zawartości wartościowych składników odżywczych, takich jak białka, lipidy, witaminy i minerały, a także posiadają unikalny skład chemiczny, korzystny zarówno dla osób zdrowych, jak i cierpiących na różne dolegliwości. Celem badania było zatem przetestowanie wpływu zmikronizowanej łuski owsianej na właściwości fizykochemiczne i sensoryczne makaronu, zwłaszcza pod kątem poprawy zawartości błonnika i antyoksydantów, przy jednoczesnym zachowaniu akceptowalnych walorów smakowych produktu.

Materiałem badawczym w artykule **P7** były próbki makaronu pszennego wzbogaconego zmikronizowaną łuską owsianą (MOH) (w różnych proporcjach: 0, 5, 10, 15 i 20 g łuski na 100 g mąki pszennej). Makaron został przygotowany poprzez zmieszanie mąki pszennej krupczatki ze zmikronizowaną łuską owsianą w stężeniach od 0 do 20 g łuski na 100 g mąki oraz wody. Dostosowanie ilości wody było uzależnione od poziomu zawartości łuski - wraz ze wzrostem ilości łuski zwiększano także dodatek wody, co umożliwiło uzyskanie odpowiedniej konsystencji ciasta. Wyrabianie ciasta wykonano przy pomocy mieszarki planetarnej KitchenAid (model T-5KPM5EER). Urządzenie uformowało ciasto za pomocą przystawki do walcowania i cięcia (KitchenAid 5KSMPSA). Uzyskany makaron (tagliatelle) miał przybliżone wymiary 2 mm grubości i 5 mm szerokości i następnie został wysuszony w kontrolowanych warunkach, aby osiągnąć stabilną wilgotność (11 – 12%). Gotowy makaron przechowywano w szczelnie zamkniętych opakowaniach chroniących przed światłem i tlenem, podobnie jak w przypadku produktów komercyjnych, a następnie poddano wybranym badaniom. Przeprowadzono analizę podstawowego składu chemicznego, określając zawartość suchej masy, białka, popiołu, tłuszczu oraz błonnika. Aktywność wody została zmierzona przy użyciu urządzenia LabMaster w temperaturze 20°C. Współrzędne barwy makaronu oznaczono za pomocą kolorymetru, stosując system CIE $L^*a^*b^*$, w którym oznaczano jasność, czerwień i żółtość oraz całkowitą różnicę barwy (ΔE). Określono właściwości kulinarne makaronu, poprzez wyznaczenie optymalnego czasu gotowania (OCT) zgodnie z metodą AACC 66–50, a także wskaźnika przyrostu masy (WI) oraz straty przy gotowaniu (CL) na podstawie masy próbki

po gotowaniu. Teksturę gotowanego makaronu oceniano przy użyciu maszyny testowej Zwick, mierząc siłę rozciągania próbki oraz odkształcenie. Zawartość polifenoli mierzono metodą Folina-Ciocalteu, a aktywność antyoksydacyjną określono wobec rodników ABTS i DPPH, gdzie niższe wartości EC50 wskazywały na silniejsze właściwości antyoksydacyjne. Przeprowadzono również identyfikację kwasów fenolowych i flawonoidów, w tym celu użyto techniki wysokosprawnej chromatografii cieczowej z analizatorem masowym (LC-ESI-MS/MS). Gotowany makaron oceniano sensorycznie pod względem wyglądu, barwy, zapachu, smaku i tekstury. Użyto 7-punktowej skali hedonicznej w panelu 63 osób.

W pracy **P7** przeprowadzono szczegółową analizę wyników badań nad makaronem wzbogaconym MOH. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że dodatek łuski owsianej znacząco zwiększał zawartość popiołu i błonnika w makaronie, jednocześnie obniżając zawartość białka i tłuszczu. Zależność ta była szczególnie widoczna przy wyższych stężeniach łuski, co wskazuje na możliwość wzbogacenia makaronu o wartościowe składniki odżywcze pochodzące z owsa. Wzbogacenie makaronu łuską owsianą wpłynęło na zmniejszenie jasności (L^*) oraz zwiększenie czerwoności (a^*) i żółtości (b^*), co nadało produktowi wyraźniejszą barwę. Efekt ten był zauważalny zarówno w stanie surowym, jak i po ugotowaniu, a zmiany kolorystyczne były bardziej intensywne przy wyższych poziomach dodatku łuski owsianej. Dodatek łuski owsianej wpłynął na parametry gotowania, takie jak czas optymalnego gotowania, który wydłużył się wraz ze wzrostem ilości łuski. Jednocześnie zwiększała się strata masy podczas gotowania, ale nie przekraczała ona 8%, co jest uważane za akceptowalne dla makaronu. Ponadto dodatek mikronizowanej łuski owsianej spowodował znaczny spadek wskaźnika wzrostu masy, z 2,28 (makaron bez dodatku) do 2,10 (makaron z 20% dodatkiem łuski). Badania wybranych właściwości mechanicznych wykazały, że dodatek łuski owsianej obniżał zarówno odkształcalność, jak i siłę rozciągania makaronu po ugotowaniu, co wpływało na jego teksturę. Spadek tych wartości był statystycznie istotny i sugeruje, że wyższe stężenia łuski mogą obniżać jakość tekstury makaronu. Analiza związków fenolowych wykazała znaczny wzrost zawartości polifenoli oraz aktywności antyoksydacyjnej wraz ze wzrostem stężenia łuski owsianej. Makaron wzbogacony w łuskę wykazywał wyraźną zdolność do neutralizacji wolnych rodników wobec ABTS i DPPH, co świadczy o jego potencjalnych właściwościach prozdrowotnych. W pracy dokonano szczegółowej identyfikacji kwasów fenolowych i flawonoidów w makaronie wzbogaconym zmikronizowaną łuską owsianą przy użyciu wysokosprawnej chromatografii cieczowej z jonizacją w sprayu (LC-ESI-MS/MS). Identyfikacja i ilościowe oznaczenie fenoli i flawonoidów pozwoliła na zidentyfikowanie kilku kwasów fenolowych, takich jak ferulowy, p-kumarowy (4-hydroksycynamonowy), wanilinowy, syringowy, a także pochodnych kwasu kawowego, szczególnie w próbkach wzbogaconych większymi ilościami łuski (15–20 g na 100 g mąki pszennej). Kwas ferulowy był najobficiej występującym kwasem fenolowym we wszystkich próbkach i jego zawartość rosła wraz ze wzrostem udziału mikronizowanej łuski owsianej w makaronie, od 643,5 $\mu\text{g/g}$ s.m. w próbce bez dodatku do ponad 1500 $\mu\text{g/g}$ s.m. przy najwyższym 20% stężeniu. W przypadku flawonoidów odnotowano obecność luteoliny i apigeniny (w formach aglikonów oraz glikozydów). Zawartość flawonoidów wzrastała przy wyższych stężeniach mikronizowanej łuski owsianej, na przykład glikozydy apigeniny były obecne w ilości śladowej w próbce z 5% dodatkiem i wzrosły do 28,4 $\mu\text{g/g}$ s.m. w próbce z 20% udziałem łuski w makaronie. Analiza wskazała, że dodatek łuski owsianej znacząco wzbogaca makaron w związki fenolowe i flawonoidy o potencjalnych właściwościach przeciwtleniających, co zwiększa jego wartość prozdrowotną. Wyniki przeprowadzonej ceny sensorycznej wykazały, że makaron wzbogacony łuską owsianą w stężeniu do 10 g/100 g mąki pszennej był dobrze oceniany pod względem cech sensorycznych, takich jak wygląd,

smak i tekstura. Jednak przy wyższych stężeniach (powyżej 10 g/100 g) oceny te zaczynały się pogarszać, co może wynikać ze zmian w konsystencji i smaku makaronu. Ponadto dodatek MOH do makaronu może istotnie wzbogacić go o błonnik i polifenole, co wpływa na poprawę jego wartości odżywczej i prozdrowotnej. Jednak wyższe stężenia łuski mogą niekorzystnie wpływać na teksturę i sensoryczną akceptowalność produktu, dlatego optymalne stężenie dodatku określono na poziomie do 10 g na 100 g mąki.

Podsumowując wyniki przeprowadzonych w pracy **P7** badań wykazano, że mikronizowana łuska owsiana może stanowić wartościowy dodatek funkcjonalny w produkcji makaronu. Wzbogacenie makaronu o mikronizowaną łuskę owsianą prowadziło do niewielkiego obniżenia zawartości białka i tłuszczu, przy jednoczesnym zwiększeniu poziomu popiołu i błonnika. MOH znacząco wpływało na barwę surowego i ugotowanego makaronu, w szczególności poprzez zmniejszenie jasności oraz wzrost intensywności czerwieni i żółci. Dodatkowo, MOH zmieniło właściwości kulinarne makaronu, zwiększając czas gotowania i straty przy gotowaniu, przy jednoczesnym obniżeniu wskaźnika przyrostu wagowego. Warto zauważyć, że dodanie MOH do mąki pszennej znacząco redukowało siłę deformacji i rozciągliwości gotowego produktu. MOH również znacząco podnosiło całkowitą zawartość polifenoli oraz zwiększało właściwości antyoksydacyjne makaronu. W ocenie sensorycznej wyższa zawartość MOH pozytywnie wpływała na wygląd i barwę makaronu, lecz miała negatywny wpływ na jego teksturę. Stwierdzono, że dodanie MOH (do 10 g/100 g) zostało pozytywnie odebrane przez konsumentów oraz dostarczało cennego źródła błonnika i związków bioaktywnych, zwłaszcza kwasu ferulowego. Uzyskane wyniki mogą stanowić podstawowe wytyczne dla produkcji makaronu z mąki pszennej wzbogaconego MOH. Dodatek ten jest surowcem niedrogim, który nie wpłynie negatywnie na końcową cenę makaronu. W przyszłych badaniach zaleca się przeprowadzenie testów w warunkach przemysłowych oraz analizę możliwości wykorzystania MOH jako dodatku funkcjonalnego w produkcji makaronu z mąki pszenicy durum.

4.5. Podsumowanie głównego osiągnięcia naukowego

Obecnie na rynku spożywczym obserwuje się dynamiczny rozwój produktów wzbogacanych naturalnymi dodatkami, w tym innowacyjnych makaronów z pszenicy zwyczajnej. Charakteryzują się one różnorodnymi właściwościami sensorycznymi, prozdrowotnymi i technologicznymi, które mogą być dostosowywane do konkretnych potrzeb konsumentów dzięki wykorzystaniu dodatków roślinnych. Niewątpliwą zaletą takich rozwiązań jest możliwość łączenia podstawowego surowca, jakim jest pszenica, z innymi naturalnymi składnikami o wysokiej wartości odżywczej, takimi jak warzywa, zioła, glony czy owoce. Pszenica zwyczajna (*Triticum aestivum*) jest jednym z najbardziej rozpowszechnionych zbóż wykorzystywanych w produkcji żywności, w tym makaronów. Jej popularność wynika przede wszystkim z szerokiej dostępności i niższych kosztów produkcji w porównaniu do pszenicy durum (*Triticum durum*), tradycyjnie używanej do wyrobu wysokiej jakości makaronów. Jednakże pszenica zwyczajna charakteryzuje się kilkoma ograniczeniami pod względem wartości odżywczej i technologicznej. Makaron produkowany wyłącznie z mąki pszennej zwyczajnej ma mniejszą wartość odżywczą, co ogranicza jego atrakcyjność jako elementu zdrowej diety. Dlatego też fortyfikacja pozwala nie tylko wzbogacić produkt w błonnik, witaminy, minerały czy przeciwutleniacze, ale również zwiększyć jego atrakcyjność wizualną i smakową. Dodatek naturalnych materiałów roślinnych to rozwiązanie pozwalające na podniesienie wartości odżywczej i funkcjonalnej makaronów na bazie pszenicy zwyczajnej. Na popularność makaronów wzbogacanych

wpływa także ich dostosowanie do zmieniających się oczekiwań konsumentów, takich jak dążenie do zdrowszej diety oraz większa świadomość dotycząca jakości spożywanej żywności. Kluczowym wyzwaniem pozostaje jednak opracowanie technologii, która pozwoli zachować odpowiednią strukturę, trwałość i jakość gotowego produktu, jednocześnie minimalizując koszty produkcji.

Tak jak wskazano w wielu publikacjach naukowych, podejście do badań nad makaronami wzbogacanymi naturalnymi dodatkami roślinnymi wiąże się z koniecznością dostosowania procesów technologicznych. Szczególną uwagę zwraca się na kompatybilność dodatków z tradycyjną mąką pszenną oraz ich wpływ na proces wyłaczania makaronu, jego teksturę, barwę, zdolność wiązania wody oraz właściwości organoleptyczne. Z perspektywy naukowej badania w tym obszarze obejmują również analizę stabilności bioaktywnych składników w trakcie procesów termicznych, które są nieodłącznym elementem produkcji makaronu. Wprowadzenie na rynek makaronów wzbogaczanych naturalnymi dodatkami wpisuje się w globalny trend proekologiczny i prozdrowotny. Takie produkty mogą pełnić rolę funkcjonalnych środków spożywczych, co czyni je atrakcyjnymi zarówno dla konsumentów, jak i dla producentów poszukujących innowacyjnych rozwiązań. Opracowanie nowych receptur wymaga jednak interdyscyplinarnego podejścia, które łączy wiedzę z zakresu technologii żywności, inżynierii procesowej i dietetyki.

Zainteresowanie tego typu badaniami wykazuje wiele ośrodków naukowych i przemysłowych, co potwierdza ich znaczenie w kontekście konkurencyjności gospodarki. Wykorzystanie sprawdzonych technologii w połączeniu z innowacyjnymi podejściami badawczymi może przyczynić się do wprowadzenia na rynek produktów o wysokiej wartości dodanej, które będą odpowiadały zarówno potrzebom konsumentów, jak i wymaganiom zrównoważonego rozwoju. Wykorzystanie pszenicy zwyczajnej w produkcji makaronu wzbogacanego naturalnymi dodatkami roślinnymi to obiecujący kierunek rozwoju. Tego rodzaju produkty mogą nie tylko sprostać wymaganiom współczesnych konsumentów, ale także przyczynić się do zwiększenia różnorodności i jakości oferty rynkowej. Dzięki odpowiednim badaniom i innowacjom technologicznym makaron z pszenicy zwyczajnej może stać się pełnowartościowym i atrakcyjnym produktem o wysokim potencjale prozdrowotnym. Rozwój produkcji makaronów wzbogaczanych naturalnymi dodatkami roślinnymi to nie tylko odpowiedź na aktualne wyzwania rynkowe, ale także ważny krok w kierunku tworzenia bardziej zrównoważonego sektora spożywczego.

Na podstawie prac dotyczących wzbogacania makaronów pszennych naturalnymi dodatkami roślinnymi, zaprezentowanych jako główne osiągnięcie w postaci cyklu powiązanych tematycznie publikacji pt. **„Fortyfikacja makaronów wybranymi dodatkami roślinnymi: aspekty żywieniowe i jakościowe”**, można stwierdzić, że tradycyjne technologie produkcji są w stanie być efektywnie dostosowywane do opracowywania innowacyjnych produktów spożywczych o podwyższonej wartości odżywczej i funkcjonalnej. Zastosowanie starannie dobranych naturalnych dodatków, takich jak warzywa, owoce czy produkty o podwyższonej zawartości błonnika, otwiera nowe możliwości w kontekście ulepszania zarówno składu, jak i właściwości sensorycznych makaronów.

Wyniki z przeprowadzonych prac eksperymentalnych (**P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8**) potwierdziły, że istnieją zależności pomiędzy zastosowanymi parametrami technologicznymi, takimi jak temperatura i metoda suszenia dodatku pochodzenia roślinnego, wilgotność ciasta makaronowego czy sposób formowania, które odgrywają kluczową rolę w osiągnięciu optymalnych właściwości finalnego produktu. Dodatek roślinnych składników funkcjonalnych, takich jak błonnik wymaga dostosowania proporcji mąki pszennej do pozostałych składników, aby zachować pożądaną teksturę i właściwości makaronu. Obróbka cieplna i proces suszenia mogą wpływać na zawartość witamin i antyoksydantów. Istotne jest określenie optymalnych parametrów, które minimalizują straty tych

związków. Niektóre dodatki, np. bogate w błonnik, mogą zwiększać lepkość i zmieniać właściwości reologiczne ciasta, co wymaga modyfikacji parametrów procesu, takich jak dodatek wody w recepturze. W wyniku zastosowania naturalnych dodatków w makaronach pszennych, takich jak łuska owsiana, kawa zbożowa, błonnik karobowy, suszone owoce i warzywa wzbogacono makarony w błonnik, witaminy i przeciwutleniacze, które są często niedoborowe w diecie. Dodatkowo barwniki naturalne, smaki i aromaty z dodatków roślinnych mogą zwiększyć atrakcyjność produktu dla konsumentów przez co uzyskano poprawę właściwości sensorycznych. Ponadto proekologiczne podejście poprzez wykorzystanie wybranych produktów ubocznych przemysłu rolno-spożywczego, takich jak łuska owsiana, przyczynia się do redukcji odpadów i wspiera zrównoważony rozwój.

Proponowane podejście badawcze w kontekście wzbogacania makaronów z pszenicy zwyczajnej odpowiada na współczesne wyzwania związane z potrzebą podnoszenia wartości odżywczej tradycyjnych produktów spożywczych. Wprowadzenie naturalnych dodatków roślinnych w produkcji makaronów wpisuje się w światowe trendy prozdrowotne i ekologiczne, a także w ramy priorytetów naukowych i technologicznych w obszarze inżynierii żywności. **W efekcie przeprowadzonych badań w ramach wyznaczonego nowatorskiego kierunku badawczego opracowałam innowacyjne rozwiązania recepturowe w produkcji makaronów. Fortyfikacja makaronów naturalnymi substancjami roślinnymi to podejście, które może przynieść korzyści zarówno w kontekście zdrowia publicznego, jak i zrównoważonego rozwoju.** Badania przeprowadzone w tym zakresie potwierdzają, że istnieje możliwość dostosowania tradycyjnych technologii produkcji makaronów do wymagań związanych z nowymi recepturami i otrzymywanymi produktami.

Zaproponowane w opisanym osiągnięciu naukowym rozwiązanie dotyczące wzbogacania makaronów mogą zostać zaadaptowane w przemyśle spożywczym, co sprzyja rozwojowi produktów o wysokiej wartości dodanej. Dzięki opracowanym parametrom procesowym przygotowania dodatku i mieszankom surowcowym możliwe jest wprowadzenie na rynek innowacyjnych makaronów, które będą odpowiedzią na potrzeby zarówno producentów, jak i konsumentów. Podjęte badania w zakresie wzbogacania makaronów pszennych przyczyniają się do rozwoju nauk rolniczych oraz wytyczają nowe kierunki w obszarze technologii żywności i żywienia, w pełni wpisując się w założenia zrównoważonego rozwoju i innowacyjności przemysłu spożywczego.

4.6. Pozostałe osiągnięcia

W mojej dotychczasowej pracy naukowej jako najważniejsze można wyodrębnić, oprócz głównego osiągnięcia naukowego, pozostałe trzy szerokie obszary badawcze, obejmujące interdyscyplinarne badania mieszczące się w zakresie dyscyplin: inżynierii mechanicznej, inżynierii środowiska, górnictwa i energetyki, inżynierii materiałowej i technologii żywności i żywienia:

- A. Opracowanie parametrów procesowych, technik i technologii w produkcji nowoczesnych wyrobów spożywczych o zwiększonej wartości odżywczej, z wykorzystaniem różnorodnych surowców pochodzenia roślinnego i zwierzęcego oraz zmiennych warunków procesu ekstruzji.
- B. Opracowanie metod i parametrów suszenia wybranych surowców roślinnych w aspekcie kinetyki procesu i cech jakościowych suszu.

- C. Opracowanie nowatorskich technologii produkcji pieczywa funkcjonalnego, w tym bezglutenowego, wysokobiałkowego i niskowęglowodanowego.

Drugim najważniejszym osiągnięciem w mojej pracy naukowej, poza głównym osiągnięciem naukowym, są badania z obszaru A.

A. Opracowanie parametrów procesowych, technik i technologii w produkcji nowoczesnych wyrobów spożywczych o zwiększonej wartości odżywczej, z wykorzystaniem różnorodnych surowców pochodzenia roślinnego i zwierzęcego oraz zmiennych warunków procesu ekstruzji.

Istotnym aspektem badawczym mojej aktywności naukowej jest ocena parametrów procesowych oraz możliwości wykorzystania techniki ekstruzji w produkcji funkcjonalnej żywności. Technika ekstruzji wykorzystywana jest obecnie przede wszystkim do wytwarzania szerokiej gamy wyrobów spożywczych, np. płatków śniadaniowych, pelletów spożywczych, snacków, teksturatów roślinnych, produktów instant, półproduktów stosowanych w dalszych procesach technologicznych. Dostępne dane rynkowe i literaturowe pokazują, że coraz więcej konsumentów poszukuje produktów pełniących istotną rolę w zachowaniu prawidłowego bilansu żywieniowego. Z roku na rok oferta rynkowa produktów żywnościowych jest coraz szersza, a o wyborze danego wyrobu decyduje wiele czynników, w tym jego wartość odżywcza i jakość. Szczególną uwagę poświęca się zwiększaniu wykorzystania składników roślinnych. To właśnie produkty na bazie zbóż i roślin skrobiowych stanowią jedno z głównych źródeł węglowodanów i składników mineralnych niezbędnych w diecie człowieka.

Badania pokazują, że coraz częściej sięgamy po małe produkty między posiłkami, a nawet zastępujemy nimi stałe posiłki w krótszych odstępach czasu. Proces ekstruzji stwarza możliwość uzyskiwania innowacyjnych, poprawnie zbilansowanych i zgodnych z oczekiwaniami klientów wyrobów. Coraz częściej wybory konsumenckie ukierunkowane są na wyroby wysokobłonnikowe, o obniżonej zawartości cukru oraz wzbogacone o cenne składniki mineralne i witaminy. Często też takie produkty określa się mianem żywności funkcjonalnej. Wprowadzanie do receptury ekstrudatów warzyw i owoców może im nadawać nowe cechy jakościowe, wpływać na poprawę kondycji organizmu i nadawać specyficzne cechy żywieniowe stanowiące o zaletach żywności funkcjonalnej.

Z uwagi na popularność zdrowego trybu życia w Polsce i na całym świecie oraz rosnącą świadomość społeczeństwa z zakresu żywności o zwiększonej zawartości cennych składników, zapotrzebowanie rynkowe na efekty współprowadzonych przeze mnie prac wykazują i wykazywać będą w wielu najbliższych latach tendencję wzrostową. W tym kontekście prowadzenie badań nad nową gamą ekstrudatów funkcjonalnych oraz opracowywanie warunków procesowych i technologii ich wytwarzania przy ograniczaniu nakładów energetycznych czy zużycia wody technologicznej stwarza realne szanse na sukces wdrażania zarówno wyników prac B+R w praktyce producenckiej, jak i wdrażania opracowywanych wzorów użytkowych i patentów.

W ramach mojej działalności w obszarze A został zrealizowany doktorat przez panią mgr inż. Dorotę Monikę Sokołowską, tytuł rozprawy doktorskiej: „*Wytwarzanie makaronów błyskawicznych z mąk bezglutenowych metodą ekstruzji*”, w którym byłam promotorem pomocniczym. Celem rozprawy doktorskiej było określenie wpływu użytych mąk bezglutenowych, a także zmiennych parametrów procesów ekstruzji, na przebieg procesu ekstruzji oraz na jakość sensoryczną i fizykochemiczną otrzymanych makaronów błyskawicznych. Ponadto bardzo interesującym i możliwym do szerokiej

modyfikacji procesem przetwórczym jest ekstruzja pelletów spożywczych, która pozwala na suplementację różnego typu dodatkami (np. świeże lub suszone warzywa i owoce). W wyniku tego procesu powstają pellety ziemniaczane i zbożowe, w tym wyroby bezglutenowe, z których następnie wysmażane lub wyprażane są przekąski (popularne smaki). Prace badawcze z tego zakresu, w których brałam udział jako członek zespołu badawczego, były realizowane w Katedrze między innymi w projekcie LIDER (nr umowy LIDER/29/0158/L-10/18/NCBR/2019). Przedmiotem projektu było wykonanie kompleksowych badań przemysłowych i prac rozwojowych nad opracowaniem technologii uzyskiwania wysokiej jakości przekąsek ekstrudowanych. W ramach realizacji projektu LIDER jako członek zespołu badawczo-rozwojowego uczestniczyłam w testach przemysłowych przeprowadzanych w zakładzie produkcyjnym JEDNOŚĆ Sp. z o.o. Firma ta jest czołowym producentem pelletów wykorzystywanych do wytwarzania smaczków i prażyn z różnych zbóż, ziemniaków oraz roślin strączkowych, przy czym stosuje wyłącznie naturalne surowce. Podczas trzykrotnych praktyk w tym zakładzie zdobyłam cenne doświadczenie w realizacji prób przemysłowych związanych z produkcją przekąsek na bazie naturalnych składników. Jestem również współautorem zgłoszenia patentowego: *Pellety ekstrudowane oraz sposób wytwarzania pelletów ekstrudowanych*, P.441650 (BUP 31/2023, str. 5).

Wspólnie z naukowcami z innych ośrodków w ramach mojej działalności w obszarze A i realizacji projektu LIDER prowadzone były badania mające na celu wzbogacanie wartości odżywczej ekstrudatów poprzez dodatek do podstawowych surowców, takich jak np. mąki i skrobię różnego rodzaju składników bioaktywnych, funkcjonalnych, np. aronii, borówki, brokułu, jarmużu, mąki ze świeższczy, kiełków lucerny, soi, kukurydzy oraz otrąb. Prace badawcze, prowadzone były w celu rozwiązania problemów badawczych związanych nie tylko z samym procesem ekstruzji, ale także ze zmieniającymi się podczas obróbki właściwościami surowców i ekstrudatów oraz metodyką badań. Efektem tych działań są oryginalne prace twórcze dotyczące m.in.:

- analizy procesu ekstruzji oraz wybranych właściwości fizycznych pelletów przekąskowych z dodatkiem świeżego jarmużu: Combrzyński M., **Biernacka B.**, Wójtowicz A., Kupryaniuk K., Oniszcuk T., Mitrus M., Różyło R., Gancarz M., Stasiak M., Kasprzak-Drozd K. *Analysis of the extrusion-cooking process and selected physical properties of snack pellets with the addition of fresh kale*. Int. Agrophys. 2023 Vol. 37 Iss. 3 s. 353-364,
- zastosowania mąki z owadów jadalnych jako nowego składnika wzbogaconych pelletów przekąskowych: aspekty przetwarzania i właściwości fizyczne: Wójtowicz A., Combrzyński M., **Biernacka B.**, Oniszcuk T., Mitrus M., Różyło R., Gancarz M., Oniszcuk A. *Application of edible insect flour as a novel Ingredient in fortified snack pellets: processing aspects and physical characteristics*. Processes 2023 Vol. 11 Iss. 9
- oceny dodatku świeżego brokułu we wzbogaconych pelletach przekąskowych: aspekty ekstruzji i oraz właściwości fizyczne: Mitrus M., Combrzyński M., **Biernacka B.**, Wójtowicz A., Milanowski M., Kupryaniuk K., Gancarz M., Soja J., Różyło R.. *Fresh Broccoli in fortified snack pellets: extrusion-cooking aspects and physical characteristics*. Appl. Sci.-Basel 2023 Volume 13 Issue 14,
- zastosowania świeżych owoców aronii jako wartościowego dodatku do ekstrudowanych pelletów przekąskowych: wybrane właściwości odżywcze i fizykochemiczne: Wójtowicz A., Combrzyński M., **Biernacka B.**, Różyło R., Bąkowski M., Wojtunik-Kulesza K., Mołdoch J., Kowalska I. *Fresh chokeberry (Aronia melanocarpa) fruits as valuable additive in extruded snack pellets: selected nutritional and physiochemical properties*. Plants 2023 Vol. 12 Iss. 18,

- właściwości odżywczych nowej generacji ekstrudowanych pelletów przekąskowych z mąką ze świerszczy jadalnych wytwarzanych w różnych warunkach ekstruzji: Combrzyński M., Oniszcuk T., Wójtowicz A., **Biernacka B.**, Wojtunik-Kulesza K., Bąkowski M., Różyło R., Szponar J., Soja J., Oniszcuk A. *Nutritional characteristics of new generation extruded snack pellets with edible cricket flour processed at various extrusion conditions*. Antioxidants 2023 Vol. 12 Issue 6,
- możliwości oszczędzania wody w przetwórstwie pelletów przekąskowych poprzez zastosowanie świeżych kielków lucerny: wybrane aspekty i charakterystyka żywieniowa: Combrzyński M., Wójtowicz A., **Biernacka B.**, Oniszcuk T., Mitrus M., Soja J., Różyło R., Wojtunik-Kulesza K., Kasprzak-Drozd K., Oniszcuk A. *Possibility of water saving in processing of snack pellets by the application of fresh lucerne sprouts: selected aspects and nutritional characteristics*. J. Ecol. Eng. 2023 Vol. 24 Issue 12 s. 130-142,
- analizy wpływu dodatku świeżego jarmużu i warunków przetwarzania na wybrane właściwości biologiczne, fizyczne i chemiczne ekstrudowanych pelletów przekąskowych: Soja J., Combrzyński M., Oniszcuk T., **Biernacka B.**, Wójtowicz A., Kupryaniuk K., Wojtunik-Kulesza K., Bąkowski M., Gancarz M., Mołdoch J., Szponar J., Oniszcuk A. *The effect of fresh Kale (Brassica oleracea var. sabellica) addition and processing conditions on selected biological, physical, and chemical properties of extruded snack pellets*. Molecules 2023 Vol. 28 Issue 4,
- oceny potencjału przeciwutleniającego i składu chemicznego nowej generacji ekstrudowanych pelletów przekąskowych z dodatkiem świeżych brokułów: Combrzyński M., **Biernacka B.**, Wójtowicz A., Bąkowski M., Mitrus M., Wojtunik-Kulesza K., Oniszcuk A., Różyło R. *Antioxidant potential and chemical composition of new generation extruded snack pellets supplemented with fresh broccoli addition*. Curr. Issues Pharm. Med. Sci. 2023 Vol. 36 No. 4 s. 207-216,

Warto nadmienić, iż wyniki z prowadzonych w ramach obszaru A prac badawczych zaprezentowane zostały w postaci wielu artykułów naukowych, których jestem współautorem oraz były również prezentowane na wielu konferencjach naukowych o zasięgu krajowym, jak i międzynarodowym:

- Combrzyński M., Wójtowicz A., Oniszcuk T., Mitrus M., Soja J., Staniak M., **Biernacka B.** *Uwarunkowania techniczno-technologiczne procesu ekstruzji pelletów spożywczych z dodatkiem mąki ze świerszczy jadalnych*. W: VIII Sympozjum Inżynierii Żywności. Warszawa, 1-3 lipca 2024 r. Książka streszczeń. Warszawa 2024, [b. wyd.].
- **Biernacka B.**, Combrzyński M., Dziki D., *Wybrane właściwości pelletów przekąskowych z dodatkiem kielków*. W: XI Konferencja Naukowa "INNOWACJE W PRAKTYCE", 6-7 czerwca 2024, Lublin.
- **Biernacka B.**, Combrzyński M., Bąkowski M., Wojtunik-Kulesza K. *Selected aspects of the use of sprouted seeds in food production*. W: 9th International Conference on Food Pathogen and Food Safety. June 20-21, 2022, Paris, France Paris 2022, [b.w], s.22-22.
- **Biernacka B.**, Combrzyński M., Bąkowski M., Wojtunik-Kulesza K. *The influence of the curly kale addition on selected properties of extruded pellets and expanded snacks* W: World Congress on Food Safety and Nutrition Science Conference, Food Safety 2021. October 25, 2021, Webex Online Conference.

Podsumowując moje drugie osiągnięcie naukowe, badania nad wykorzystaniem techniki ekstruzji w produkcji żywności funkcjonalnej wnoszą istotny wkład w rozwój dyscypliny technologia żywności i żywienia, przyczyniając się do poszerzenia wiedzy na temat wpływu parametrów procesowych na właściwości fizykochemiczne i sensoryczne produktów. Analiza nowych surowców, takich jak bioaktywne dodatki roślinne czy alternatywne źródła białka, umożliwia opracowanie innowacyjnych rozwiązań technologicznych zwiększających wartość odżywczą żywności. Ponadto, badania nad optymalizacją procesu ekstruzji pod kątem efektywności energetycznej i oszczędności surowców wspierają rozwój zrównoważonej produkcji żywności. Wyniki tych prac przyczyniają się do doskonalenia metod przetwórstwa oraz kreowania nowych trendów w projektowaniu żywności dostosowanej do zmieniających się potrzeb konsumentów, co wzmacnia złożony charakter nauki o żywności. Dzięki współpracy z wieloma naukowcami powstały interdyscyplinarne zespoły badawcze między jednostkami naukowymi, w tym m.in. z Instytutem Agrofizyki PAN, Uniwersytetem Medycznym w Lublinie i Uniwersytetem Rolniczym w Krakowie.

B. Opracowanie metod i parametrów suszenia wybranych surowców roślinnych w aspekcie kinetyki procesu i cech jakościowych suszu

Kolejnym obszarem badawczym mojej aktywności naukowej jest ocena metod i parametrów suszenia wybranych surowców roślinnych w aspekcie kinetyki procesu i cech jakościowych suszu. Owoce i warzywa, jako podstawowe elementy zbilansowanej diety, odgrywają kluczową rolę w zapewnieniu organizmowi człowieka cennych składników odżywczych. Ich wyjątkową wartość stanowi zawartość witamin, minerałów, błonnika, kwasów organicznych oraz związków o właściwościach antyoksydacyjnych. Niemniej jednak, ze względu na sezonowość i ograniczoną trwałość tych surowców, konieczne jest stosowanie odpowiednich metod ich konserwacji. Wśród technik utrwalania szczególne miejsce zajmuje suszenie, które zapewnia stabilność mikrobiologiczną, redukcję kosztów logistycznych i ułatwienie dalszego przetwarzania, np. rozdrabniania. Jednak intensywne ogrzewanie oraz procesy utleniania mogą negatywnie wpływać na jakość suszonego materiału. W związku z rosnącymi oczekiwaniami wobec jakości produktu oraz potrzebą ograniczenia energochłonności suszenie pozostaje obiektem intensywnych badań ukierunkowanych na jego optymalizację.

Suszenie sublimacyjne (лиофилізація) jest jedną z najskuteczniejszych metod zachowania bioaktywnych składników w produktach spożywczych, ale ze względu na wysokie koszty stosuje się je głównie do surowców o wysokiej wartości rynkowej. Alternatywnie, suszenie konwekcyjne, choć tańsze, prowadzi do większej degradacji jakości produktu. Wspomaganie suszenia mikrofalami może skrócić czas procesu, jednak wiąże się z ryzykiem nierównomiernego ogrzewania. Poprawę jakości suszu można osiągnąć poprzez odpowiednie przygotowanie surowca, np. blanszowanie lub dodatek przeciwutleniaczy. Modelowanie matematyczne odgrywa również kluczową rolę w optymalizacji procesu suszenia.

Bardzo interesującym i możliwym do szerokiej modyfikacji procesem przetwórczym jest opracowanie optymalnej metody odwadniania surowców roślinnych pozwalającej na uzyskanie koncentratu składników bioaktywnych z rozdrobnionego do postaci proszku suszu. Sproszkowane dodatki do żywności są coraz częściej wykorzystywane do jej wzbogacania, co wykazałam w głównym osiągnięciu naukowym. Fortyfikacja żywności to bardzo zaawansowana dziedzina inżynierii żywności. Ma na celu zbilansowanie profilu odżywczego produktu lub wyrównanie strat spowodowanych jego przetwarzaniem. Wzbogacanie żywności ma istotny wpływ na zdrowie

konsumentów, dlatego musi być starannie zaplanowane i wymaga odpowiedniego surowca. Prace badawcze z tego zakresu realizuję w Katedrze od wielu lat, w tym także w ramach zadania badawczego MINIATURA 3 (nr projektu: 2019/03/X/NZ9/00226, nr wewn.: TKP/PB/178), którego byłam kierownikiem. Zaproponowane w projekcie pt. „Odwodniony i sproszkowany por jako koncentrat substancji biologicznie czynnych: ocena termostabilności i profilu związków fenolowych” działania przyczyniły się do poszerzenia wiedzy na tematy termostabilności bioaktywnych związków zawartych w porze oraz pozwoliły na wybór optymalnej metody utrwalania tego surowca pod kątem możliwości otrzymania sproszkowanego pora. Dostarczenie wiedzy z tego zakresu pozwoliło na pełniejsze poznanie zmian, jakie zachodzą w aktywności związków bioaktywnych podczas różnych metod suszenia oraz przyczyniło się również do optymalizacji tego procesu. Umożliwiło opracowanie metody otrzymywania funkcjonalnego dodatku do żywności, który w późniejszym okresie był przetestowany jako składnik makaronu.

Wspólnie z naukowcami z innych ośrodków prowadzę w ramach obszaru **B** badania mające na celu opracowanie metod i parametrów suszenia, określenie wpływu zabiegów wstępnych na surowcu na przebieg procesu suszenia i analizowane cechy jakościowe suszu, analizę kinetyki suszenia sublimacyjnego, konwekcyjnego oraz konwekcyjno-mikrofalowego wraz z modelami empirycznymi oraz ocenę cech jakościowych suszu na przykładzie surowców, takich jak: morwa biała, seler, pszczelnik mołdawski, kiwi, truskawka, poziomka pospolita, por, cebula, rokitnik zwyczajny, papryka, lubczyk ogrodowy. Prace badawcze, w których uczestniczę jako członek zespołów złożonych z naukowców z różnych dziedzin, prowadzone są w celu rozwiązania problemów badawczych związanych nie tylko z samym procesem suszenia, ale także ze zmieniającymi się podczas obróbki właściwościami surowców oraz metodyką badań. Efektem tych działań są oryginalne prace twórcze i przeglądowe dotyczące m.in.:

- suszenia czerwonej papryki chili (*Capsicum annum L.*) i z zakresu: kinetyki procesu, zmiany barwy, zawartości karotenoidów i profilu związków fenolowych: Krzykowski A., Rudy S., Polak R., **Biernacka B.**, Krajewska A., Janiszewska-Turak E., Kowalska I., Żuchowski J., Skalski B., Dziki D. *Drying of red chili pepper (Capsicum annum L.): rocess kinetics, color changes, carotenoid content and phenolic profile*. Molecules (Basel,Online) 2024 Vol. 29 Iss. 21,
- wpływu temperatury suszenia konwekcyjnego i liofilizacji na kinetykę procesu i właściwości fizykochemiczne owoców morwy białej: Krzykowski A., Dziki D., Rudy S., Polak R., **Biernacka B.**, Gawlik-Dziki U., Janiszewska-Turak E. *Effect of air-drying and freeze-drying temperature on the process kinetics and physicochemical characteristics of white Mulberry Fruits (Morus alba L.)*. Processes 2023 Vol. 11 Iss. 3,
- wpływu procesu suszenia na rozdrabniałość i właściwości fizykochemiczne selera: Rudy S., Dziki D., **Biernacka B.**, Polak R., Krzykowski A., Krajewska A., Stanisławczyk R., Rudy M., Żurek J., Rudzki G. *Impact of drying process on grindability and physicochemical properties of celery*. Foods 2024 Vol. 13 Issue 16,
- charakterystyki suszenia liści pszczelnika mołdawskiego oraz analizy kinetyki suszenia i właściwości fizykochemicznych suszu: Rudy S., Dziki D., **Biernacka B.**, Krzykowski A., Rudy M., Gawlik-Dziki U., Kachel M. *Drying characteristics of Dracocephalum moldavica leaves: Drying kinetics and physicochemical properties*. Processes 2020 Vol. 8 Iss. 5,
- oceny wpływu warunków liofilizacji na właściwości fizykochemiczne i charakterystykę rozdrabniania kiwi: Domin M., Dziki D., Kłapsia S., Blicharz-Kania A., **Biernacka B.**, Krzykowski A. *Influence of the freeze-drying conditions on the physicochemical properties and grinding characteristics of Kiwi*. Int. J. Food Eng. (Print) 2020 Vol. 16 Issue 1-2 20180315,

- oceny kinetyki suszenia owoców poziomki pospolitej i cech jakościowych suszu: Krzykowski A., Dziki D., Rudy S., Gawlik-Dziki U., Janiszewska-Turak E., **Biernacka B.** *Wild strawberry Fragaria vesca L.: kinetics of fruit drying and quality characteristics of the dried fruits*. Processes 2020 Vol. 8 Iss. 10,
- wpływu rodzaju ekstrahenta na aktywność antyoksydacyjną suchych ekstraktów z owoców rokitnika zwyczajnego: Rudy S., Polak R., Dziki D., Krzykowski A., **Biernacka B.**, Leszczyński N., Rudy M. *Wpływ rodzaju ekstrahenta na aktywność antyoksydacyjną suchych ekstraktów z owoców rokitnika zwyczajnego (The effect of the extractant type on the antioxidant activity of dry sea buckthorn berries extracts)*. Przem. Chem. 2019 T. 98 Nr 10 s. 1597-1601,
- oceny wpływu warunków obróbki wstępnej i temperatury liofilizacji na kinetykę procesu i właściwości fizykochemiczne papryki: Krzykowski A., Dziki D., Rudy S., Gawlik-Dziki U., Polak R., **Biernacka B.** *Effect of pre-treatment conditions and freeze-drying temperature on the process kinetics and physicochemical properties of pepper*. Lebensm. - Wiss. Technol. 2018 Vol. 98 s. 25-30,
- analizy sposobu i parametrów suszenia owoców rokitnika (*Hippophae rhamnoides* L.) w aspekcie kinetyki procesu i wybranych cech jakościowych suszu: Krzykowski A., Dziki D., Polak R., Rudy S., **Biernacka B.** *Analiza sposobu i parametrów suszenia owoców rokitnika (Hippophae rhamnoides L.) w aspekcie kinetyki procesu i wybranych cech jakościowych suszu*. Zesz. Probl. Postęp. Nauk Rol. 2018 z. 593 s. 49-62,
- analizy kinetyki sublimacyjnego suszenia liści lubczyku ogrodowego: Polak R., Krzykowski A., Rudy S., **Biernacka B.**, Dziki D. *Analiza kinetyki sublimacyjnego suszenia liści lubczyku ogrodowego (Levisticum officinale Koch.)*. Zesz. Probl. Postęp. Nauk Rol. 2017 z. 591 s. 107-117,
- analizy procesu konwekcyjno-mikrofalowego suszenia plasterów cebuli: Krzykowski A., Rudy S., Polak R., Dziki D., **Biernacka B.**, Różyło R. *Analiza procesu konwekcyjno-mikrofalowego suszenia plasterów cebuli*. Motrol 2017 Vol. 19 No. 4 s. 55-58,
- wpływu parametrów suszenia sublimacyjnego na zmianę zawartości kwasu L askorbinowego i współrzędnych barwy suszu z liści lubczyka ogrodowego: Polak R., Krzykowski A., Rudy S., Dziki D., **Biernacka B.**, Różyło R. *Wpływ parametrów suszenia sublimacyjnego na zmianę zawartości kwasu L askorbinowego i współrzędnych barwy suszu z liści lubczyka ogrodowego (Levisticum officinale Koch.)*. Motrol 2017 Vol. 19 No. 4 s. 29-35,
- wpływu stopnia rozdrobnienia wybranych warzyw na proces konwekcyjnego suszenia i podatność uzyskanego suszu na rozdrabnianie: Dziki D., Hassoon W.H., **Biernacka B.**, Kozak P., Wójcik J. *Wpływ stopnia rozdrobnienia wybranych warzyw na proces konwekcyjnego suszenia i podatność uzyskanego suszu na rozdrabnianie*. Zesz. Probl. Postęp. Nauk Rol. 2016 z. 585 s. 55-63.

Warto nadmienić, iż wyniki z prowadzonych w ramach obszaru **B** prac badawczych zaprezentowane zostały w postaci wielu artykułów naukowych, których jestem współautorem oraz były prezentowane na wielu konferencjach naukowych o zasięgu krajowym, jak i międzynarodowym. Dzięki współpracy z wieloma naukowcami powstały interdyscyplinarne zespoły badawcze między jednostkami naukowymi, w tym m.in. z Uniwersytetem Rzeszowskim, SGGW w Warszawie i Uniwersytetem Medycznym w Lublinie.

C. Opracowanie nowatorskich technologii produkcji pieczywa funkcjonalnego, w tym bezglutenowego, wysokobiałkowego i niskowęglowodanowego.

Innym i ważnym obszarem badawczym mojej aktywności naukowej są badania nad pieczywem o specjalnych właściwościach, takich jak bezglutenowe, wysokobiałkowe i niskowęglowodanowe, które odpowiadają na różnorodne potrzeby żywieniowe, m.in. osób z nietolerancjami, sportowców i osób dbających o sylwetkę. Pieczywo funkcjonalne zyskało na znaczeniu w ostatnich latach dzięki rosnącej świadomości konsumentów na temat wpływu żywności na zdrowie. Jest to rodzaj żywności, która poza podstawowym zaspokajaniem głodu, dostarcza dodatkowych korzyści zdrowotnych dzięki wzbogaceniu w specyficzne składniki. W kontekście rosnącej świadomości zdrowotnej konsumentów opracowywanie technologii produkcji pieczywa funkcjonalnego, w tym odmian bezglutenowych, wysokobiałkowych i niskowęglowodanowych, stanowi jeden z najważniejszych kierunków badań i innowacji w branży spożywczej.

Pieczywo bezglutenowe stanowi odpowiedź na potrzeby osób cierpiących na celiakię i nietolerancję glutenu. Tradycyjny proces produkcji pieczywa opiera się na glutenie, który nadaje ciastu elastyczność i strukturalną integralność. Badania, w których uczestniczę w ramach tego obszaru, skupiają się między innymi na wykorzystywaniu alternatywnych surowców roślinnych, takich jak mąki z ryżu, kukurydzy, gryki, czy amarantusa do produkcji pieczywa. Kluczową innowacją jest zastosowanie hydrożeli polisacharydowych, białek roślinnych i enzymów, które poprawiają jakość sensoryczną i teksturę pieczywa bezglutenowego, często krytykowanego za kruchość i suchą konsystencję.

Pieczywo wysokobiałkowe to rodzaj pieczywa, które wyróżnia się wyższą zawartością białka w porównaniu do tradycyjnych wypieków, takich jak chleb pszenny czy żytni. Takie pieczywo jest popularne szczególnie wśród osób dbających o zdrowie, sportowców, osób na dietach wysokobiałkowych lub niskowęglowodanowych (np. ketogenicznej), a także tych, którzy chcą zwiększyć podaż białka w codziennej diecie. Zwykle pieczywo ma zazwyczaj 6–9 g białka na 100 g, podczas gdy pieczywo wysokobiałkowe może zawierać 20–30 g białka na 100 g. Źródła białka w takim pieczywie to m.in. białko serwatkowe, sojowe, grochowe, jajeczne czy gluten. W produkcji pieczywa wysokobiałkowego dużym wyzwaniem jest zachowanie równowagi między wysoką zawartością białka a teksturą i smakiem, które mogą być trudne do osiągnięcia przy dużym udziale białka. Aby zwiększyć udział białka często zmniejsza się zawartość mąki pszennej lub żytniej, a w zamian stosuje składniki niskowęglowodanowe, takie jak mąka migdałowa, kokosowa czy białka roślinne. Pieczywo wysokobiałkowe często zawiera dodatki, takie jak siemię lniane, nasiona chia, pestki dyni czy słonecznika, co podnosi wartość odżywczą i zawartość błonnika. W ramach badań w których uczestniczyłam była przeprowadzona produkcja pieczywa z dodatkiem białek roślinnych, np. z nasion roślin strączkowych (soja, groch, bób), oraz białek serwatkowych.

W kontekście popularności diet niskowęglowodanowych (low-carb) oraz ketogenicznych, pieczywo niskowęglowodanowe cieszy się dużym zainteresowaniem. Pieczywo niskowęglowodanowe to rodzaj pieczywa, który zawiera znacznie mniej węglowodanów niż tradycyjne wypieki, takie jak chleb pszenny czy żytni. Jest popularne wśród osób na dietach niskowęglowodanowych, ketogenicznych, cukrzyków oraz tych, którzy chcą ograniczyć spożycie cukrów i skrobi. Pieczywo niskowęglowodanowe zwykle zawiera mniej niż 10 g węglowodanów na 100 g. Do jego produkcji zamiast tradycyjnej mąki stosuje się mąki o niskiej zawartości węglowodanów, takie jak mąka migdałowa, kokosowa, czy z siemienia lnianego. Dodatek białka i tłuszczu zwiększa sytość dostarczając białek (np. z jajek, serwatki) i zdrowych tłuszczów (np. z orzechów, nasion). Natomiast

wysoka zawartość błonnika pomaga stabilizować poziom cukru we krwi. W zespole badawczym prowadzone są prace nad technologiami redukcji węglowodanów w pieczywie poprzez zastosowanie mąk o niskiej zawartości węglowodanów, takich jak mąka migdałowa, kokosowa, czy z nasion chia. Dodatek błonnika pokarmowego i substancji żelujących wspomaga strukturę pieczywa oraz jego wartość prozdrowotną.

W ramach mojej działalności w obszarze C prowadziłam badania dotyczące opracowania receptury na bułki pszenne z dodatkiem natki pietruszki. Prace nad recepturą były realizowane w siedzibie Piekarni Emark S.C. M.G. Juryccy, Stara Wieś Pierwsza 68. Dodatkowo w ramach tego obszaru badawczego został zrealizowany doktorat przez Pana Waleed Hameed Haasson, tytuł rozprawy doktorskiej: *„The study of wheat grinding process using different kinds of mills: A new approach for producing wholemeal flour”*, w którym byłam promotorem pomocniczym. Celem rozprawy doktorskiej było zbadanie procesu mielenia pszenicy przy użyciu różnych rodzajów młynów w kontekście nowego podejścia do produkcji mąki razowej. Produkcja mąki pełnoziarnistej znacznie wzrosła w ciągu ostatniej dekady ze względu na jej pozytywne korzyści zdrowotne. Mąka razowa zawiera więcej błonnika, witamin, minerałów i kwasów fenolowych niż mąka biała. Wielkość cząstek mąki razowej ma znaczący wpływ na jej właściwości funkcjonalne. Podczas mielenia pszenicy uzyskuje się wiele grubych cząstek otrębów. Duże cząstki otrębów negatywnie wpływają na jakość wypiekową mąki i dlatego nie są uwzględniane w procesie wypieku. We wspomnianej rozprawie doktorskiej zaproponowano produkcję mąki razowej bezpośrednio z ziarna o niskiej zawartości wilgoci. W szczególności zbadano wpływ zmniejszenia zawartości wilgoci w ziarnie za pomocą różnych metod odwadniania na mielenie pszenicy na mąkę razową przy użyciu różnych młynów. Ponadto zbadano również właściwości wyprodukowanej mąki. Kontynuacją badań z zakresu produkcji pieczywa funkcjonalnego, w których brałam udział jako członek zespołu badawczego, był wyjazd zrealizowany w ramach projektu z programu NAWA - Wymiana bilateralna naukowców pomiędzy Rzeczpospolitą Polską a Republiką Austrii o numerze KP-w/NAWA/4/2021(PPN/BAT/2021/1/00001) pt. „Mikronizowany błonnik z łuski owsianej jako dodatek do pieczywa wysokobłonnikowego bezglutenowego i pszennego - wpływ na właściwości chemiczne, fizyczne i funkcjonalne”, Universität für Bodenkultur (BOKU) in Vienna, (Department of Food Science and Technology, Institute of Food Technology), Wiedeń, Austria, 2 – 12 października 2022. Celem projektu oraz zrealizowanych badań było określenie wpływu dodatku mikronizowanej łuski owsa na jakość, właściwości przeciwutleniające i strawność skrobi pszennej. Dodatkowo przeprowadzono pomiary spektralne przy użyciu techniki spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR) w celu określenia wpływu dodatków na właściwości międzycząsteczkowe i konformacyjne powstałych produktów.

Wspólnie z naukowcami z innych ośrodków w ramach mojej działalności w obszarze C prowadzone były badania nad pieczywem o unikalnych właściwościach, takich jak wersje bezglutenowe, wysokobiałkowe czy niskowęglowodanowe, które odpowiadają na zróżnicowane potrzeby żywieniowe. W obliczu wzrostu zainteresowania zdrowym stylem życia, rozwój technologii produkcji pieczywa funkcjonalnego, w tym odmian bezglutenowych, wysokobiałkowych i niskowęglowodanowych, staje się jednym z kluczowych kierunków badań oraz innowacji w przemyśle spożywczym. Efektem tych działań są oryginalne prace twórcze dotyczące m.in.:

- charakterystyki spektroskopowej i fizykochemicznej innowacyjnego wysokobłonnikowego pieczywa pszennego wzbogaconego mikronizowanym owsem i łuskami babki jajowatej: Różyło R., Schönlechner R., Pichler E.C., Dziki D., Matwijczuk A., **Biernacka B.**, Świeca M. *Innovative*

- high-fiber wheat bread fortified with micronized oat and Plantago ovata husks: Spectroscopic and physicochemical characteristics*. Food Chem. 2023 Vol. 428 Article number 136782,
- możliwości zastosowania suszonych i sproszkowanych liści pietruszki jako funkcjonalnego dodatku do pieczywa pszennego: Dziki D., Hassoon W.H., **Biernacka B.**, Gawlik-Dziki U. *Dried and powdered leaves of parsley as a functional additive to wheat bread*. Appl. Sci.-Basel 2022 Vol. 12 Iss. 15 Article number 7930,
 - analizy procesu mielenia pszenicy o niskiej zawartości wilgoci: nowe podejście do produkcji mąki razowej: Hassoon W.H., Dziki D., Miś A., **Biernacka B.** *Wheat grinding process with low moisture content: a new approach for wholemeal flour production*. Processes 2021 Vol. 9 Iss. 1 Article number 32,
 - zastosowania czystka (*Cistus incanus L.*) jako innowacyjnego dodatku funkcjonalnego do pieczywa pszennego: Cacak-Pietrzak G., Różyło R., Dziki D., Gawlik-Dziki U., **Biernacka B.** *Cistus incanus L. as an innovative functional additive to wheat bread*. Foods 2019 Vol. 8(8) Article no. 349,
 - analizy wpływu pszczelnika mołdawskiego (*Dracocephalum moldavica L.*) na właściwości wypiekowe mąki pszennej i jakość pieczywa: Dziki D., Cacak-Pietrzak G., Gawlik-Dziki U., Sułek A., Kocira S., **Biernacka B.** *Effect of Moldavian dragonhead (Dracocephalum moldavica L.) leaves on the baking properties of wheat flour and quality of bread*. CYTA: Journal of Food 2019 Vol. 17 Issue 1 s. 536-543,
 - dodatku liofilizowanych owoców czarnego bzu i aronii jako naturalnych barwników do bezglutenowych wafli: Różyło R., Siastała M., Dziki D., **Biernacka B.**, Cacak-Pietrzak G., Gawłowski S., Zdybel A. *Freeze-dried elderberry and chokeberry as natural colorants for gluten-free wafer sheets*. Int. Agrophys. 2019 Vol. 33 Iss. 2 s. 217-225,
 - oceny jakości i składu mineralnego bezglutenowego pieczywa chrupkiego z liofilizowaną jeżyną: Różyło R., Wójcik M., **Biernacka B.**, Dziki D. *Gluten-free crispbread with freeze-dried blackberry: quality and mineral composition*. CYTA: Journal of Food 2019 Vol. 17 Issue 1 s. 841-849,
 - wpływu dodatku mieszaniny składników roślinnych na właściwości mechaniczne pieczywa pszennego: Wójcik M., Dziki D., **Biernacka B.**, Różyło R., Miś A., Hassoon W.A. *Effect of the addition of mixture of plant components on the mechanical properties of wheat bread*. Int. Agrophys. 2017 Vol. 31 No 4 s. 563-569,
 - oceny właściwości fizycznych i przeciwutleniających chleba bezglutenowego wzbogaconego błonnikiem chleba świętojańskiego: Różyło R., Dziki D., Gawlik-Dziki U., **Biernacka B.**, Wójcik M., Ziemichód A. *Physical and antioxidant properties of gluten-free bread enriched with carob fibre*. Int. Agrophys. 2017 Vol. 31 No. 3 s. 411-418,
 - zmiany właściwości fizycznych ciasta i pieczywa pszennego pod wpływem dodatku mąki z owsa czarnego: Wójcik M., Dziki D., Różyło R., **Biernacka B.**, Łysiak G., Al-Aridhee J. *Zmiany właściwości fizycznych ciasta i pieczywa pszennego pod wpływem dodatku mąki z owsa czarnego*. Acta Agrophys. 2017 Vol. 24 Nr 1 s. 163-172,
 - zmiany właściwości fizycznych chleba bezglutenowego pod wpływem dodatku suszonej lucerny: Różyło R., Dziki D., Ziemichód A., Siastała M., **Biernacka B.**, Łysiak G., Al-Aridhee J., Kulig R. *Zmiany właściwości fizycznych chleba bezglutenowego pod wpływem dodatku suszonej lucerny*. Zesz. Probl. Postęp. Nauk Rol. 2016 z. 585 131-139.

Badania w obszarze C przyczyniają się do rozwoju sektora spożywczego, wspierając produkcję żywności odpowiadającej na współczesne wyzwania prozdrowotne i dietetyczne. Oryginalne prace oraz receptury mają zastosowanie w przemyśle piekarniczym, przyczyniając się do poprawy jakości życia konsumentów. Wyniki z prowadzonych w ramach obszaru C prac badawczych zaprezentowane zostały w postaci wielu artykułów naukowych, których jestem współautorem oraz były prezentowane na wielu konferencjach naukowych o zasięgu krajowym, jak i międzynarodowym. Dzięki współpracy z wieloma naukowcami powstały interdyscyplinarne zespoły badawcze między jednostkami naukowymi, w tym m.in. z University of Al-Qasim Green w Babilonie, BOKU-University of Natural Resources and Life Sciences w Wiedniu, SGGW w Warszawie, Instytutem Agrofizyki PAN w Lublinie, IUNG w Puławach.

4.7. Literatura

1. Armellini, R. *et al.* (2019) 'In vitro starch digestibility and fate of crocins in pasta enriched with saffron extract', *Food Chemistry*, 283, pp. 155–163. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.01.041.
2. Arshad, M. S. *et al.* (2017) 'Wheat Antioxidants, Their Role in Bakery Industry, and Health Perspective', in *Wheat Improvement, Management and Utilization*. InTech. doi: 10.5772/67276.
3. Arts, I. C. and Hollman, P. C. (2005) 'Polyphenols and disease risk in epidemiologic studies', *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(1), pp. 317S-325S. doi: 10.1093/ajcn/81.1.317S.
4. Bianchi, F. *et al.* (2021) 'Technological, nutritional and sensory properties of pasta fortified with agro-industrial by-products: a review', *International Journal of Food Science & Technology*, 56(9), pp. 4356–4366. doi: 10.1111/ijfs.15168.
5. Biernacka, B. *et al.* (2017) 'Physical, sensorial, and antioxidant properties of common wheat pasta enriched with carob fiber', *Lwt*, 77, pp. 186–192. doi: 10.1016/j.lwt.2016.11.042.
6. Biernacka, B. *et al.* (2018) 'Relationship between the properties of raw and cooked spaghetti - New indices for pasta quality evaluation', *International Agrophysics*, 32(2). doi: 10.1515/intag-2017-0012.
7. Biernacka, B. *et al.* (2020) 'Banana powder as an additive to common wheat pasta', *Foods*, 9(1), pp. 1–12. doi: 10.3390/foods9010053.
8. Biernacka, B. *et al.* (2021) 'Common wheat pasta enriched with cereal coffee: Quality and physical and functional properties', *LWT*, 139, p. 110516. doi: 10.1016/j.lwt.2020.110516.
9. Bustos, M. C., Paesani, C., *et al.* (2019) 'Technological and sensorial quality of berry-enriched pasta', *Cereal Chemistry*, 96(5), pp. 967–976. doi: 10.1002/cche.10201.
10. Bustos, M. C., Ramos, M. I., *et al.* (2019) 'Utilization of Kañawa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) Flour in Pasta Making', *Journal of Chemistry*, 2019, pp. 1–8. doi: 10.1155/2019/4385045.
11. Bustos, M. C., Perez, G. T. and Leon, A. E. (2015) 'Structure and quality of pasta enriched with functional ingredients', *RSC Advances*, 5(39), pp. 30780–30792. doi: 10.1039/C4RA11857J.
12. Cárdenas-Hernández, A. *et al.* (2016) 'Improved functional properties of pasta: Enrichment with amaranth seed flour and dried amaranth leaves', *Journal of Cereal Science*, 72, pp. 84–90. doi: 10.1016/j.jcs.2016.09.014.
13. Chang, S. K., Alasalvar, C. and Shahidi, F. (2016) 'Review of dried fruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health benefits', *Journal of Functional Foods*, 21, pp. 113–132. doi: 10.1016/j.jff.2015.11.034.

14. Chusak, C. *et al.* (2020) 'Effect of gac fruit (*Momordica cochinchinensis*) powder on in vitro starch digestibility, nutritional quality, textural and sensory characteristics of pasta', *LWT*, 118, p. 108856. doi: 10.1016/j.lwt.2019.108856.
15. Cory, H. *et al.* (2018) 'The Role of Polyphenols in Human Health and Food Systems: A Mini-Review', *Frontiers in Nutrition*, 5. doi: 10.3389/fnut.2018.00087.
16. Djeukeu, W. A. *et al.* (2017) 'Effect of dried yam flour (*Dioscorea schimperiana*) on cooking quality, digestibility profile and antioxidant potential of wheat based pasta', *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(3), pp. 1421–1429. doi: 10.1007/s11694-017-9521-6.
17. Duda, A. *et al.* (2019) 'Quality and Nutritional/Textural Properties of Durum Wheat Pasta Enriched with Cricket Powder', *Foods*, 8(2), p. 46. doi: 10.3390/foods8020046.
18. Dziki, D. (2021) 'Current Trends in Enrichment of Wheat Pasta: Quality, Nutritional Value and Antioxidant Properties', *Processes*, 9(8), p. 1280. doi: 10.3390/pr9081280.
19. Fuad, T. and Prabhasankar, P. (2010) 'Role of Ingredients in Pasta Product Quality: A Review on Recent Developments', *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(8), pp. 787–798. doi: 10.1080/10408390903001693.
20. Garbetta, A. *et al.* (2020) 'Inulin enriched durum wheat spaghetti: Effect of polymerization degree on technological and nutritional characteristics', *Journal of Functional Foods*, 71, p. 104004. doi: 10.1016/j.jff.2020.104004.
21. Gupta, A., Sharma, S. and Reddy Surasani, V. K. (2021) 'Quinoa protein isolate supplemented pasta: Nutritional, physical, textural and morphological characterization', *LWT*, 135, p. 110045. doi: 10.1016/j.lwt.2020.110045.
22. Javid Iqbal, M., Shams, N. and Fatima, K. (2022) 'Nutritional Quality of Wheat', in *Wheat*. IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.104659.
23. Kolarič, L. *et al.* (2020) 'Pasta noodles enriched with sweet potato starch: Impact on quality parameters and resistant starch content', *Journal of Texture Studies*, 51(3), pp. 464–474. doi: 10.1111/jtxs.12489.
24. Li, Y.O.; Komarek, A.R. Dietary fibre basics: Health, nutrition, analysis, and applications. *Food Qual. Saf.* 2017, 1, 47–59.
25. Lisiecka, K. *et al.* (2019) 'The influence of *Cistus incanus* L. leaves on wheat pasta quality', *Journal of Food Science and Technology*, 56(9), pp. 4311–4322. doi: 10.1007/s13197-019-03900-9.
26. Littardi, P. *et al.* (2020) 'Quality evaluation of chestnut flour addition on fresh pasta', *LWT*, 126, p. 109303. doi: 10.1016/j.lwt.2020.109303.
27. Loi, M. *et al.* (2020) 'Plant Bioactive Compounds in Pre- and Postharvest Management for Aflatoxins Reduction', *Frontiers in Microbiology*, 11. doi: 10.3389/fmicb.2020.00243.
28. Lucas-González, R. *et al.* (2021) 'Evaluation of polyphenol bioaccessibility and kinetic of starch digestion of spaghetti with persimmon (*Diospyros kaki*) flours coproducts during in vitro gastrointestinal digestion', *Food Chemistry*, 338, p. 128142. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.128142.
29. Marinelli, V. *et al.* (2018) 'Red Grape Marc Flour as Food Ingredient in Durum Wheat Spaghetti: Nutritional Evaluation and Bioaccessibility of Bioactive Compounds', *Food Science and Technology Research*, 24(6), pp. 1093–1100. doi: 10.3136/fstr.24.1093.
30. Melini, V., Melini, F. and Acquistucci, R. (2020) 'Phenolic Compounds and Bioaccessibility Thereof in Functional Pasta', *Antioxidants*, 9(4), p. 343. doi: 10.3390/antiox9040343.

31. Michalak-Majewska, M. *et al.* (2020) 'Influence of onion skin powder on nutritional and quality attributes of wheat pasta', *PLOS ONE*. Edited by A. A. Koronowicz, 15(1), p. e0227942. doi: 10.1371/journal.pone.0227942.
32. Minarovičová, L. *et al.* (2018) 'Qualitative properties of pasta enriched with celery root and sugar beet by-products', *Czech Journal of Food Sciences*, 36(1), pp. 66–72. doi: 10.17221/242/2017-CJFS.
33. Monteiro, M. L. G. *et al.* (2016) 'Nutritional Profile and Chemical Stability of Pasta Fortified with Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Flour', *PLOS ONE*. Edited by D. Breviario, 11(12), p. e0168270. doi: 10.1371/journal.pone.0168270.
34. Nilusha, R. A. T. *et al.* (2019) 'Development of Pasta Products with Nonconventional Ingredients and Their Effect on Selected Quality Characteristics: A Brief Overview', *International Journal of Food Science*, 2019, pp. 1–10. doi: 10.1155/2019/6750726.
35. Oliviero, T. and Fogliano, V. (2016) 'Food design strategies to increase vegetable intake: The case of vegetable enriched pasta', *Trends in Food Science & Technology*, 51, pp. 58–64. doi: 10.1016/j.tifs.2016.03.008.
36. Padalino, L. *et al.* (2017) 'Functional pasta with tomato by-product as a source of antioxidant compounds and dietary fibre', *Czech Journal of Food Sciences*, 35(1), pp. 48–56. doi: 10.17221/171/2016-CJFS.
37. Padalino, L. *et al.* (2019) 'Extract of *Salicornia europaea* in fresh pasta to enhance phenolic compounds and antioxidant activity', *International Journal of Food Science & Technology*, 54(11), pp. 3051–3057. doi: 10.1111/ijfs.14218.
38. Panghal, A. *et al.* (2019) 'Nutritional, phytochemical, functional and sensorial attributes of *Syzygium cumini* L. pulp incorporated pasta', *Food Chemistry*, 289, pp. 723–728. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.03.081.
39. Pasqualone, A. *et al.* (2017) 'Enrichment of fresh pasta with antioxidant extracts obtained from artichoke canning by-products by ultrasound-assisted technology and quality characterisation of the end product', *International Journal of Food Science & Technology*, 52(9), pp. 2078–2087. doi: 10.1111/ijfs.13486.
40. Piwińska, M. *et al.* (2016) 'Effect of oat β -glucan fiber powder and vacuum-drying on cooking quality and physical properties of pasta', *CyTA - Journal of Food*, 14(1), pp. 101–108. doi: 10.1080/19476337.2015.1052987.
41. Rekha, M. N. *et al.* (2013) 'Influence of vegetable purees on quality attributes of pastas made from bread wheat (*T. aestivum*)', *CyTA - Journal of Food*, 11(2), pp. 142–149. doi: 10.1080/19476337.2012.708881.
42. 'Scientific Opinion on Dietary Reference Values for carbohydrates and dietary fibre' (2010) *EFSA Journal*, 8(3). doi: 10.2903/j.efsa.2010.1462.
43. Sęczyk, Ł. *et al.* (2016) 'Effect of fortification with parsley (*Petroselinum crispum* Mill.) leaves on the nutraceutical and nutritional quality of wheat pasta', *Food Chemistry*, 190, pp. 419–428. doi: 10.1016/j.foodchem.2015.05.110.
44. Simonato, B. *et al.* (2019) 'Pasta fortification with olive pomace: Effects on the technological characteristics and nutritional properties', *LWT*, 114, p. 108368. doi: 10.1016/j.lwt.2019.108368.
45. Slavin, J. (2003) 'Why whole grains are protective: biological mechanisms', *Proceedings of the Nutrition Society*, 62(1), pp. 129–134. doi: 10.1079/PNS2002221.
46. SLAVIN, J. L. *et al.* (2001) 'The Role of Whole Grains in Disease Prevention', *Journal of the American Dietetic Association*, 101(7), pp. 780–785. doi: 10.1016/S0002-8223(01)00194-8.

47. Soliman, G. A. (2019) 'Dietary Fiber, Atherosclerosis, and Cardiovascular Disease', *Nutrients*, 11(5), p. 1155. doi: 10.3390/nu11051155.
48. Teterycz, D. et al. (2020) 'Legume flour as a natural colouring component in pasta production', *Journal of Food Science and Technology*, 57(1), pp. 301–309. doi: 10.1007/s13197-019-04061-5.
49. Tolve, R. et al. (2020) 'Effect of Grape Pomace Addition on the Technological, Sensory, and Nutritional Properties of Durum Wheat Pasta', *Foods*, 9(3), p. 354. doi: 10.3390/foods9030354.
50. Vimercati, W. C. et al. (2020) 'Influence of drying temperature on drying kinetics, energy consumption, bioactive compounds and cooking quality of pasta enriched with spinach', *Journal of Food Process Engineering*, 43(12). doi: 10.1111/jfpe.13571.
51. Vital, A. C. P. et al. (2020) 'Use of asparagus flour from non-commercial plants (residue) for functional pasta production', *Journal of Food Science and Technology*, 57(8), pp. 2926–2933. doi: 10.1007/s13197-020-04324-6.
52. Wojtunik-Kulesza, K. et al. (2020) 'Influence of In Vitro Digestion on Composition, Bioaccessibility and Antioxidant Activity of Food Polyphenols—A Non-Systematic Review', *Nutrients*, 12(5), p. 1401. doi: 10.3390/nu12051401.
53. Ye, L. et al. (2023) 'The Role of Gluten in Food Products and Dietary Restriction: Exploring the Potential for Restoring Immune Tolerance', *Foods*, 12(22), p. 4179. doi: 10.3390/foods12224179.
54. Zardetto, S. and Dalla Rosa, M. (2006) 'Study of the effect of lamination process on pasta by physical chemical determination and near infrared spectroscopy analysis', *Journal of Food Engineering*, 74(3), pp. 402–409. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2005.03.029.
55. Zhang, Y.-J. et al. (2015) 'Antioxidant Phytochemicals for the Prevention and Treatment of Chronic Diseases', *Molecules*, 20(12), pp. 21138–21156. doi: 10.3390/molecules201219753.
56. Zheng, Z. et al. (2016) 'Structural properties and digestion of green banana flour as a functional ingredient in pasta', *Food & Function*, 7(2), pp. 771–780. doi: 10.1039/C5FO01156F.

5. INFORMACJA O WYKAZYWANIU SIĘ ISTOTNĄ AKTYWNOŚCIĄ NAUKOWĄ ALBO ARTYSTYCZNĄ REALIZOWANĄ W WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI, INSTYTUCJI NAUKOWEJ LUB INSTYTUCJI KULTURY, W SZCZEGÓLNOŚCI ZAGRANICZNEJ

Rozwój naukowy to także współpraca. Współpraca między uczelniami, instytutami, centrami badawczymi. To tworzenie interdyscyplinarnych zespołów badawczych, które są w stanie prowadzić złożone, kompleksowe badania nad rozwiązaniem danego problemu badawczego. To wzajemne wspieranie się i dzielenie wiedzą oraz doświadczeniem.

W trakcie ostatnich lat wiele badań prowadziłam w ścisłej współpracy z naukowcami z różnych uczelni. Efektem tej współpracy są powstałe i opisanie m.in. w jednotematycznym cyklu publikacje wydane w renomowanych czasopismach o zasięgu międzynarodowym. Poniżej lista głównych jednostek naukowych, z którymi na przestrzeni ostatnich lat podjęłam współpracę naukową:

Jednostki krajowe: Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie, Uniwersytet Medyczny w Lublinie, SGGW w Warszawie, IUNG w Puławach, Politechnika Białostocka, Uniwersytet Rzeszowski, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie.

Jednostki zagraniczne: University of Al-Qasim Green (Irak), BOKU-University of Natural Resources and Life Sciences (Austria).

5.1. Odbyte staże, badania naukowe i szkolenia praktyczne w instytucjach naukowych lub artystycznych, w tym zagranicznych, z podaniem miejsca, terminu, czasu trwania stażu i jego charakteru

Staż naukowy

- IUNG – Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Uprawy Roślin Zbożowych
Okres uczestnictwa: **08.07.2019 – 19.08.2019 r.**

Zakres stażu obejmował realizację badań naukowych w zakresie uprawy zbóż, analizę warunków agrotechnicznych i ich wpływu na plonowanie zbóż oraz dotyczących poprawy plonowania i jakości zbóż. Dodatkowo prowadziłam analizę jakości zbóż, obejmującą parametry takie jak zawartość białka, skład mineralny, oraz wartości technologiczne, np. jakość ziarna do wypieku oraz opracowanie i testowanie technologii poprawiających jakość zbóż, w tym metod biologicznych i precyzyjnych technik rolniczych.

Badania naukowe

- Instytut Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego PAN w Lublinie, Laboratorium Oceny Jakości Surowców Zbożowych
Okres uczestnictwa: **01.03.2024 – 30.06.2024 r.**

Prowadziłam badania dotyczące oddziaływań dodatków roślinnych z mąką pszenną podczas wytwarzania ciasta, co pozwoliło na wyjaśnienie zmian właściwości reologicznych ciasta na skutek wybranych dodatków roślinnych oraz analizę oddziaływania między dodatkiem funkcjonalnym, będącym źródłem związków fenolowych, a składnikami mąki pszennej podczas wzbogacania żywności (wpływ dodatku na zawartość związków fenolowych i aktywność przeciwutleniająca produktów zbożowych, takich jak makaron czy pieczywo). Efektem tych badań jest praca: **Biernacka B.**, Dziki D., Piekut J., Nawrocka A. 2025, *Effect of varied addition of freeze-dried strawberry powder on selected quality parameters of common wheat pasta*. DOI: <https://doi.org/10.31545/intagr/197359>, Int. Agrophys. 2025, 39(2): 125-134.

Szkolenie praktyczne

- Universitat Politecnica de Valencia ETSIAMN - Relaciones Internacionales, Walencja
Okres uczestnictwa: **18.11.2019 – 22.11.2019 r.**

Wyjazd szkoleniowy pracowników (STT – Staff Mobility for Training) w ramach programu Erasmus+, 19th STP Valencia Languages & IT Training for University Staff. Głównym celem tygodniowego wyjazdu w ramach programu Erasmus+ było uczestnictwo w intensywnym kursie języka angielskiego na różnych poziomach zaawansowania, zwiększenie

mobilności personelu uniwersyteckiego oraz poznanie innowacyjnych metod praktycznego nauczania.

- Atlantic Language School, Galway,
Okres uczestnictwa: **19.07.2021 – 23.07.2021 r.**

Wyjazd szkoleniowy pracowników (STT – Staff Mobility for Training) w ramach programu Erasmus+, Atlantic Language School, Galway, Academic Writing and Presentation Skills. Głównym celem tygodniowego wyjazdu w ramach programu Erasmus+ było uczestnictwo w intensywnym kursie: „Academic Writing and Presentation Skills”. Kurs ten, koncentrował się na rozwijaniu umiejętności pisania wymaganych zarówno do publikowania, jak i prezentowania materiałów akademickich w umiędzynarodowionych instytucjach edukacyjnych.

- Universität für Bodenkultur (BOKU) in Vienna, (Department of Food Science and Technology, Institute of Food Technology), Wiedeń,
Okres uczestnictwa: **02.10.2022 – 12.10.2022 r.**

Jako członek zespołu B+R w ramach realizacji projektu pt.: „Mikronizowany błonnik z łuski owsianej jako dodatek do pieczywa wysokobłonnikowego bezglutenowego i pszennego - wpływ na właściwości chemiczne, fizyczne i funkcjonalne” w ramach Programu „**Współpraca i wymiana międzynarodowa – Wspólne projekty badawcze między Polską a Austrią**”, uczestniczyłam w szkoleniu i badaniach naukowym na Uniwersytecie w Wiedniu. Wyjazd naukowy zrealizowany w ramach projektu z NAWA - Wymiana bilateralna naukowców pomiędzy Rzeczpospolitą Polską a Republiką Austrii o numerze KP-w/NAWA/4/2021(PPN/BAT/2021/1/00001). W trakcie pobytu przeprowadzone zostały badania właściwości ciasta pszennego i bezglutenowego oraz pieczywa o podwyższonej zawartości błonnika. Efektem tej współpracy jest artykuł, którego jestem współautorem: Różyło R., Schönlechner R., Pichler E.C., Dziki D., Matwijczuk A., **Biernacka B.**, Świeca M. *Innovative high-fiber wheat bread fortified with micronized oat and Plantago ovata husks: Spectroscopic and physicochemical characteristics*. Food Chem. 2023 Vol. 428. Dodatkowo wyniki przeprowadzonych badań zostały zaprezentowane na konferencji: Różyło R., Schönlechner R., Pichler E.C., Dziki D., Matwijczuk A., **Biernacka B.**, Świeca M. *Wykorzystanie mikronizowanej łuski owsianej do wytwarzania wysokobłonnikowego pieczywa pszennego*. W: VII Sympozjum Inżynierii Żywności, Warszawa 29-30 czerwca 2022. Warszawa, b.w.

- Malta University Language School, Campus Hub, Block O, Level 6, University of Malta, Tal-Qroqq, Msida,
Okres uczestnictwa: **10.07.2023 – 14.07.2023 r.**

Wyjazd szkoleniowy pracowników (STT – Staff Mobility for Training) w ramach programu Erasmus+, Malta University Language School, Campus Hub, Block O, Level 6, University of Malta, Tal-Qroqq, Msida, English Language Development And Digital Skills For Teachers And Staff Working In Schools. Głównym celem wyjazdu w ramach programu

Erasmus+ było uczestnictwo w tygodniowym kursie skierowanym do nauczycieli i innych pracowników szkół „English Language Development And Digital Skills For Teachers And Staff Working In Schools”, którzy chcą poprawić swoje umiejętności językowe.

- Maksima Training Centre In Cooperation With Pappagallo Foreign Language School, Split, Croatia
Okres uczestnictwa: **19.08.2024 – 23.08.2024 r.**

Wyjazd szkoleniowy pracowników (STT – Staff Mobility for Training) w ramach programu Erasmus+, Maksima Training Centre In Cooperation With Pappagallo Foreign Language School, Split, Croatia „Explore the world of Artificial Intelligence & ChatGPT for Teachers”. Głównym celem wyjazdu w ramach programu Erasmus+ było uczestnictwo w tygodniowym kursie „Explore the world of Artificial Intelligence & ChatGPT for Teachers” skierowanym do nauczycieli i innych pracowników szkół, którzy chcą odkrywać i wykorzystywać nowe narzędzia i strategie AI w celu ułatwienia nauczania i zdobycia nowych pomysłów.

5.2. Opis pozostałych osiągnięć naukowych lub artystycznych – dorobek naukowy

Dorobek naukowy Wnioskodawcy (wraz z cyklem 8 publikacji wykazanych w osiągnięciu głównym) obejmuje **84 publikacje** (stan na 05.01.2025 r.), w tym:

- **53** oryginalnych publikacji i prac twórczych (39 opublikowane w czasopismach z listy JCR),
- **30** materiałów konferencyjnych,
- **1** inne.

Łącznie za wszystkie publikacje uzyskałam **3 453 punktów MEiN**, z tego **3 335 punktów MEiN** za prace z listy JCR. W tym cykl 8 publikacji wykazanych w osiągnięciu głównym ma łącznie **830 punktów i Impact Factor 31,583**. Przed uzyskaniem stopnia doktora uzyskałam **60 punktów MEiN** za łączny dorobek naukowy. Łączny wskaźnik **Impact Factor** (zgodny z rokiem wydania publikacji) wynosi **111,606** (z czego po uzyskaniu stopnia doktora **110,892**). Moja aktywność publikacyjna znacząco wzrosła po uzyskaniu stopnia doktora, gdyż ponad **98,26%** punktów MEiN oraz **99,36%** sumarycznego **IF** osiągnęłam w trakcie ostatnich 9 lat pracy, kiedy otrzymałam status pracownika uczelni.

Łączna liczba cytowań i Indeks Hirscha (IH) wynosi:

wg bazy **Web of Science Core Collection**:

326 (306 bez autocytowań), **IH=11** (przed doktoratem IH=0)

wg bazy **Scopus**:

402 (366 bez autocytowań), **IH=12** (przed doktoratem IH=0).

W mojej dotychczasowej pracy naukowej skupiam się na interdyscyplinarnym podejściu do badań, które odpowiadają na potrzeby poszukiwania innowacyjnych rozwiązań naukowych z praktycznym zastosowaniem, przy jednoczesnym wykorzystaniu nowoczesnych technik i metod analitycznych. Szczególną uwagę poświęcam analizie i ocenie wybranych właściwości

fizykochemicznych oraz cech jakościowych makaronów fortifikowanych dodatkami pochodzenia roślinnego. Dotychczas opublikowane prace obejmują kluczowe zagadnienia badawcze, będące odpowiedzią na potrzeby sektora przemysłowego i aplikacyjnego, a także uwzględniające aktualne trendy rynkowe i społeczne. Poruszane tematy cechuje innowacyjność oraz praktyczne znaczenie, co pozwala na rozwijanie nowych kierunków badań i wdrażanie rozwiązań w przemyśle spożywczym.

5.3. Liczbowe zestawienie dorobku publikacyjnego

L.p.	Wyszczególnienie ¹	Przed uzyskaniem stopnia doktora		Po uzyskaniu stopnia doktora		Razem	
Oryginalne prace twórcze:		Liczba publikacji	Punkty MEiN ² / IF	Liczba publikacji	Punkty MEiN ² / IF	Liczba publikacji / materiałów	Punkty MEiN ² / IF
1.	Publikacje z IF ³	1	20/0,714	38	3 315/110,892	39	3 335/111,606
2.	Publikacje bez IF ⁴	7	40/-	7	78/-	14	118/-
3.	Doniesienia konferencyjne	5	0/-	25	0/-	30	0/-
4.	Inne	1	0/-	0	0/-	1	0/-
Razem:		14	60	70	3 393	84	3 453
			0,714		110,892		111,606

IF – wskaźnik Impact Factor

¹Stan na dzień 05.01.2025 r

²Punktacja MEiN zgodnie z rokiem wydania, dla czasopism sprzed roku 2004 stosowano punktację KBN 1998-2003

³Lista A MEiN do 31.12.2018 r i Lista MEiN od dnia 1.01.2019 r

⁴Lista B MEiN do 31.12.2018 r

5.4. Uczestnictwo w pracach zespołów badawczych realizujących projekty i tematy finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych, zlecone usługi B+R, najważniejsze konferencje naukowe

Uczestnictwo w projektach badawczych jako kierownik po uzyskaniu stopnia doktora (zakończone):

L.p.	Numer umowy	Wyszczególnienie
1.	TTC/MN/1 2017	Temat badawczy w ramach wewnętrznego konkursu na finansowanie badań naukowych służących rozwojowi młodych naukowców w Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie , tytuł tematu: „Badania wpływu sproszkowanych dodatków pochodzenia roślinnego na właściwości fizykochemiczne makaronów” Projekt realizowany w okresie: 01.05.2017 – 30.04.2018 Wartość projektu: 2 293,65 PLN
2.	TKP/MN/4 2018	Temat badawczy w ramach wewnętrznego konkursu na finansowanie badań naukowych służących rozwojowi młodych naukowców w Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie , tytuł tematu: „Zmiany właściwości fizycznych makaronów wzbogaconych dodatkiem suszonych ziół i poddanych obróbce hydrotermicznej” Projekt realizowany w okresie: 10.08.2018 – 09.08.2019 Wartość projektu: 1 749,43 PLN
3.	MINIATURA 3 2019/03/X/NZ9/00226	Zadanie badawcze finansowane przez Narodowe Centrum Nauki , pt. „Odwodniony i sproszkowany por jako koncentrat substancji biologicznie czynnych: ocena termostabilności i profilu związków fenolowych” Projekt realizowany w okresie: 06.11.2019 – 05.11.2020 Wartość projektu: 26 224,00 PLN
4.	TKP/MN/- 1/IMECH/21	Temat badawczy w ramach wewnętrznego konkursu na finansowanie badań naukowych służących rozwojowi młodych naukowców w Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie , tytuł tematu: „Analiza procesu suszenia i rozdrabniania owoców truskawki w aspekcie pozyskania funkcjonalnego dodatku do żywności” Projekt realizowany w okresie: 01.05.2021 – 30.04.2022 Wartość projektu: 3 930,00 PLN

Uczestnictwo w projektach badawczych jako członek zespołu B+R po uzyskaniu stopnia doktora (zakończone)

L.p.	Numer umowy	Wyszczególnienie
1.	LIDER/29/0158/L-10/18/NCBR/2019	Projekt badawczy dofinansowany z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, projekt realizowany przez Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie pn. „Opracowanie kompleksowej technologii uzyskania wysokiej jakości przekąsek ekstrudowanych na bazie surowców roślinnych i zwierzęcych o minimalnym stopniu przetworzenia” Projekt realizowany w okresie: 01.01.2020 – 30.06.2023 Wartość projektu: 1 499 887,50 PLN
2.	KP-w/NAWA/4/2021 (PPN/BAT/2021/1/00001)	Projekt pt.: „Mikronizowany błonnik z łuski owsianej jako dodatek do pieczywa wysokobłonnikowego bezglutenowego i pszennego - wpływ na właściwości chemiczne, fizyczne i funkcjonalne” w ramach Programu „ Współpraca i wymiana międzynarodowa – Wspólne projekty badawcze między Polską a Austrią ” (jednostka nadzorująca: NAWA) Projekt realizowany w okresie: 01.01.2022 – 31.12.2023 Wartość projektu: 24 700,00 PLN
3.	POIR.02.01.00-00-0017/18	Projekt „Powstanie Innowacyjnego Centrum Badawczo Rozwojowego firmy Millbery” Projekt realizowany w okresie: 01.04.2022 – 31.07.2024 Wartość projektu: 29 038 860,00 PLN

Najważniejsze konferencje naukowe

L.p.	Data	Nazwa konferencji / miejsce	Temat prezentacji/postera
1.	17 – 20.09.2024	XXI Konferencja Naukowo-Techniczna Budowa i Eksploatacja Maszyn Przemysłu Spożywczego „BEMS 2024”, Janów Podlaski	Właściwości fizyczne i cechy jakościowe makaronów fortyfikowanych dodatkiem owoców i warzyw
2.	01 – 03.07.2024	VIII Symposium Inżynierii Żywności, SGGW Warszawa	Wybrane właściwości fizykochemiczne makaronów z dodatkiem liofilizowanej truskawki
3.	06 – 07.06.2024	XI Konferencja Naukowa "INNOWACJE W PRAKTYCE", Lublin	Wybrane właściwości pelletów przekąskowych z dodatkiem kielków
4.	19 – 23.09.2023	XXIII Ogólnopolska Konferencja Naukowa "POSTĘP W INŻYNIERII PRODUKCJI", Zamość	Właściwości fizykochemiczne makaronów wzbogaconych zmikronizowaną łuską owsianą

5.	20 – 23.09.2022	XX Konferencja Naukowo-Techniczna Budowa i Eksploatacja Maszyn Przemysłu Spożywczego „BEMS 2022”, Pułtusk	Właściwości fizykochemiczne makaronów wzbogaconych suszonym porem
6.	20 – 21.06.2022	9 th International Conference on Food Pathogen and Food Safety, Paryż	Selected aspects of the use of sprouted seeds in food production
7.	25.10.2021	World Congress on Food Safety and Nutrition Science Conference, Food Safety 2021	The influence of the curly kale addition on selected properties of extruded pellets and expanded snacks
8.	08 – 11.09.2020	XIX Konferencja Naukowo-Techniczna BEMS 2020, Mikołajki – Stare Sady	Właściwości fizykochemiczne i sensoryczne makaronów wzbogaconych dodatkiem kawy zbożowej
9.	17 – 19.09.2018	12 th International Conference on Agrophysics: Soil, Plant&Climate, Lublin	The changes of the properties of pasta during cooking and short-time storage
10.	25 – 27.10.2017	9 th International Congress FLOUR-BREAD '17: 11 th Croatian Congress of Cereal Technologists "Brašno-Kruh'17", Opatija	The changes of the cooked pasta texture during storage
11.	26 – 28.09.2016	ICA 2016, 11 th International Conference on Agrophysics: Soil, Plant & Climate, Lublin	Relations between raw and cooked properties of pasta-new indices for quality evaluation

5.5. Patenty i wzory użytkowe

Jestem współautorem zgłoszenia patentowego: *Pellety ekstrudowane oraz sposób wytwarzania pelletów ekstrudowanych*, **P.441650** (BUP 31/2023, str. 5). Procedura w toku.

6. INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ LUB SZTUKĘ**6.1. Promotorstwo prac inżynierskich i magisterskich**1. Promotorstwo pracy magisterskiej:

1. **Stoma Wiktoria** (2024) – tytuł pracy: *Analiza możliwości realizacji eventu promującego żywność funkcjonalną.*
2. **Ciupak Nina** (2023) – tytuł pracy: *Analiza preferencji konsumentów na przykładzie słonej przekąski z dodatkiem czarnuszki.*
3. **Dworak Agata** (2023) – tytuł pracy: *Analiza preferencji konsumentów na temat nowego produktu - słodkiej przekąski wzbogaconej zieloną kawą.*
4. **Sypuła Aleksandra** (2023) – tytuł pracy: *Właściwości fizykochemiczne makaronów z dodatkiem liofilizowanej truskawki.*
5. **Samojluk Kamil** (2023) – tytuł pracy: *Wpływ warunków suszenia na kinetykę procesu i wybrane właściwości fizyczne mięty pieprzowej.*
6. **Wojtala Przemysław** (2022) – tytuł pracy: *Analiza procesu osmotycznego odwadniania wybranych owoców z wykorzystaniem inuliny.*
7. **Ładnowski Damian** (2022) – tytuł pracy: *Analiza procesu produkcji chipsów owocowych wysycanych prebiotykiem.*
8. **Wicha Kinga** (2021) – tytuł pracy: *Właściwości fizyczne i sensoryczne makaronów z mąki z gryki niepalonej.*
9. **Pietras Wioleta** (2021) – tytuł pracy: *Charakterystyka makaronów domowych z dodatkiem pulpy jabłkowej.*
10. **Mazurkiewicz Kinga** (2021) – tytuł pracy: *Właściwości fizyczne i sensoryczne makaronów wzbogaconych dodatkiem suszonego pora.*
11. **Szewczyk Agnieszka** (2020) – tytuł pracy: *Wykorzystanie pieczywa wycofanego z obrotu do produkcji chrupkich przekąsek.*
12. **Poter Aleksandra** (2020) – tytuł pracy: *Właściwości fizyczne i sensoryczne chrupkich przekąsek z pieczywa żytniego.*
13. **Foryt Natalia** (2019) – tytuł pracy: *Właściwości fizyczne i sensoryczne makaronów wzbogaconych dodatkiem kawy zbożowej.*
14. **Gnap Milena** (2019) – tytuł pracy: *Właściwości fizyczne i sensoryczne makaronów wzbogaconych dodatkiem suszonego kiwi.*
15. **Ciura Karol** (2018) – tytuł pracy: *Wpływ dodatku suszonych ziół na właściwości fizyczne i sensoryczne makaronów.*

2. Promotorstwo pracy inżynierskiej:

1. **Janczarek Michał** (2022) – tytuł pracy: *Ciastka kruche o obniżonej kaloryczności i wzbogacone kurkumą, jako nowy produkt funkcjonalny.*
2. **Sypuła Aleksandra** (2022) – tytuł pracy: *Wpływ temperatury procesu na właściwości fizyczne i proces rozdrabniania jabłek.*
3. **Czarkowska Weronika** (2022) – tytuł pracy: *Analiza procesu suszenia i rozdrabniania owoców truskawki w aspekcie pozyskiwania funkcjonalnego dodatku do żywności.*

4. **Kunowski Damian** (2021) – tytuł pracy: *Wpływ metody suszenia dyni na przebieg procesu i właściwości suszu.*
5. **Wrochna Przemysław** (2021) – tytuł pracy: *Wpływ parametrów suszenia batatów na przebieg procesu i właściwości suszu.*
6. **Pękała Justyna** (2020) – tytuł pracy: *Opracowanie metody otrzymywania proszku cebulowego.*
7. **Wąsik Małgorzata** (2020) – tytuł pracy: *Opracowywanie metody otrzymywania sproszkowanego pora.*
8. **Stępień Mateusz** (2019) – tytuł pracy: *Projekt produkcji makaronu wzbogaconego suszoną pokrzywą.*
9. **Tarnowski Karol** (2019) – tytuł pracy: *Projekt produkcji pieczywa pszennego wzbogaconego nasionami lnu.*
10. **Stocki Szymon** (2019) – tytuł pracy: *Organizacja eventu integracyjnego dla pracowników banku.*
11. **Tomaszewski Tomasz** (2019) – tytuł pracy: *Organizacja Śląskiego Festiwalu Smaku.*
12. **Krain Marek** (2019) – tytuł pracy: *Organizacja eventu z okazji Dnia Górnika.*
13. **Szewczyk Agnieszka** (2019) – tytuł pracy: *Właściwości fizykochemiczne makaronów wzbogaconych dodatkiem suszonych bananów.*
14. **Kudyba Sylwia** (2018) – tytuł pracy: *Wpływ metody suszenia pokrzywy na przebieg procesu i właściwości suszu.*

6.2. Promotor pomocniczy osób ubiegających się o tytuł doktora:

1. **mgr inż. Dorota Monika Sokołowska:**
 - **07.07.2022 r. – obrona rozprawy doktorskiej** przed Komisją powołaną przez Radę Dyscypliny Inżyniera Mechaniczna Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.
 - **Tytuł rozprawy doktorskiej:** „Wytwarzanie makaronów błyskawicznych z mąk bezglutenowych metodą ekstruzji”.
2. **mgr inż. Waleed Hameed Haasson:**
 - **08.10.2019 r. – obrona rozprawy doktorskiej** przed Komisją powołaną przez Radę Wydziału Inżynierii Produkcji Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.
 - **Tytuł rozprawy doktorskiej:** „The study of wheat grinding process using different kinds of mills: A new approach for producing wholemeal flour”.

6.3. Członkostwo w komisjach, kołach naukowych i pozostałych zespołach

L.p.	Komisja, zespół lub koło naukowe	Wyszczególnienie
1.	Kolegium Wydziału Inżynierii Produkcji UP w Lublinie	Członek Kolegium Wydziału, od 16 października 2019 r. do chwili obecnej.
2.	Wydziałowa Komisja ds. Jakości Kształcenia	Członek Wydziałowej Komisji ds. Jakości Kształcenia, od 2020 r. do chwili obecnej.

3.	Wydziałowa Komisja ds. Ewaluacji Jednostek Naukowych	Członek Wydziałowej Komisji ds. Ewaluacji Jednostek Naukowych w obszarze III kryterium, od 01.05.2021 do 30.12.2022 r.
4.	Rada Programowa kierunku zarządzanie i inżynieria produkcji	Członek Rady Programowej kierunku studiów zarządzanie i inżynieria produkcji realizowanego na WIP od 2020 r. do chwili obecnej. https://up.lublin.pl/wip/wydzial/komisje-wydzialowe/
5.	Zespół przygotowujący raport samooceny do PKA	Członek zespołu przygotowującego raport samooceny kierunku zarządzanie i inżynieria produkcji w roku 2017 i 2024
6.	Opiekun studentów kierunku ICHiP	Opiekun pierwszego roku studentów kierunku inżyniera chemiczna i procesowa rozpoczynających studia w roku akademickim 2016/2017
7.	Polskie Towarzystwo Technologów Żywności	Członek PTTŻ od 2022 r. do chwili obecnej.

6.4. Recenzje prac naukowych, w tym publikacji

1. Recenzje w czasopismach naukowych:

1. **Foods** (2022) – tytuł artykułu: *Improving nutritional and health benefits of biscuits by optimizing formulations based on sprouted pseudocereal grains from Andean origin*
2. **International Journal of Food Science & Technology** (2022) – tytuł artykułu: *Whole-wheat bread enzymatically bioprocessed and added with green coffee infusion had improved volume and were sensory accepted when consumers were informed of its health benefits.*
3. **Nutrition and Metabolic Insights** (2022) – tytuł artykułu: *Effect of Psyllium husk fiber and lifestyle modification on human body Insulin resistance.*
4. **Nutrition and Food Science** (2022) – tytuł artykułu: *Muskmelon and watermelon seeds' flour: Physicochemical, functional and thermal properties.*

2. Recenzje prac dyplomowych:

1. **Winiarska Patrycja** (2019) – tytuł pracy magisterskiej: *Kształtowanie jakości chleba żytniego z dodatkiem mąki kasztanowej.*
2. **Widomska Karolina** (2019) – tytuł pracy magisterskiej: *Zmiany cech tekstury miękiszka chleba pszennego pod wpływem dodatku spiruliny.*
3. **Wilk Marzena** (2019) – tytuł pracy magisterskiej: *Ocena tekstury chleba pszennego z dodatkiem suszonej cebuli.*
4. **Łukasz Piotr** (2019) – tytuł pracy magisterskiej: *Ocena cech tekstury chleba pszennego z udziałem komosy ryżowej.*
5. **Niewola Karolina** (2019) – tytuł pracy magisterskiej: *Wpływ parametrów metody Rancimat na wskaźnik stabilności oksydacyjnej oleju słonecznikowego.*

6. **Mamczarz Monika** (2019) – tytuł pracy magisterskiej: *Wpływ parametrów metody Rancimat na oznaczanie stabilności oksydacyjnej oleju rzepakowego.*
 7. **Bartnik Damian** (2018) – tytuł pracy magisterskiej: *Wpływ warunków przechowywania na jakość soków jabłkowych.*
 8. **Piotrowicz Jakub** (2018) – tytuł pracy magisterskiej: *Wpływ odmiany na efektywność tłoczenia soku z jabłek.*
 9. **Kocot Piotr** (2018) – tytuł pracy magisterskiej: *Projekt linii technologicznej do produkcji whisky.*
 10. **Korczyk Anna** (2018) – tytuł pracy magisterskiej: *Wpływ warunków przechowywania na jakość olejów roślinnych.*
 11. **Dziewulska Sylwia** (2018) – tytuł pracy magisterskiej: *Charakterystyka olejów roślinnych rafinowanych i tłoczonych na zimno na podstawie wybranych wskaźników.*
 12. **Kraśnicka Kinga** (2018) – tytuł pracy magisterskiej: *Analiza właściwości fizykochemicznych win dostępnych na polskim rynku.*
 13. **Nieradka Natalia** (2018) – tytuł pracy magisterskiej: *Wpływ zróżnicowania morfologicznego na właściwości teksturalne mięszu korzenia brukwi (*Brassica Napus L. var. Napobrassica*).*
 14. **Zybura Krzysztof** (2018) – tytuł pracy magisterskiej: *Zmiany właściwości teksturalnych kolorowych odmian marchwi w czasie ich przechowywania.*
 15. **Chromczak Ewelina** (2018) – tytuł pracy magisterskiej: *Ocena wartości pokarmowej pasz przeznaczonych dla zwierząt hodowlanych.*
-
1. **Kreps Mateusz** (2021) – tytuł pracy inżynierskiej: *Wpływ dodatku mąki z zielonego groszku na właściwości teksturalne i sensoryczne pieczywa pszenne.*
 2. **Styczeń Monika** (2021) – tytuł pracy inżynierskiej: *Projekt procesu przewozowego asortymentu piekarniczego na podstawie wybranego zakładu piekarskiego.*
 3. **Wójcik Klaudia** (2019) – tytuł pracy inżynierskiej: *Preferencje i częstość spożycia czekolady wśród kobiet i mężczyzn.*
 4. **Michałowska Karolina** (2019) – tytuł pracy inżynierskiej: *Ocena jakości wieprzowych parówek dostępnych w sprzedaży detalicznej.*
 5. **Jaszczyński Daniel** (2019) – tytuł pracy inżynierskiej: *Ocena jakości soków pomidorowych dostępnych na polskim rynku.*
 6. **Rogozińska Magdalena** (2019) – tytuł pracy inżynierskiej: *Analiza jakości wybranych czarnych herbat na przykładzie studentów Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.*
 7. **Mitura Katarzyna** (2019) – tytuł pracy inżynierskiej: *Ocena preferencji konsumentów w zakresie spożycia herbaty.*

6.5. Działalność popularyzatorska

1. Aktywne uczestnictwo w **Lubelskim Festiwalu Nauki w latach 2023 i 2024**, jako kierownik projektu oraz wykonawca.
2. W **programie Login: Nauka** z dnia 26.11.2019 r. wyemitowany został materiał dotyczący uczestnictwa młodych naukowców z UP w Lublinie w projekcie Lider (nr umowy LIDER/29/0158/L-10/18/NCBR/2019).
Link do materiału:
<https://lublin.tvp.pl/45520302/26-listopada-2019>

3. W programie **Teleexpress Extra**, TVP 1 z dnia 26.11.2019 r. wyemitowany został materiał dotyczący projektu LIDER (nr umowy LIDER/29/0158/L-10/18/NCBR/2019) i produktów z dodatkiem jadalnych owadów.

Linki do materiałów:

<https://teleexpress.tvp.pl/46178341/przekaski-z-owadów-stworzone-na-lubelskiej-uczelni>

4. Informacja nt. przyznanego projektu MINIATURA 3 umieszczona na **stronie internetowej Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie**: „Kolejne sukcesy pracowników Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie w konkursach NCN”.

Link do materiału:

<https://up.lublin.pl/blog/19332/>

7. INNE WAŻNE INFORMACJE DOTYCZĄCE KARIERY ZAWODOWEJ

7.1. Praktyka zawodowa w sektorze przemysłu

W trakcie mojej praktyki zawodowej zdobyłam cenne doświadczenie w różnych obszarach przemysłu spożywczego, uczestnicząc w procesach produkcyjnych, badawczych i testach przemysłowych w renomowanych zakładach oraz w ramach innowacyjnych projektów badawczo-rozwojowych.

W ramach współpracy z wytwórnią makaronu "Bona Lux" w Zemborzycach Tereszyńskich k. Lublina, uczestniczyłam w procesach produkcyjnych związanych z wytwarzaniem makaronów. Moje zadania obejmowały monitorowanie procesów technologicznych, kontrolę jakości surowców i gotowego produktu, a także analizę parametrów wpływających na końcową jakość wyrobów. Efektem tej praktyki było wyprodukowanie w warunkach przemysłowych makaronu z dodatkiem błonnika karobowego, przy wykorzystaniu maszyny do makaronu Marcato Atlas Wellness 150 Pasta Maker (Marcato, Campodarsego, Włochy). Natomiast w piekarni Emark S.C., miałam okazję brać udział w badaniach dotyczących opracowania innowacyjnej receptury na bułki pszenne z dodatkiem natki pietruszki. Moje obowiązki obejmowały dobór składników, przygotowanie prób, analizę wpływu dodatku natki pietruszki na właściwości sensoryczne i odżywcze pieczywa oraz testy organoleptyczne gotowego produktu. Dodatkowo w ramach realizacji projektu LIDER (nr umowy LIDER/29/0158/L-10/18/NCBR/2019), jako członek zespołu B+R, brałam udział w próbach przemysłowych w zakładzie produkcyjnym JEDNOŚĆ Sp. z o.o. Jest to wiodący producent pellet na smaki i prażynki, wytwarzanych z różnego rodzaju zbóż, ziemniaków i roślin strączkowych, do produkcji których używane są tylko surowce naturalne. W trakcie trzykrotnych praktyk w zakładzie produkcyjnym JEDNOŚĆ, zdobyłam doświadczenie w prowadzeniu prób przemysłowych związanych z produkcją przekąsek z naturalnych surowców. Moje działania koncentrowały się na optymalizacji procesów technologicznych, weryfikacji jakości surowców i produktów końcowych oraz analizie wydajności linii produkcyjnej. Poza tym, w ramach projektu „Powstanie Innowacyjnego Centrum Badawczo-Rozwojowego firmy Millbery” (POIR.02.01.00-00-0017/18) uczestniczyłam w badaniach dotyczących warunków przechowywania warzyw i owoców. Moje obowiązki obejmowały monitorowanie parametrów przechowywania, takich jak temperatura, wilgotność i atmosfera kontrolowana, a także analizę wpływu tych parametrów na jakość i trwałość produktów.

Udział w praktykach zawodowych w sektorze przemysłu spożywczego pozwolił mi zdobyć wszechstronną wiedzę na temat procesów produkcyjnych, innowacji technologicznych i kontroli jakości w różnych gałęziach przemysłu spożywczego. Dzięki temu rozwinęłam swoje umiejętności

praktyczne, a także zrozumienie znaczenia badań i innowacji w doskonaleniu produktów spożywczych.

7.2. Szkolenia i podnoszenie umiejętności

W ramach doskonalenia umiejętności zawodowych oraz rozwoju odbyłam szereg szkoleń i kursów. W ciągu ostatnich lat uczestniczyłam m.in. w kursach związanych z tematyką systemów zarządzania jakością, doskonalenia umiejętności językowych, tworzenia dokumentacji oraz analizy danych, ewaluacji jakości działalności naukowej oraz jakości żywności. Listę udokumentowanych aktywności przedstawiono poniżej:

L.p.	Data	Instytucja organizująca	Rodzaj szkolenia/podnoszenia umiejętności
1.	08.06.2008	Bureau Veritas Polska	Auditor Wewnętrzny Systemu Zarządzania Jakością wg PN-EN ISO 9001:2009
2.	18.04.2009 – 15.05.2009	Almatur Lublin Sp. z o.o.	Kurs Wychowawców Placówek Wypoczynku Dzieci i Młodzieży
3.	15.06.2018	Studium Praktycznej Nauki Języków Obcych UP w Lublinie	Kurs w zakresie języka angielskiego na poziomie B2
4.	23.06.2018	Centrum Egzaminacyjne TELC Łódź	Certyfikat TELC English B2
5.	08.03.2019 – 06.03.2020	Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie	Szkolenie z języka angielskiego dla pracowników naukowo – dydaktycznych i pracowników administracyjnych Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie
6.	05.12.2020	Cambridge Assessment English	Certyfikat Cambridge English B1
7.	02.11.2019	Centrum Kształcenia Proeuropejskiego PSZAiH w Lublinie	Szkolenie: „Obsługa arkusza kalkulacyjnego MS Excel zaawansowany”
8.	14.01.2020	Centrum Kształcenia IDEA	Szkolenie: „Opis wpływu działalności naukowej na funkcjonowanie społeczeństwa i gospodarki. Kryterium III ewaluacji jakości działalności naukowej.”
9.	20.10.2022 – 21.10.2022	StatSoft Polska	Szkolenie: „Prognozowanie i analiza szeregów czasowych”
10.	14.12.2023 – 18.12.2023	Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie	Szkolenie: "Nowoczesna andragogika- jak uczyć cyfrową młodzież"

11.	26.03.2024	Foss	WEBINAR: Mykotoksyny pod kontrolą: innowacyjne narzędzia w zapewnieniu jakości żywności i pasz.
-----	------------	------	---

7.3. Inne pełnione funkcje

1. Członek komitetu organizacyjnego i moderator sesji na międzynarodowej konferencji naukowej – 3rd International PhD Students' Conference: Environment-Plant-Animal Product together with the International Workshops at the University of Life Sciences in Lublin, Poland (ICDSUPL) 24-26th April 2024 Lublin – Janów Lubelski, Poland,
2. Przewodniczący sesji posterowej „Bioprocesy” – VIII Sympozjum Inżynierii Żywności. Warszawa, 1-3 lipca 2024,
3. Członek komitetu organizacyjnego i moderator sesji na międzynarodowej konferencji naukowej – 2nd International Conference of Doctoral Students at the University of Life Science in Lublin, Poland “ENVIRONMENT-PLANT-ANIMAL-PRODUCT” (ICDSUPL) 19-20th April 2023, Lublin-Janów Lubelski, Poland,
4. Osoba odpowiedzialna za zamieszczanie informacji na stronie internetowej Wydziału Inżynierii Produkcji UP w Lublinie (2017)

7.4. Nagrody i wyróżnienia

1. **Nagroda indywidualna III stopnia Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (2024)** za osiągnięcia naukowe w latach 2022-2023.
2. **Dodatek projakościowy Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (2024)** za wyróżniające się osiągnięcia w pracy naukowej w roku 2023 r.
3. **Nagroda indywidualna III stopnia Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (2020)** za osiągnięcia naukowe w roku 2019.
4. **Dyplom za wyróżniającą prezentację VI Sympozjum Inżynierii Żywności (2018)** SGGW w Warszawie.
5. **Wyróżnienie za czynne włączanie się do dyskusji naukowej w trakcie Konferencji Młodych Naukowców (2013)** Konferencja Dokonania Naukowe Doktorantów.
6. **Dyplom Uznania Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (2010 i 2012)** za osiągnięcia naukowe trakcie studiów.
7. **Nagroda Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (2009)** za osiągnięcia naukowe w trakcie studiów (Honorowa Odznaka Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie).
8. **Nagroda Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (2009)** za wyróżniające wyniki w nauce w trakcie studiów na Wydziale Inżynierii Produkcji.
9. **Dyplom Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie (2009)** wyróżniającego się absolwenta Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.

-
10. Stypendium naukowe (2004 – 2009) Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie za wyniki w nauce.
 11. Dyplom Marszałka Województwa Lubelskiego (2009) za bardzo dobre wyniki w nauce.

.....*Beata Biernacka*.....
(podpis wnioskodawcy)