

dr inż. Monika Teresa Przeor

Katedra Technologii Gastronomicznej
i Żywności Funkcjonalnej
Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

AUTOREFERAT

**prezentujący opis osiągnięć i dorobku
w postępowaniu habilitacyjnym**



Poznań, 2025

SPIS TREŚCI

1. DANE OSOBOWE	3
2. POSIADANE DYPLOMY I STOPNIE NAUKOWE.....	3
3. INFORMACJA O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH	4
4. DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWO-BADAWCZA	5
4.1. Wprowadzenie	9
4.2. Cel naukowy dzieła oraz omówienie wyników	14
4.3. Podsumowanie wyników	45
4.4. Spis cytowanej literatury	47
5. ISTOTNA AKTYWNOŚĆ NAUKOWA REALIZOWANA W WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI, INSTYTUCJI NAUKOWEJ, W SZCZEGÓLNOŚCI ZAGRANICZNEJ.....	54
6. INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ.....	56
6.1. Działalność dydaktyczna	56
6.2. Działalność organizacyjna.....	58
6.3. Działalność popularyzująca naukę	60
7. INNE INFORMACJE DOTYCZĄCE KARIERY ZAWODOWEJ.....	62

1. DANE OSOBOWE

Dr inż. Monika Teresa Przeor

(nazwisko panięskie: Lechowicz)

ORCID 0000-0003-2600-8935

Web of Science Researcher ID F-9009-2013

Scopus Author ID 57188628617

2. POSIADANE DYPLOMY I STOPNIE NAUKOWE

2019 STUDIA PODYPLOMOWE

Instytut Żywności i Żywienia w Warszawie

Kierunek: Poradnictwo dietetyczne – postępy w żywieniu człowieka

2017 DOKTOR

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu

Dyscyplina: technologia żywności i żywienia

Tytuł rozprawy: Wpływ zabiegów technologicznych na zawartość i właściwości bioaktywnych związków w preparatach z liści morwy.

Promotor: prof. dr hab. Ewa Flaczyk

2015 STUDIA PODYPLOMOWE

Uniwersytet Warszawski

Wydział Chemii

Kierunek: Zastosowanie Chemii w Ochronie Środowiska. Nowoczesne Techniki Chromatograficzne

2011 MAGISTER

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Wydział Nauk o Żywności i Rybactwa

Kierunek: Technologia żywności i żywienie człowieka

Specjalność: Żywnienie człowieka.

Temat pracy: Ocena stanu odżywienia, stylu życia oraz sposobu żywienia pielęgniarek będących w okresie okołomenopauzalnym pracujących w systemie zmianowym.

Promotor: dr inż. Zuzanna Gołuch-Koniuszy

2011 STUDIA PODYPLOMOWE

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Studium Nauk Humanistycznych i Pedagogicznych

Kierunek: Wykształcenie Pedagogiczne

2009 INŻYNIER

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

Wydział Nauk o Żywności i Rybactwa

Kierunek: Technologia żywności i żywienie człowieka

**3. INFORMACJA O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W
JEDNOSTKACH NAUKOWYCH**

2021 – aktualnie

ADIUNKT, stanowisko naukowo-dydaktyczne (*pełny wymiar*)

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu

Katedra Technologii Gastronomicznej i Żywności Funkcjonalnej

2016 – 2021

ASYSTENT, stanowisko naukowo-dydaktyczne (*pełny wymiar*)

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu

Katedra Technologii Żywności Człowieka

2015 – 2023

NAUCZYCIEL AKADEMICKI (*umowa zlecenie*)

Wyższa Szkoła Zdrowia, Urody i Edukacji w Poznaniu

2014 – 2015

STARSZY REFERENT TECHNICZNY (*1/2 etatu*)

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu

Projekt UE POIG 1.1.2-00-061/09 pt. „Nowa żywność bioaktywna o zaprogramowanych właściwościach prozdrowotnych.”

4. DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWO-BADAWCZA

Do wniosku o nadanie stopnia doktora habilitowanego przedkładam osiągnięcie naukowe ujęte pod wspólnym tytułem „**Kierunkowe przetwarzanie liści morwy białej jako narzędzie kształtujące jakość prozdrowotną nowych produktów przeznaczonych dla diabetyków**”, składające się z pięciu powiązanych tematycznie prac, w których jestem wiodącą autorką i jednocześnie autorką korespondencyjną.

Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia to:

M1. Przeor M., 2022. **Some common medicinal plants with antidiabetic activity, known and available in Europe (a mini-review).** *Pharmaceuticals*, 15, 65. DOI: 10.3390/ph15010065.

Rola: pomysłodawca, opracowanie danych, opracowanie techniczne artykułu, przygotowanie manuskryptu artykułu i edycja, opracowanie merytoryczne, pozyskiwanie funduszy [100 pkt², IF₂₀₂₂=4.600, IF_{5-letni}=4.9, Cytowania WoS: 47, Scopus: 65]

M2. Przeor M., Flaczyk E., Kmiecik D., Buchowski M.S., Staniek H., Tomczak-Graczyk A., Kobus-Cisowska J., Gramza-Michałowska A., Foksowicz-Flaczyk J. 2020. **Functional properties and antioxidant activity of *Morus alba* L. leaves var. Zolwiska Wielkolistna (WML-P) – the effect of controlled conditioning process.** *Antioxidants*, 9 (8), 668. DOI: 10.3390/antiox9080668.

Rola: twórca hipotezy badawczej/koncepcji, pomysłodawca badań, opracowanie metodologii, walidacja, wykonanie badań, opracowanie danych, opracowanie techniczne artykułu, przygotowanie manuskryptu artykułu i edycja, opracowanie merytoryczne, pozyskiwanie funduszy [100 pkt², IF₂₀₂₀=6.313, IF_{5-letni}=7.3, Cytowania WoS: 16, Scopus: 19]

M3. Przeor M. 2024. **How does *in vitro* digestion change the amount of phenolics in *Morus alba* L. leaf? Analysis of preparations and infusions.** *Metabolites*, 14, 31. DOI: 10.3390/metabo14010031.

Rola: twórca koncepcji badawczej, pomysłodawca badań, opracowanie metodologii, walidacja, wykonanie badań, opracowanie danych, opracowanie techniczne artykułu, przygotowanie manuskryptu artykułu i edycja, opracowanie merytoryczne, pozyskiwanie funduszy, analiza formalna. [100 pkt², IF₂₀₂₄=3.400, IF_{5-letni}=4.1, Cytowania WoS: 2, Scopus: 2]

M4 Przeor M., Jokiel M. 2023. *Morus alba* L. leaves (WML) modulate sweet (TAS1R) and bitter (TAS2R) taste in the studies on human receptors – a new perspective on the utilization of white mulberry leaves in food production? *Plant Foods for Human Nutrition*, 78, p. 748–754. DOI: 10.1007/s11130-023-01107-0.

Rola: twórca koncepcji, pomysłodawca badań, wykonanie części badań – etap 2, opracowanie części danych, przygotowanie manuskryptu artykułu, opracowanie merytoryczne, opracowanie techniczne artykułu, analiza formalna, pozyskiwanie funduszy, opracowanie metodologii, korekta językowa [100 pkt², IF₂₀₂₃ = 3.100, IF_{5-letni} = 3.8, Cytowania WoS: 5, Scopus: 5]

M5. Przeor M., Ahmed N. M. 2024. **Technological processing of *Phaseolus vulgaris* and *Morus alba* leaves to create a new nutritional food product for individuals with diabetes.** *Scientific Reports*, 14: 28686. DOI: 10.1038/s41598-024-80373-7.

Rola: twórca koncepcji, pomysłodawca badań, wykonanie części badań, opracowanie części danych, przygotowanie manuskryptu artykułu, opracowanie merytoryczne, opracowanie techniczne artykułu, analiza formalna, pozyskiwanie funduszy, opracowanie metodologii, korekta językowa [140 pkt², IF₂₀₂₄ = 3.800, IF_{5-letni} = 4.3, Cytowania WoS: 0, Scopus: 0]

Łączna punktacja prac zgłoszonych przeze mnie jako osiągnięcie naukowe do oceny w postępowaniu habilitacyjnym wynosi 540², oraz IF = 21.213³.

Mój wkład w przedstawione artykuły naukowe obejmował: autorstwo hipotez i koncepcji badań, dominujący udział w doborze metod i wykonaniu doświadczeń, analizę i opracowanie wyników, wnioskowanie, przygotowanie prac do publikacji i opracowanie na etapach recenzji, redagowanie manuskryptów. Dla potwierdzenia załączyłam Oświadczenia Współautorów prac **M2**, **M4**, **M5**. Prace **M1** i **M3** są pracami mono autorskimi. We wszystkich pracach pełniłam funkcję autora korespondencyjnego i byłam pierwszym autorem.

Część wyników przedstawionych w artykułach jest **rezultatem badań realizowanych w ramach projektu** badawczego (14/2022/Pierwszy grant, 2023) finansowanego przez Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, i projektu rozwojowo-wdrożeniowego (MNiSW/2019/170/DIR, 2019, Inkubator Innowacyjności 2.0) finansowanego przez Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego, którymi kierowałam, oraz projektu badawczo-rozwojowego (POIR 04.01.02-00-0059/17, 2018-2019) finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, w którym uczestniczyłam.

- Sumaryczny IF = 67.113
- Sumaryczna ilość cytowań = WoS: 286, Scopus: 324, Google Scholar: 659.
- Sumaryczna ilość cytowań bez autocytowań = WoS: 254, Scopus: 293.
- Indeks Hirscha = WoS: 10, Scopus: 10, Google Scholar: 12.

¹ Zgodnie z rozporządzeniem MEiN w sprawie ewaluacji jakości działalności naukowej (Dz.U. z 2022 r., poz. 1872).

² Punkty za artykuły naukowe naliczone zgodnie z obowiązującym komunikatem Ministerstwa Edukacji i Nauki z dnia 1 grudnia 2021 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych z liczbą punktów przyznanych za publikacje w tych czasopismach.

³ Sumaryczny Impact Factor (IF) obliczono wg bazy Journal Citation Reports, sumując współczynniki z roku wydania publikacji.

WYKAZ SKRÓTÓW

ABTS	2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid (Kwas 2,2'-Azyno-bis(3-etylobenzotiazolino-6-sulfonowy)
ACN/W/ForA	Mieszanina Acetonitrylu z Kwasem Mrówkowym
DNJ	1-deoxynojirimycin (1-deoksynojirimycyna)
DPPH	2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (difenylopikrylohydrazyl)
EFSA	European Food Safety Authority (Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności)
FRAP	Ferric Reducing Antioxidant Power (Zdolność Antyoksydacyjna do Redukcji Jonów Żelaza)
GPCR	G Protein-coupled Receptor (Receptory Chemosensoryczne)
H ₂ O ₂	Nadtlenek Wodoru
3-HPPA	3-(3-Hydroxyphenyl)propionic acid (Kwas 3-(3-hydroksyfenylo)-propionowy)
IG	Indeks Glikemiczny
LDL	Low Density Lipoprotein (Lipoproteiny o Niskiej Gęstości)
ŁG	Ładunek Glikemiczny
Me/ForA	Mieszanina Metanolu z Kwasem Mrówkowym
NADH	Nicotinamide Adenine Dinucleotide (Nikotynoamidoadenino dinukleotyd)
NKT	Nasycone Kwasy Tłuszczowe
NNKT	Nienasycone Kwasy Tłuszczowe
RBP4	Retinol-Binding Protein 4 (Białko Wiążące Retinol 4)
ROS	Reactive Oxygen Species (Reaktywne Formy Tlenu)
SET	Single Electron Transfer (Jednoelektronowy Transfer)
Szlak NF-κβ	Nuclear Factor Kappa B (jądrowy czynnik transkrypcyjny NF-κB)
TE	Trolox Equivalent (Ekwiwalent Troloxu)
TCR	T-cell Receptors (Receptory Limfocytów T)

4.1. Wprowadzenie

Podjęte w osiągnięciu zadania badawcze stanowią naturalną kontynuację mojej dotychczasowej pracy naukowej na surowcem jakim są liście morwy białej. W opisanych artykułach naukowych stanowiących osiągnięcie poddawane ocenie, skoncentrowałam się na kolejnym kroku, którym było wskazanie całkiem nowego obszaru wykorzystania blaszki liściowej morwy białej (*Morus alba* L.). Odpowiednie przetworzenie liści po zbiorze pozwoliło na nowe wykorzystanie ich wysokiego potencjału prozdrowotnego w produktach spożywczych, po które sięgają świadomi konsumenci, w szczególności diabetycy.

Doniesienia historyczne i wielowiekowe tradycje kulturowe wskazują, że rośliny mogą stanowić wartościową alternatywę dla standardowej farmakoterapii, a przynajmniej wspomagać leczenie lub działać profilaktycznie. Poparto to wieloma badaniami naukowymi (Ayvazyan i Zidorn, 2024; Boutaj, 2024; Cavalcanti i in., 2020; Dziedzinski i in., 2020; Remali i Aizat, 2024; Tylewicz i in., 2020). W literaturze wskazano już ponad 700 roślin funkcjonujących jako inhibitory α -amylazy i/lub α -glukozydazy, czyli o działaniu przeciwcukrzycowym lub przeciwhiperqlikemicznym (Salehi i in., 2019). Przez wiele lat społeczności krajów rozwijających się pokładały duże nadzieje w terapiach roślinnych, a stosowanie tanich roślin leczniczych jako zamienników leków w leczeniu cukrzycy było i nadal jest tam powszechne (Arumugam i in., 2013). Do roślin o znaczeniu terapeutycznym, będących źródłem związków o właściwościach bioaktywnych, przy jednoczesnym braku obserwowanych skutków ubocznych w efekcie spożycia, zaliczana jest morwa biała (*Morus alba* L.). Jej znaną społecznie i szczególnie korzystną prozdrowotnie właściwością jest oddziaływanie tzw. przeciwdiabetyczne (Morales Ramos i in., 2021).

Morwa to szybko rosnąca roślina liściasta z rodziny *Moraceae*, która występuje w różnych szerokościach geograficznych, głównie w klimacie tropikalnym i umiarkowanym (Bai i in., 2023). Morwa biała pochodzi z Chin, Japonii i Indii, a źródła historyczne pokazały, że wszystkie jej części były wykorzystywane w tradycyjnej medycynie chińskiej już 3000 lat p.n.e. Do Europy została sprowadzona w XI. wieku wraz z gąsienicami jedwabników ze względu na niskie wymagania agrotechniczne, stosunkowo łatwą i taną uprawę oraz możliwość wykorzystania w przemyśle spożywczym. Aktywność ta wynika z obecności związków biologicznie czynnych, wśród których dominują 3-*O*-(6-malonylo)- β -*D*-glukopiranozyd kwercetyny, rutyna, 3- β -*D*-glukopiranozyd kempferolu, cyklomulberyna, kwas chlorogenowy, morachalkon, morusyna, kwercetyna, mulberozyd F, 1-deoksynojirimycyna, morina (Przeor, 2022).

Wiele wcześniejszych badań realizowanych przez naukowców na świecie wykazało, że liście morwy białej i związki w nich zawarte korzystnie wpływają na poziom glukozy we krwi i zwiększają wydzielanie insuliny, wspierając w ten sposób leczenie cukrzycy zarówno w modelach zwierzęcych, jak i ludzkich (Tang i in., 2023). Ze względu na działanie antyglukozydazowe, antyamylazowe i antyhiperlipidemiczne, *Morus alba* jest warta rozważenia jako cenny składnik żywności (Chen i in., 2021; Kattil i in., 2024). Aktywność przeciwutleniająca liści morwy białej okazuje się być stosunkowo wysoka w porównaniu z innymi częściami morfologicznymi rośliny (Chan i in., 2016; Y. Wang i in., 2024).

Mechanizmy tzw. przeciwdiabetycznego oddziaływania fitofarmaceutyków obecnych w roślinach leczniczych obejmują wiele szlaków, w tym: 1) modyfikację metabolizmu glukozy: zahamowanie nerkowej reabsorpcji glukozy (Eddouks i in., 2002), hamowanie β -galaktozydazy (Gholap i Kar, 2004), hamowanie β -glukozydazy i α -amylazy, zahamowanie konwersji skrobi do glukozy (Gholap i Kar, 2004; Heidari i in., 2005), stymulację glikogenezy i glikolizy wątrobowej (Miura i in., 2001), 2) działanie hipolipidemiczne: zmniejszenie peroksydacji lipidów (Crespy i Williamson, 2004), 3) oddziaływanie na trzustkę: efekt regeneracji/naprawy (Bnouham i in., 2006) lub ochronne na komórki β (J. W. Kim i in., 2003), wpływ na zwiększenie liczby i/lub wielkości komórek w wysepkach Langerhansa (Bnouham i in., 2006), redukcję insulinooporności, stymulację wydzielania insuliny (Esmacili i Yazdanparast, 2004; Mukherjee i in., 2006), hamowanie procesów degradacji insuliny (Kaneto i in., 2005); 4) ochronę przed skutkami stresu oksydacyjnego odpowiedzialnego za dysfunkcję komórek β trzustki poprzez unieczynnianie wolnych rodników, zmniejszenie tworzenia H_2O_2 , hamowanie produkcji reaktywnych form tlenu (ROS), modulację enzymów (cyklooksygenazy, monoooksygenazy, oksydazy NADH, oksydazy ksantynowej, lipooksygenazy) (Kaneto i in., 2005; A. H. Shin i in., 2006), regulację równowagi antyoksydacyjno-oksydacyjnej w komórkach, indukcję enzymów (peroksydazy glutationowej, katalazy, dysmutazy ponadtlenkowej), poprawę zdolności przeciwutleniającej w osoczu (Crespy i Williamson, 2004), 5) leczenie powikłań cukrzycy poprzez hamowanie prozapalnego szlaku NF- κ B, skutkujące powikłaniami naczyniowymi (Suryavanshi i Kulkarni, 2017).

Problemy z utrzymaniem prawidłowej glikemii można zminimalizować poprzez hamowanie enzymów trawiących węglowodany: α -amylazy trzustkowej (rozkład polisacharydów do oligosacharydów i disacharydów) oraz α -glukozydazy rąbka szczoteczkowego (rozkład do monosacharydów) (Herrera i in., 2019). W przypadku morwy

białej to działanie hamujące, które ingeruje w enzymy trawienne wskazywane jest jako najistotniejsze. Niektóre badania sugerują, że najważniejszymi naturalnymi inhibitorami, ze względu na ich obecność w wielu roślinach przeciwcukrzycowych, są terpeny, saponiny i polifenole (Ali i in., 2006; Herrera i in., 2019; Ozkan i in., 2016; Xiao i in., 2013). Włączane do diety roślinne związki aktywne, w tym polifenole były szeroko analizowane jako środki przeciwcukrzycowe zarówno w układach komórkowych, jak i zwierzęcych i klinicznych. Ich oddziaływanie wynika głównie z wpływu na insulinę – ochronnego wobec komórek β trzustkowych, zmniejszenie apoptozy i promowanie proliferacji komórek β , osłabienie stresu oksydacyjnego, aktywację sygnalizacji insulinowej, i stymulację trzustki do wydzielania insuliny (Z. Li i in., 2023; Reis i in., 2019). Mechanizm niezależny od insuliny wynikający z funkcjonalności polifenoli również jest znany m.in. poprzez regulację mikrobioty jelitowej, modyfikację odpowiedzi zapalnej, czy hamowanie powstawania zaawansowanych produktów końcowych glikacji (Sun i in., 2020). W przypadku polifenoli podkreśla się ich łagodzący wpływ wobec wielu powikłań cukrzycy, takich jak dysfunkcja naczyń krwionośnych, nefropatia, retinopatia, neuropatia oraz kardiomiopatia (Loureiro i Martel, 2019; Pei i in., 2016; Reis i in., 2019). Zależność jednak pomiędzy strukturą surowca/ produktu, a konkretną aktywnością polifenoli jako związków przeciwcukrzycowych w poszczególnych matrycach, nadal nie jest wyjaśniona. Pojedynczy flawonoid raczej nie oddziałuje znacząco terapeutycznie na diabetyków, a badania kliniczne są w tym zakresie stosunkowo ograniczone. Każde zatem dane obejmujące zmiany w zakresie strawności tych związków z matryc naturalnych poszerzają perspektywę naukową.

Analizując dane literaturowe i dostępne na rynku postaci handlowe żywności i suplementów diety można stwierdzić, że istnieje kilka sposobów włączania tzw. roślin leczniczych do diety. Poddając ocenie sposoby wykorzystania takich surowców roślinnych na świecie i w Europie, usystematyzowałam je i opisałam w **artykule MI**. Dotychczas w Polsce i Europie związki biologiczne naturalnie pochodzące z liści morwy białej dostarczane są do organizmu w postaci suplementów diety skierowanych do diabetyków (jako wydzielone ekstrakty lub jako mieszanina z innymi roślinami) oraz naparów (tzw. herbatki z liści morwy). W krajach europejskich, produkcyjnie nieznanym jest celowana substytucja lub wzbogacanie jakiegokolwiek postaci blaszki liściowej w matrycę produktu spożywczego. Wskazania historyczne pokazują, że takie praktyki od wieków prowadzone są w krajach natywnych dla morwy. Aktualnie, mieszkańcy Korei i Chin wytwarzają wiele półproduktów, produktów oraz potraw z zastosowaniem morwy. Proszek z liści wykorzystywany jest do produkcji zupy-kremu

(Park i Lee, 2007), a dużymi liśćmi wspomagana jest fermentacja tzw. kostek meju wykonanych ze smażonej soi i otrąb pszennych podczas produkcji potrawy o nazwie juebjang (D. Shin i Jeong, 2015). Z kolei zespół Charunuch'a zastosował proszek z liści morwy białej (w ilości 5, 7,5 i 10%) w połączeniu z ryżem, kukurydzą i soją to wytworzenia ekstrudowanych przekąsek ryżowych (Charunuch i in., 2008). Zespół Obuchowskiego opracowując technologię produkcji ekstrudowanego chleba chrupkiego z pszenżyta o właściwościach funkcjonalnych wzbogacał go przemysłowym ekstraktem z liści morwy (Obuchowski i in., 2015). Celowe wkomponowanie fragmentów liści do żywności daje początek rozwojowi produktów o charakterze funkcjonalnym, po dalszym ich klinicznym przeanalizowaniu, w odniesieniu do konsumentów z hiperglikemią oraz pacjentów otyłych. Warto nadmienić, że liście morwy białej były poddawane ocenie profilu toksykologicznego w testach toksyczności ostrej, podostrej i genotoksyczności, i nie obserwowano znaczących zmian w parametrach hematologicznych, biochemicznych lub histopatologicznych u narażonych zwierząt. W badaniu genotoksyczności w teście Ames, również nie wykazano aktywności mutagennej ekstraktów liściowych ani potencjału do wywoływania aberracji chromosomowych lub nieprawidłowości nasienia u myszy przy dawce 10 g/kg masy ciała (Y. Li i in., 2018). Fakt ten stwarza korzystną perspektywę na zmianę stanu prawnego obecności liści morwy białej w produkcji spożywczej na terenie Europy.

Dzięki technologom, współczesny rynek oferuje produkty z kategorii żywności funkcjonalnej (Kozłowska i in., 2019), a konsumenci świadomi jej wartości, coraz częściej ją wybierają (Przeor i in., 2018). Ponadto, zmiana zachowań i nawyków żywieniowych, czasem również moda, na utrzymanie dobrego stanu zdrowia na każdym etapie życia, stają się czynnikami sprzyjającymi rozwojowi tego typu żywności. Chociaż spożycie w postaci suplementów diety lub żywności jest najczęstszym i najprostszym (dla przeciętnego konsumenta) sposobem wprowadzania takich surowców do przewodu pokarmowego, nadal poszukuje się alternatywnych rozwiązań (Baset i in., 2020; Musabayane i in., 2006). W ramach omawianego osiągnięcia skupiłam się na wykorzystaniu zmodyfikowanego protokołu przetwarzania liści morwy białej w praktyce, czyli do kształtowania jakości prozdrowotnej wytworzonych półproduktów liściowych, z uwzględnieniem nowego kierunku ich przemysłowego wykorzystania i dalej analizy nowych produktów zawierających w swoim składzie takie półprodukty.

Zabiegi technologiczne stosowane przez producentów skierowane są na wytworzenie bezpiecznej żywności o jak najwyższej jakości, w tym sensorycznej. W przypadku surowców

zawierających substancje o wysokim potencjale prozdrowotnym ważne jest zastosowanie takich technik i procesów, które zabezpieczą ten potencjał lub zminimalizują straty jakościowe surowca. Zabiegi te skutkują przekształceniem surowca i określonymi zmianami fizykochemicznymi. Dla rozwoju asortymentu żywności funkcjonalnej ogromne znaczenie ma monitorowanie ilości substancji warunkujących określone właściwości prozdrowotne. Dzięki minimalizacji strat podczas przetwarzania oraz utrzymania ich zawartości w ustalonym zakresie możliwe jest uzyskanie produktu o wysokiej jakości i potwierdzonym składzie chemicznym. W przypadku liści morwy białej, ze względu na niską trwałość i wynikającą z tego małą przydatność (również związaną z zagrożeniem mikrobiologicznym) nie jest możliwe wykorzystanie ich w postaci świeżej. Dlatego w warunkach przemysłowych liście morwy białej są poddawane obróbce termicznej – suszeniu, co znacząco podnosi ich bezpieczeństwo i ułatwia wykorzystanie. W przypadku morwy białej bardzo ważne jest, by podczas stosowanej obróbki termicznej zachować odpowiedni poziom zawartości polifenoli i alkaloidów, odpowiedzialnych za jej właściwości prozdrowotne, w tym przeciwcukrzycowe i przeciwutleniające.

Wpływ zabiegów przetwórczych na aktywność przeciwutleniającą żywności nie jest jednoznacznie określony. Z jednej strony wskazuje się na wzrost dostępności przeciwutleniaczy, w efekcie zniszczenia ścian komórkowych pod wpływem ogrzewania lub działalności enzymatycznej, z drugiej – na intensywne utlenianie tych związków, tworzenie kompleksów lub przekształcenie formy przeciwutleniającej do proutleniającej (Grajek, 2003; Ironi et al., 2017). W badaniach prowadzonych przez innych naukowców dowiedziono, że całkowita pojemność przeciwutleniająca liści bazylii ulegała redukcji już w efekcie jednogodzinnego oddziaływania wrzącej wody, a zawartość flawonoidów, w cebuli i czosnku obniżyła się o ~40%, a w imbirze o ~20%. Z kolei w testach na zmiatanie rodników DPPH oraz hamowanie kationorodników ABTS mierzone wartości obniżały się w procesie obróbki termicznej odpowiednio o 11% i 7%, co było skorelowane z zawartością związków fenolowych (Stempińska i in., 2007). Stwierdzono, że przechowywanie blanszowanych warzyw i owoców sprzyja utrzymaniu ich aktywności przeciwutleniającej w porównaniu z nieblanszowanymi. Zabieg blanszowania, ze względu na swój charakter, prowadzi do inaktywacji enzymów utleniających, ale także do wypłukania części z nich (Ironi i in., 2017; Ngan Nguyen i in., 2025). Ponadto wcześniejszy etap jakim jest obróbka wstępna (np. obieranie, rozdrabnianie), prowadzi do zmian aktywności przeciwutleniającej surowca w związku z intensywnym oddziaływaniem enzymu polifenolooksydazy. Redukcja właściwości przeciwutleniających

może sięgać nawet 60% (Gumul i in., 2005). Zatem, postrzeganie efektów uzyskiwanych na drodze przetwarzania surowców roślinnych jako jednoznacznych, w produkcji spożywczej może być błędne. Różnice pomiędzy procesami, parametrami ich prowadzenia i rodzajem surowca mają odzwierciedlenie w mierzalnych dla finalnego odbiorcy efektach, takich jak zawartość związków o aktywności przeciwutleniającej. Stąd niezwykle istotne jest prowadzenie obróbki w odpowiednio dobranych warunkach, z zastosowaniem dobrej jakości surowca, celem uzyskania możliwie powtarzalnych zawartości cennych związków bioaktywnych, warunkujących funkcjonalne cechy gotowego produktu. W przypadku liści morwy białej kontrolowane przetworzenie pozwala na pozyskanie lepszych właściwości gotowego półproduktu i produktu, również z surowca zebranego w krajach innych niż natywne. Takie działania badawcze podjęto w ramach omawianego osiągnięcia naukowego.

Obecnie liście morwy w powszechnie stosowanych technologiach w Polsce poddawane są suszeniu, zazwyczaj owiewowemu, niejako na wzór surowców zielarskich. Przedstawiona **propozycja rozbudowania ciągu przetwórczego polskich liści morwy białej o nowy zabieg**, bezpośrednio przed suszeniem, **wnosi nową wiedzę w ten obszar** i daje możliwość skutecznego zwiększenia, a przynajmniej pewności utrzymania wymaganej aktywności biologicznej powstającego półproduktu liściowego. Mowa tu o kontrolowanym zabiegu leżakowania rozdrobnionych liści morwy białej tuż przed procesem suszeniem, który zapewnić ma wspomniane wcześniej efekty prozdrowotne. Za półprodukt liściowy w niniejszym opracowaniu uznawane są przetworzone liście morwy białej, tj. po zbiorze, rozdrabnianiu, leżakowaniu i suszeniu, które mogą być przechowywane, dla późniejszego wykorzystania przez przemysł. Uzyskane efekty, związane z wprowadzeniem kontrolowanego leżakowania liści morwy w procesie przetwórczym omówiłam w poszczególnych pracach przedłożonych do oceny.

4.2. Cel naukowy dzieła oraz omówienie wyników

Proces przetwarzania surowców liściastych na potrzeby produkcyjne odgrywa istotną rolę w kontekście jakości żywieniowej uzyskiwanych półproduktów i produktów roślinnych. Doświadczenia płynące z praktyki produkcyjnej wskazują, że w obszarze technologicznym takie etapy jak: przygotowanie surowca, warunki jego przechowywania po zbiorze, obróbka wstępna, parametry procesowe oraz dalszy przebieg procesu, powinny być ukierunkowane na zachowanie potencjału prozdrowotnego w produkcie końcowym. Odpowiednio zaprojektowane i wdrażane procesy przetwórcze powinny chronić wartość odżywczą surowca, jednocześnie cechując się elastycznością, umożliwiającą ich dostosowanie do rodzaju

przetwarzanego surowca pojawiającego się na hali. W krajowym przetwórstwie wciąż pozostaje nierozwiązany problem efektywnego kształtowania jakości półproduktów z liści morwy białej. Surowiec ten jest najczęściej traktowany jako zioło przyprawowe i poddawany wyłącznie procesowi suszenia. Liście morwy białej są rozpoznawalne przez diabetyków, dzięki swojej wysokiej wartości prozdrowotnej. Uzasadnionym jest zatem dostarczenie producentom i konsumentom półproduktów, które nie utracą swojej wartości prozdrowotnej w efekcie niedopracowanych zabiegów technologicznych. Dlatego też w pracach wskazanych jako dzieło naukowe wiodącymi stały się badania nad kształtowaniem charakteru półproduktów z liści, z jednoczesnym uwzględnieniem możliwości nowego ich wykorzystania aplikacyjnego.

Nadrzędnym **celem niniejszego dzieła naukowego** było określenie zakresu wykorzystania leżakowanych liści morwy białej w produkcji nowej żywności prozdrowotnej przeznaczonej dla diabetyków, z uwzględnieniem możliwości technologicznych producentów oraz maksymalizacji potencjału prozdrowotnego surowca.

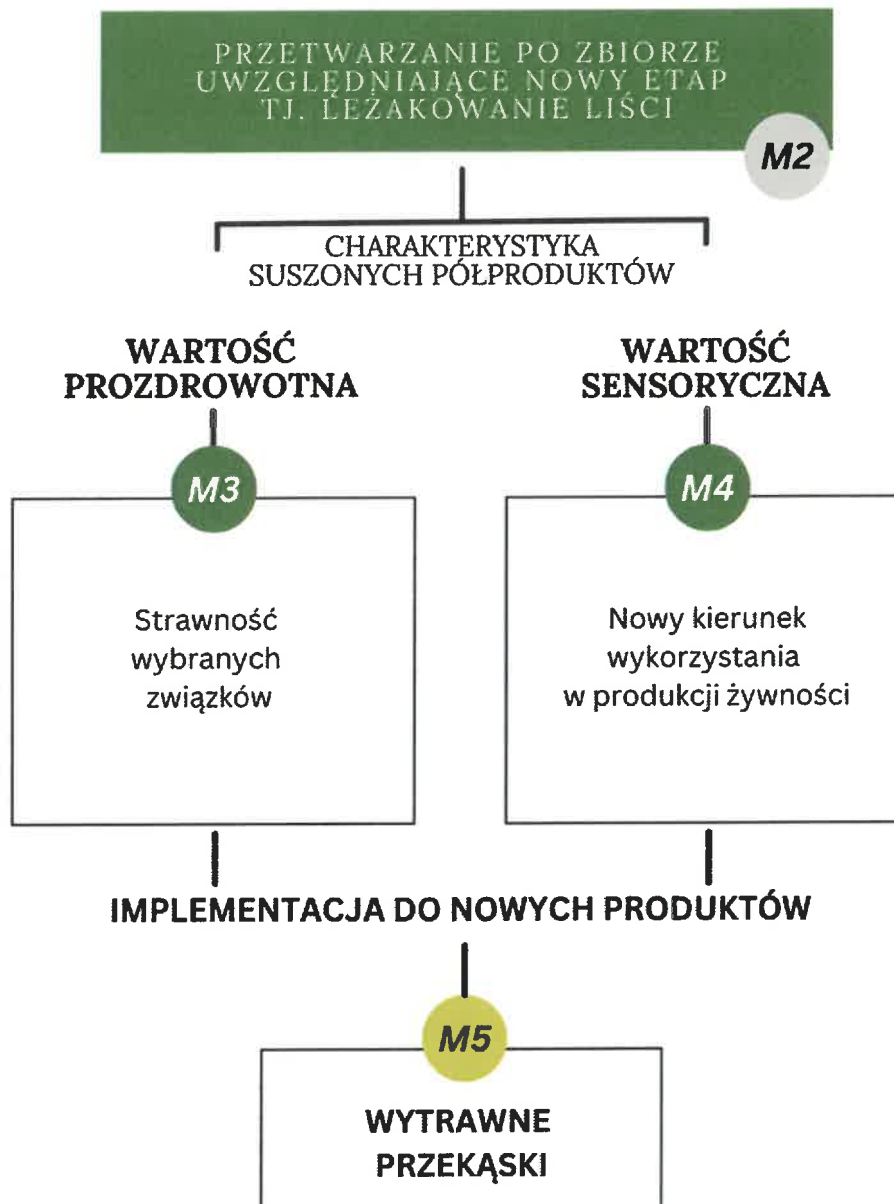
W tym celu postawiłam następujące **hipotezy badawcze**:

- H1.** Zastosowanie leżakowania liści morwy białej w kontrolowanych warunkach sprzyja poprawie właściwości prozdrowotnych półproduktów oraz efektywnemu wykorzystaniu surowca.
- H2.** Przetwarzanie liści morwy białej, wzbogacone o etap leżakowania, przyczynia się do poprawy strawności ich składników w warunkach *in vitro*.
- H3.** Leżakowanie liści morwy białej wpływa na redukcję odczuwania gorzkiego smaku.
- H4.** Włączenie liści morwy białej do matrycy produktu dedykowanego diabetykom oraz odpowiednie dopasowanie składników pod względem smakowym podnosi jego wartość prozdrowotną.

W celu weryfikacji postawionych hipotez zaplanowałam realizację **trzech zadań badawczych:**

- Z1. Opracowanie zmodyfikowanej technologii przetwarzania liści morwy bezpośrednio po zbiorze. (Osiągnięcie: M2)**
- Z2. Charakterystyka półproduktów uzyskanych z leżakowanych liści morwy w zakresie strawności wybranych związków (aspekt jakości prozdrowotnej) oraz możliwości wykorzystania ich (aspekt sensoryczny – smak gorzki). (Osiągnięcia: M3, M4)**
- Z3. Implementacja półproduktów z leżakowanych liści morwy do nowych produktów oraz ich analiza. (Osiągnięcie: M5)**

LIŚCIE MORWY BIAŁEJ



Ryc. 1. Schemat ideowy osiągnięcia naukowego poddawanego ocenie.

Ad. Z1. „Functional properties and antioxidant activity of *Morus alba* L. leaves var. Zolwiska Wielkolistna (WML-P) – the effect of controlled conditioning process”.
(osiągnięcie M2)

Morwa biała (*Morus alba* L., Folium Mori) należy do rodziny *Moraceae*. Szacuje się, że na świecie występuje około 30 gatunków drzew morwowych, z czego połowa pochodzi z Chin (Thabti i in., 2012). Łatwość zbioru, niskie koszty pozyskania i stosunkowo niskie wymagania agrotechniczne morwy białej pozwalają na powszechną uprawę i wykorzystanie np. w ogrodach, parkach. Instytut Włókien Naturalnych i Roślin Zielarskich (IWNiRZ) w Poznaniu prowadzi hodowlę zachowawczą polskiej odmiany morwy białej o nazwie Wielkolistna żółwińska. Odmiana ta została wyselekcjonowana w latach 50. XX wieku w Zakładzie Badawczym Jedwabiu Naturalnego w Żółwinie, w celu stworzenia bazy pokarmowej dla hodowli jedwabników morwowych. Odmiana ta pod kątem technologicznym nie jest do końca poznana i opisana w literaturze, a na rynku szeroko dostępne są głównie elementy tej rośliny importowane z Chin.

W medycynie wschodniej, różne elementy morfologiczne morwy białej przez wieki służyły do wytwarzania produktów leczniczych w celu „odżywienia krwi” i poprawy pracy nerek, jako środek na osłabienie i zmęczenie, w przypadkach nietrzymania moczu, zawrotów głowy, szumów usznych, zaparć, a nawet wspomaganie leczenia niektórych nowotworów (Yang i in., 2019). Niektóre z nich nadal znajdują zastosowanie w dzisiejszej medycynie chińskiej.

Z czasem produkty z morwy białej znalazły zastosowanie jako recepturowy składnik żywności również w innych kręgach kulturowych. W porównaniu z pozostałymi częściami morfologicznymi, to owoce są najpopularniejsze wśród konsumentów (Negro i in., 2019), chociaż to liście wykazują najwyższą aktywność przeciwutleniającą.

Zdecydowana większość liści, które są obecne na rynku spożywczym ma postać suszu i jest dostępna w formie dobrze znanych diabetykom herbatek. Mając na względzie możliwość rozwoju tej właśnie kategorii produktów, w pracy wchodzącej w skład osiągnięcia skupiłam się na upodobnieniu procesu przetwarzania liści morwy do sposobów przetwarzania liści herbaty *Camellia sinensis*, wprowadzając nowy etap – leżakowanie. Z jednej strony zabieg ten daje możliwość efektywnego i rozsądnego zagospodarowania przestrzeni czasowej po zbiorze liści, a jeszcze przed suszeniem. Wprowadzenie leżakowania wymaga zastosowania określonych warunków – konkretne zalecenia dla producenta po otrzymaniu surowca po zbiorze. Z drugiej

strony, leżakowanie liści morwy nie obniża jakości prozdrowotnej półproduktu, lecz może ją podnieść – istotne z punktu widzenia konsumenta.

W toku prowadzonych badań, **zaproponowałam zabieg leżakowania** (w 4 wariantach czasowych: 0 h – nieleżakowane, 1 h – leżakowane przez 1 godzinę, 2 h – leżakowane przez 2 godziny, 3 h – leżakowane przez 3 godziny, 4 h – leżakowane przez 4 godziny) rozdrobnionych i skręconych liści morwy w stałej temperaturze (opracowanej w oparciu o prowadzone wcześniej badania wstępne), kolejno suszonych tunelowo. Tak powstałe półprodukty, po ekstrakcji przeanalizowałam pod kątem zawartości istotnych związków biologicznie aktywnych (kwasy fenolowe, flawonole, 1-deoksynojirimycyna) i aktywność przeciwutleniającą.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że są to pierwsze badania, w których kompleksowo scharakteryzowałam ekstrakty wytworzone z liści morwy białej polskiej odmiany Wielkolistna żółwińska, oznaczając frakcje błonnika pokarmowego, profil kwasów tłuszczowych, aminokwasów, makro- i mikroelementów oraz zawartości chlorofilu. W półproduktach z liści polskiej odmiany oznaczyłam zawartość białka, która kształtowała się na poziomie 11-13%, potwierdzając możliwość zastosowania ich jako składnika białkowego, co już wcześniej proponowali inni autorzy wykorzystując wiodące chińskie odmiany: Tuantou Heyebai, Husang No.9, Tongxiangqing, Nongsang No.8 (Yao i in., 2000). W osiągnięciu **M2** stwierdzono, że zawartość aminokwasów egzogennych w próbie nieleżakowanej wyniosła 8,805 g/100g, a zabieg leżakowania redukował zawartość aminokwasów egzogennych w kolejności: 0 h > 1 h > 3 h > 2 h > 4 h. Stosunek aminokwasów egzogennych do endogennych wahał się od 65% do 67% i był podobny do obserwowanego w chińskich odmianach (Yao i in., 2000), jednakże w odmianie Wielkolistna żółwińska oznaczono wyższą zawartość glicyny, lizyny, waliny, fenyloalaniny, izoleucyny, argininy, treoniny. Istotną cechą analizowanych półproduktów z polskich liści morwy białej był oznaczony po raz pierwszy profil kwasów tłuszczowych. Stwierdzono, że NNKT stanowiły prawie 2/3 wszystkich kwasów, a kwas α -linolenowy stanowił niemal połowę wielonienasyconych kwasów tłuszczowych. Obliczono, że stosunek NNKT/NKT wynosił ok. 1,9-2,0 i był wyższy niż w liściach odmian serbskich (M. Radojković i in., 2016), a zabieg leżakowania nie zmieniał go. Zaobserwowano również obecność wapnia i magnezu na podobnym poziomie jak w tajskich i serbskich odmianach liści morwy (Nookabkaew i in., 2006; M. Radojković i in., 2014). Zabieg leżakowania wpływał na zawartość błonnika pokarmowego w badanych przeze mnie półproduktach liściowych, a dominującą frakcją była frakcja nierozpuszczalna (92%). Dla porównania liście odmian

indyjskich zawierały go o 1-5% więcej, przy podobnej ilości neutralnego detergentowego błonnika pokarmowego, ważnego dla utrzymania zrównoważonego składu mikrobioty jelitowej człowieka. Stwierdziłam, że zawartość błonnika była porównywalna z zawartością w liściach kopru, pietruszki czy kapusty białej. Zawartość ligniny zwiększyła się w efekcie leżakowania z 0,10 do 0,18 g/100 g. Przypuszcza się, że wzrost ten był spowodowany zdolnością ligniny do wiązania polifenoli do nieokreślonych kompleksów o niższej aktywności przeciwutleniającej, ale wymaga to potwierdzenia w dalszych badaniach.

Mając na względzie zastosowanie półproduktów lub ekstraktów z liści morwy białej odmiany Wielkolistna żółwińska w skali przemysłowej, na przykład do produkcji suplementów diety lub żywności funkcjonalnej, ekstrakcję związków prowadziłam tylko z użyciem wody. W obszarze aktywności przeciwutleniającej wynikającej z obecności związków biologicznie aktywnych stwierdziłam, że zabieg leżakowania sprzyjał zwiększeniu zawartości związków fenolowych. Najlepsze rezultaty uzyskano w przypadku 3-godzinnego zabiegu, co spowodowało wzrost zawartości związków fenolowych o 46%. Zawartość ta była jednak dwukrotnie niższa niż w liściach indyjskich (Arabshahi-Delouee i Urooj, 2007), oraz 3-4 – krotnie niższa niż w liściach hiszpańskich (ekstrakcję prowadzono z wykorzystaniem metanolu) (Sánchez-Salcedo i in., 2015). Ekstrakcja wodna w skali półtechnicznej przyczynia się do obniżenia zawartości polifenoli mierzonych metodą Folina. Spośród polifenoli to kwasy fenolowe i flawonole stanowią główną grupę związków obecnych w liściach morwy, które zidentyfikowałam w badanych półproduktach z liści. Ich obecność w dużej mierze determinuje aktywność przeciwutleniającą. Zaobserwowałam, że zabieg leżakowania do 2 godzin sprzyjał zwiększaniu zawartości analizowanych flawonoli, które w takich warunkach ulegały uwolnieniu z bardziej złożonych struktur matrycy liściowej. Dominujące w układzie kwasy chlorogenowy i kawowy, podwoiły swoją ilość po 2 godzinach. Co istotne, dłuższe leżakowanie nie skutkowało niższymi zawartościami fenolokwasów niż w liściach nieleżakowanych, choć nie było już tak spektakularne. Kwas chlorogenowy dominował również w ekstraktach liści morwy pochodzących z innych krajów – Korei, Chin, Tajlandii (Chon i in., 2009; Kujawska i in., 2016; Wanyo i in., 2011; Zhang i in., 2018), a kwasy galusowy i protokatechowy oznaczyłam w ilości zbliżonej do liści zebranych w Serbii (M. Radojković i in., 2016). Intensywność przyrostu zawartości kwasów zachodząca w czasie 1- i 2-godzinnego leżakowania pokazała, że największe zmiany biochemiczne zachodzą na początku zabiegu, zaś dłuższe leżakowanie zazwyczaj skutkuje rozpadem do kwasów kawowego i chinowego. Za taką przemianę kwasu chlorogenowego do kawowego odpowiedzialne są esterazy,

zapewniając estrom kwasów fenolowych łatwiejszą wchłanianiałość. Na podstawie tych obserwacji, **zasugerowałam aby zmianę stosunku ilości kwasu kawowego wobec kwasu chlorogenowego w liściach morwy uznać za wskaźnik intensywności przemian zachodzących podczas przetrzymywania liści** po zbiorze. Monitorowanie tego stosunku może wspierać określenie optymalnego momentu rozpoczęcia procesu przetwórczego liści dla uzyskania pożądanej jakości prozdrowotnej finalnego półproduktu, pomimo naturalnie występującej różnorodności surowca wynikającej ze sposobu uprawy, odmiany, terminu zbioru. Opracowanie takiego precyzyjnego wskaźnika zmian wymaga jednak osobnych analiz. W grupie flawonoli leżakowanie skutkowało znacznym przyrostem ich zawartości, w układzie rosnącym: 0 h < 3 h < 1 h < 2 h. Dominującymi flawonolami były rutyna, izokwercetyna, astragalina i 3-*O*-(6''-*O*-malonył)- β -*D*-glukozyd kwercetyny, które najintensywniej uwalniały się w form związanych w ciągu pierwszych 2 godzin zabiegu. Zawartości te były zbliżone do uzyskanych w liściach morwy białej zebranych w Korei (Lee i Choi, 2012). Bardzo silnym flawonolem w liściach morwy jest 3-*O*-(6''-*O*-malonył)- β -*D*-glukozyd kwercetyny o działaniu przeciwmiażdżycowym i przeciwhiperqlikemicznym, którego zawartość wzrosła w efekcie leżakowania o 31%, a dłuższe leżakowanie skutkowało hydrolizującym oddziaływaniem endogennych esteraz uwalnianych podczas rozdrabniania liści i uwalnianiem aglikonu kwercetyny. Rozpad złożonych struktur flawonoli skutkował wzrostem zawartości kwercetyny nawet po 4 godzinach leżakowania, uzyskując wartości podobne do liści morwy pochodzących z Korei (G.-N. Kim i Jang, 2011).

W omawianym osiągnięciu oznaczenie tych związków miało istotne znaczenie, gdyż przypuszcza się, że do 50% efektu przeciwcukrzycowego ekstraktów liściowych zależne jest od obecności kwasu chlorogenowego i rutyny. Kwas chlorogenowy może osłabiać glikogenolizę i zmniejszać wychwyty glukozy oraz ma silne właściwości przeciwutleniające (G.-N. Kim i Jang, 2011; Thabti i in., 2012). Rutyna ma znaczenie w profilaktyce nowotworów i hamuje peroksydację cholesterolu frakcji LDL, a jej zawartość wzrosła w toku leżakowania i była zbliżona do chińskich odmian Yun711, Qiangsang1, 7946 i Fengtian5 (Zhang i in., 2018).

Ważnym biologicznie składnikiem liści morwy jest alkaloid DNJ, czyli 1-deoksynojirimycyna o działaniu przeciwbakteryjnym, przeciwzapalnym, neuroprotekcijnym, z możliwością uczestnictwa w modulacji mikrobioty jelitowej (J.-W. Kim i in., 2003). Zaobserwowałam, że 3-godzinne leżakowanie liści stabilizuje zawartość DNJ na podobnym poziomie do wyjściowego, a jego ilość jest zbliżona do chińskich odmian (Zhang i in., 2018).

Aktywność przeciwutleniającą liści morwy białej polskiej odmiany Wielkolistna zółwińska określono z wykorzystaniem czterech testów, opartych na mechanizmie przeniesienia pojedynczego elektronu (SET). W teście DPPH[•] leżakowanie przez 1 lub 2 godziny zwiększyło aktywność przeciwrodnikową o 4% do 26%, a wartości te były niższe od liści hiszpańskich (Iqbal i in., 2012) i dwukrotnie wyższe niż zmierzone w liściach drzew dziko rosnących na terenie Polski (Tajner-Czopek i in., 2020). Podobną tendencję zaobserwowałam w teście chelatowania żelaza, a brak wpływu leżakowania stwierdziłam z teście FRAP. Podobne wyniki uzyskali autorzy dla tajskich liści morwy (Wanyo i in., 2011). Z kolei w teście z ABTS⁺ uważanym za bardziej kompleksowy, leżakowanie redukowało tę aktywność, i było niższe niż w hiszpańskich liściach morwy białej. Dodatkowo dzięki przeprowadzonej charakterystyce profilu aminokwasowego i kwasów tłuszczowych stwierdziłam, że **polskie liście morwy mają układ korzystny pod względem prozdrowotnym, a wkomponowanie zabiegu leżakowania do protokołu przetwarzania, utrzymuje ten charakter**. Na tym etapie pracy wykazałam, że dodatek zabiegu leżakowania do procesu przetwórczego, pozwala uzyskać półprodukty liściowe o lepszych właściwościach niż próby tego pozbawione, przynosząc kolejne **potencjalne efekty zdrowotne**. Proces leżakowania w temperaturze ok. 32-35°C spowodował zmiany właściwości funkcjonalnych i aktywności przeciwutleniającej, które były zależne od czasu jego trwania i wynikały z uaktywnienia enzymów własnych tj. polifenoloksydazy, hydrolazy, syntetazy. Spośród testowanych parametrów czasowych, to leżakowanie przez 1 lub 2 godziny skutkowało największym przyrostem oznaczanych związków bioaktywnych, zaś 3-godzinne i/lub 4-godzinne leżakowanie raczej redukowało ich liczebność.

Uzyskane w tej pracy wyniki wskazały na możliwość wykorzystania takich półproduktów w produkcji przemysłowej, gdyż czas 2 godzin od momentu zbioru do przetworzenia wydaje się być realnym z punktu widzenia dostawcy. Jednocześnie **potwierdziłam postawioną hipotezę H1** wykazując, że kontrolowane leżakowanie liści morwy białej po zbiorze, podobnie jak w przypadku herbaty, poprawia właściwości prozdrowotne półproduktów i przyczynia się do efektywnego wykorzystania takiego surowca. Według posiadanej przeze mnie wiedzy, na etapie prowadzenia analiz **brak było badań**, które podejmowały ustalenie zmian w składzie półproduktów z liści morwy, zachodzących podczas podobnego zabiegu.

Ad. Z2. “How Does *In Vitro* Digestion Change the Amount of Phenolics in *Morus alba* L. Leaf? Analysis of Preparations and Infusions” (osiągnięcie M3) + “*Morus alba* L. Leaves (WML) Modulate Sweet (TAS1R) and Bitter (TAS2R) Taste in the Studies on Human Receptors – A New Perspective on the Utilization of White Mulberry Leaves in Food Production?”. (osiągnięcie M4)

Polifenole stają się coraz bardziej dostępne jako składniki suplementów diety oraz żywności funkcjonalnej. Pomimo rosnącej liczby dowodów potwierdzających ich farmakologiczną skuteczność i korzystny wpływ na zdrowie człowieka, równocześnie pojawiają się obawy dotyczące ich rzeczywistej aktywności biologicznej w organizmie. Zastrzeżenia te dotyczą przede wszystkim zależności między strukturą chemiczną polifenoli a ich wchłanianiem jelitowym, metabolizmem oraz biodostępnością (Teng i in., 2012). W żywności prozdrowotnej polifenole pełnią istotną funkcję, uczestnicząc w mechanizmach regulujących dostarczanie składników bioaktywnych, takich jak modulacja metabolizmu glukozy u osób z cukrzycą (Przeor, 2022; Shahwan i in., 2022), czy w zakresie funkcjonalności osi jelitowo-mózgowej (Xie i in., 2023).

Proces trawienia w organizmie człowieka jest złożony i zależy od wielu czynników, takich jak stężenie składników oraz matryca, w której są one dostarczane, rodzaj powiązań z innymi strukturami, profil mikrobioty jelitowej (zróżnicowany indywidualnie i zależny m.in. od stanu zdrowia oraz diety), a także aktualna aktywność enzymów trawiennych (Soriano Sancho i in., 2014; Szczepaniak i in., 2021). Strawność polifenoli jest badana w różnych warunkach eksperymentalnych, uwzględniających m.in. charakter i stężenie analizowanego materiału, długość trwania poszczególnych faz trawienia oraz obecność i skład mikroorganizmów jelitowych (Abd El-Hack i in., 2023; Lucas-González i in., 2018; Tian i in., 2021). Choć badania prowadzone *in vitro* nie są w stanie w pełni odzwierciedlić warunków panujących *in vivo*, stanowią istotny etap w poznawaniu zmian profilu zachodzących podczas trawienia surowca.

W celu lepszego zrozumienia zmian zachodzących w liściach *Morus alba* pochodzących z krajowych upraw w trakcie przetwarzania technologicznego z uwzględnieniem etapu leżakowania, **przeprowadziłam symulację procesu trawienia (trzecie osiągnięcie – M3)**. Celem tej części badań było uzupełnienie wiedzy na temat właściwości chemicznych kierunkowo przetwarzanych liści oraz identyfikacja zmian w profilu fenolokwasów i flawonoli, zachodzących pod wpływem warunków odzwierciedlających kolejne odcinki przewodu pokarmowego. Analizie poddano dwie formy surowca: (1) półprodukty otrzymane z liści

morwy oraz (2) napary przygotowane na ich bazie, odpowiadające popularnym na rynku herbatkom ziołowym. Symulowany proces trawienia prowadziłam w warunkach laboratoryjnych w sposób ciągły, a próby pobierane na poszczególnych jego etapach analizowałam chromatograficznie.

Jako pierwsze **analizowałam półprodukty z liści morwy białej**. Na wszystkich etapach symulowanego procesu trawienia dominującymi związkami były kwasy: galusowy, chlorogenowy oraz kawowy. Wraz z postępowaniem trawienia obserwowano wzrost zawartości kwasów galusowego, 4-hydroksybenzoesowego, wanilinowego oraz kawowego, co wskazuje na ich sukcesywne uwalnianie pod wpływem aktywności enzymatycznej charakterystycznej dla kolejnych odcinków przewodu pokarmowego. Z kolei zawartość kwasów protokatechowego, chlorogenowego, syringowego oraz ferulowego ulegała zazwyczaj istotnemu obniżeniu. Profil chemiczny materiału uzyskanego po trawieniu liści leżakowanych przez 1, 2 oraz 3 godziny był porównywalny pod względem stężenia poszczególnych kwasów fenolowych. Co istotne, zabieg leżakowania trwający do 3 godzin sprzyjał zwiększonemu uwalnianiu zarówno fenolokwasów, jak i flawonoli do symulowanej „treści pokarmowej”, w porównaniu do próbek z liści nieleżakowanych.

W przypadku flawonoli zaobserwowano, że proces trawienia *in vitro* powodował stosunkowo regularne zmiany ich zawartości – począwszy od etapu jelita cienkiego następowała stopniowa redukcja, która osiągała maksimum w końcowej fazie trawienia w jelicie grubym. Największą odporność na warunki trawienne wykazywały izoramnetyna, astragalina oraz kwercetyna. Zastosowanie 2-godzinnego leżakowania liści morwy skutkowało podwyższoną zawartością flawonoli oraz ich intensywnym uwalnianiem w trakcie trawienia, co wskazuje na zasadność stosowania tego etapu w procesie technologicznym. Ilości flawonoli oznaczone na etapie jelita grubego różniły się istotnie pomiędzy wariantami półproduktów, osiągając maksymalne zróżnicowanie do 48%. Największe straty tych związków odnotowałam w końcowym etapie trawienia (39–67%), co wskazuje na intensywny ich rozkład. Analiza statystyczna wykazała istotne liniowe korelacje pomiędzy zawartością wybranych flawonoli (izokwercetyny, 3-O-(6''-O-malonyl)- β -D-glukozydu kwercetyny oraz mirycetyny) a etapem trawienia oraz czasem leżakowania liści. Należy jednak zaznaczyć, że istotność wpływu czasu leżakowania dotyczyła jedynie izokwercetyny. Dodatkowo, wykazałam statystycznie istotne, choć niezbyt silne, korelacje pomiędzy zawartością astragaliny i kwercetyny a czasem leżakowania liści morwy białej.

Uwzględniając praktyczny aspekt prowadzonych badań, **analizie poddałam również napary sporządzone z półproduktów** liści morwy białej, zarówno leżakowanych, jak i nieleżakowanych. Zawartości wszystkich oznaczonych fenolokwasów i flawonoli w naparach były istotnie niższe w porównaniu z próbkami uzyskanymi po trawieniu półproduktów liściowych, co można tłumaczyć stopniem rozcieńczenia związków bioaktywnych w roztworze wodnym, jakim jest napar. Podobnie jak w przypadku trawionych półproduktów, w naparach dominował kwas galusowy, którego stopniowe uwalnianie do symulowanej „treści pokarmowej” obserwowano w trakcie procesu trawienia, szczególnie wyraźnie w próbkach pochodzących z liści leżakowanych przez 3 godziny. Z kolei kwasy chlorogenowy i kawowy występowały w niskich stężeniach, co prawdopodobnie wynikało z ich częściowej degradacji lub strat podczas procesu wysokotemperaturowego zaparzania. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdziłam, że największą podatność na trawienie wykazywały napary przygotowane z liści leżakowanych. Kwas ferulowy charakteryzował się relatywnie wysoką stabilnością w warunkach symulowanego trawienia, niezależnie od zastosowanych warunków środowiskowych. Analiza sumarycznej zawartości fenolokwasów wykazała istotne ich uwalnianie w warunkach imitujących środowisko żołądka i dwunastnicy, co może być związane z gwałtowną zmianą pH oraz działaniem enzymów trawiennych. Najbardziej liniowy profil uwalniania obserwowałam w przypadku naparów przygotowanych z liści leżakowanych przez 2 i 3 godziny. Dodatkowo, analizując wpływ etapu trawienia na zawartość kwasów galusowego, 4-hydroksybenzoesowego, wanilinowego oraz kawowego, odnotowałam dodatnie korelacje w teście kolejności rang Spearmana.

W naparach poddanych symulowanemu trawieniu całkowita zawartość flawonoli ulegała wahaniom na kolejnych etapach trawienia, przy czym warunki panujące w dwunastnicy sprzyjały ich uwalnianiu. W wyniku specyficznego pH tego odcinka dochodzi do rozrywania wiązań wodorowych oraz jonowych między flawonolami a składnikami matrycy liściowej. W kolejnych fragmentach przewodu pokarmowego, wraz ze stopniowym wzrostem pH środowiska, obserwowałam zmniejszenie zawartości oznaczanych form flawonoli, sięgające co najmniej jednej trzeciej w wariancie nieleżakowanym na ostatnim badanym etapie. Analiza statystyczna wykazała ujemną korelację pomiędzy czasem leżakowania liści a zawartością poszczególnych flawonoli. Umiarkowane dodatnie korelacje, określone testem Spearmana, stwierdzono dla wpływu kolejnych etapów trawienia jedynie na zawartość rutyny, izokwercetyny, 3-*O*-(6''-*O*-malonył)- β -*D*-glukozydu kwercetyny oraz kwercetyny. Porównanie wyników uzyskanych dla symulowanego trawienia półproduktów liściowych oraz

przygotowanych z nich naparów wykazało istotną korelację zawartości flawonoli między tymi dwoma typami próbek.

Kwasy fenolowe oraz flawonole należą do grupy polifenoli, których obecność w największym stopniu determinuje aktywność przeciwutleniającą liści morwy białej. W ramach prezentowanego osiągnięcia *M3* oznaczyłam zarówno pochodne kwasu benzoowego, jak i cynamonowego, których stężenia w nowo wytworzonych półproduktach liściowych były wyższe dzięki zastosowaniu zabiegu leżakowania. Wcześniej przeprowadzone przeze mnie analizy wykazały, że półprodukty liściowe uzyskane w warunkach laboratoryjnych i poddane 3-godzinnemu leżakowaniu zawierają najwyższe ilości omawianych związków, podczas gdy brak leżakowania skutkuje obniżeniem ich zawartości o 70–80%. Natomiast przy zwiększeniu skali produkcji do poziomu półtechnicznego zaobserwowano wzrost ogólnej zawartości kwasów fenolowych i flawonoli już po 2 godzinach leżakowania. Dominującymi związkami w półproduktach, podobnie jak w liściach morwy koreańskiej, były kwas chlorogenowy, kwas kawowy oraz flawonole: rutyna, izokwercetyna, astragalina i 3-*O*-(6''-*O*-malonyl)- β -*D*-glukozyd kwercetyny (Lee i Choi, 2012).

Proces trawienia półproduktów otrzymanych z liści morwy białej oraz naparów sporządzonych na ich bazie przeprowadziłam w warunkach *in vitro* z wykorzystaniem wieloelementowego modelu przewodu pokarmowego. Zastosowałam sekwencyjny, zamknięty układ, w którym kolejne etapy następowały bezpośrednio po sobie w jednakowych odstępach czasowych oraz w możliwie identycznych warunkach eksperymentalnych. W ten sposób warunki biochemiczne panujące w jamie ustnej, żołądka oraz jelitach odtworzono w czaszy bioreaktora laboratoryjnego. Pierwszym etapem symulacji było odtworzenie warunków jamy ustnej, polegające na inkubacji próbki w czaszy bioreaktora w temperaturze 37°C w celu jej homogenizacji. Następnie wprowadzono warunki niskiego pH oraz dodano pepsynę, imitując środowisko żołądka. W ramach tego etapu wykazałam, że symulacja warunków jamy ustnej i żołądka prowadziła do nieregularnych zmian ilościowych w stężeniach kwasów fenolowych oraz flawonoli – obserwowałam zarówno redukcję zawartości tych związków w półproduktach nieleżakowanych i leżakowanych przez 1 godzinę oraz ich naparach, jak i wzrost w próbkach pochodzących z liści leżakowanych dłużej oraz w ich naparach. Zaobserwowane zmiany w zawartości polifenoli na początkowych etapach symulowanego trawienia znalazły potwierdzenie w literaturze naukowej. Niektóre badania wskazują na spadek zawartości polifenoli podczas ekspozycji na warunki jamy ustnej i żołądka, natomiast inne podkreślają względną stabilność tych związków w trakcie przechodzenia przez te odcinki przewodu

pokarmowego (Kamiloglu i in., 2016; Siracusa i in., 2012). Tłumaczy się to krótkim czasem ekspozycji próbek na kwaśne środowisko żołądka, co skutkuje ograniczoną hydrolizą oraz niewystarczającym uwalnianiem polifenoli ze struktur komórkowych. Ponadto zakłada się, że niskie pH środowiska może wykazywać efekt ochronny względem struktury polifenoli (Pineda-Vadillo i in., 2016). W kolejnym etapie doświadczenia przeprowadziłam symulację warunków jelitowych, stopniowo ustalając pH na poziomie 6,0 przez 0,5 godziny, następnie 7,4 przez 2 godziny oraz 8,0 przez 18 godzin, w obecności odpowiednich enzymów i kontrolowanych warunków atmosferycznych. Największą redukcję zawartości kwasów fenolowych i flawonoli zaobserwowano po pełnym przejściu próbek przez etap imitujący jelita, co jest zgodne z fizjologią procesu trawienia — docierając do jelita grubego, substancje te podlegają intensywnej degradacji i przekształceniu przez zasiedlającą je mikrobiotę do prostszych metabolitów. Aby lepiej odwzorować warunki jelitowe, podczas symulacji etapu jelita grubego wprowadzałam jednakową porcję mikrobioty. Warto podkreślić, że obecność polifenoli może również stymulować wzrost głównych szczepów bakterii jelitowych (Parker i in., 2013).

W literaturze naukowej coraz częściej podkreśla się, że zdolność przeciwutleniająca żywności pochodzenia roślinnego wynika nie tyle z samej zawartości związków biologicznie czynnych, co z aktywności metabolitów fenolowych pochodzenia bakteryjnego, których wysokie stężenia obserwuje się przede wszystkim w jelicie grubym (Sadeghi Ekbatan i in., 2016). Polifenole w formie glikozydów są na ogół mniej biodostępne i w większości przechodzą aż do środowiska jelitowego. Główna biotransformacja glikozydów, często odpornych na enzymy górnego odcinka przewodu pokarmowego, zachodzi dopiero w jelicie grubym pod wpływem enzymów, m.in. esteraz (odpowiedzialnych za uwalnianie kwasów fenolowych), dekarboksylaz, dehydroksylaz (modyfikujących pierścienie aromatyczne), a także glukozydaz i ramnozydaz (rozkładających reszty cukrowe z glikozydów). Skład mikrobioty jelitowej ma zatem kluczowe znaczenie dla metabolizmu i biodostępności polifenoli. Badania na zwierzętach oraz ludziach potwierdziły ten mechanizm dla wielu polifenoli, w tym kwasu chlorogenowego, kwasu kawowego, kwasu ferulowego oraz rutyny (Stalmach i in., 2009).

W przedłożonym osiągnięciu **wykazalam, że długotrwałe, 4-godzinne leżakowanie** liści morwy białej utrudniało rozkład kwasu chlorogenowego podczas symulowanego trawienia. Natomiast trawienie półproduktów z liści leżakowanych krócej oraz nieleżakowanych prowadziło do znaczącego zmniejszenia zawartości tego kwasu —

odpowiednio o 53% i 99%. Podobny zakres redukcji kwasu chlorogenowego w innym surowcu odnotował zespół Siracusa: 58% po przejściu przez symulowany żołądek oraz 95% po inkubacji w warunkach imitujących jelita (Siracusa i in., 2012). W prowadzonych badaniach redukcja kwasu kawowego w próbkach nieleżakowanych poddanych warunkom symulującym jelita wyniosła 73%, co jest wyższą wartością niż obserwowana dla czystego kwasu kawowego (43%) (Tagliazucchi i in., 2010). Sugeruje to większą podatność matrycy roślinnej na procesy trawienne, co może wynikać z obecności innych związków ułatwiających uwalnianie polifenoli z kompleksów w trakcie trawienia. Wykazałam tym samym, że naturalna obecność białek, enzymów, błonnika w surowcu oraz złożony układ matrycy może modulować stabilność kwasu kawowego, sprzyjając jego degradacji lub biotransformacji. Ponadto, większy stopień redukcji kwasu kawowego w próbkach nieleżakowanych wskazuje, że proces leżakowania działa stabilizująco na fenole wkomponowane w matrycę żywnościową. Stabilizacja ta może wynikać ze zmian strukturalnych ścian komórkowych powstałych podczas skręcania liści przed leżakowaniem lub z interakcji między fenolami a strukturą liścia.

W jelitach, pod wpływem bakteryjnej esterazy, wiązanie estrowe kwasu chlorogenowego ulegało hydrolizie, prowadząc do uwolnienia kwasu kawowego i kwasu chinowego. Powstały kwas kawowy, później po dehydroksylacji przekształcał się także w kwas 3-(3-hydroksyfenilo)-propionowy (3-HPPA). We wszystkich analizowanych wariantach kwas kawowy był obecny, a jego wzrastającą zawartość na kolejnych na kolejnych etapach trawienia przypisałam hydrolizie kwasu chlorogenowego, czego potwierdzeniem była jednoczesna redukcja jego stężenia. Dalszym przebiegu trawienia, kwas kawowy może ulegać *O*-metylacji, przekształcając się w kwas ferulowy i dihydroferulowy, a następnie w kwas wanilinowy. Ponadto, mikrobiologiczny metabolizm kwasu kawowego prowadzić może do powstania kwasu dihydrokawowego i kwasu *m*-kumarowego (Rechner i in., 2004). Potwierdzeniem opisanych przemian, począwszy od kwasu chlorogenowego, a skończywszy na kwasie kawowym, była obecność metabolitów takich jak kwas ferulowy, izoferulowy, dihydroferulowy oraz wanilinowy w moczu osób spożywających kawę wzbogaconą w kwas chlorogenowy (Stalmach i in., 2009). Część z tych związków została również oznaczona na końcowych etapach symulowanego trawienia. Zawartość kwasu protokatechowego zmniejszała się wraz z postępowaniem symulowanego trawienia we wszystkich analizowanych półproduktach, szczególnie w ostatnim odcinku jelita grubego – redukcja ta wynosiła od 56% do 85%. Kwas protokatechowy może być syntetyzowany z kwasu kawowego w wyniku aktywności mikrobioty jelitowej, zwłaszcza w okrężnicy (Sadeghi Ekbatan i in., 2016)

lub powstawać w wyniku metabolizmu kwercetyny (Rechner i in., 2004). Tego rodzaju przemiany nie miały jednak charakteru dominującego, ponieważ zawartość kwasu kawowego i kwercetyny w półproduktach z liści leżakowanych nie ulegała istotnej redukcji. Otrzymane wyniki są zatem najprawdopodobniej efektem równoczesnego uwalniania kwercetyny ze złożonych struktur liściowych lub z innych flawonoli oraz zachodzących procesów degradacyjnych, które mogły przeważać w poszczególnych etapach trawienia. Zawartość kwasu *p*-kumarowego wzrosła po symulowanym trawieniu w warunkach żołądka i dwunastnicy w przypadku półproduktów leżakowanych przez 2 i 3 godziny, jednak uległa redukcji po przejściu przez warunki symulujące jelita. Poziom ten był niższy niż wartości odnotowane w badaniach innych autorów (Sadeghi Ekbatan i in., 2016). Największą redukcję zawartości kwasów fenolowych po etapie jelitowym – na poziomie 36–46% – odnotowano również w badaniach literaturowych (Celep i in., 2015). Za główną przyczynę tych strat uznano zmiany pH oraz obecność soli kwasów żółciowych w jelicie, które mogą prowadzić do wytrącania się kwasów fenolowych. Dodatkowo, niestabilność kwasów kawoilochinowych w środowisku wodnym mogła przyczynić się do zaobserwowanych w próbkach strat (Ozkan i in., 2016).

W przeprowadzonym badaniu **po raz pierwszy wykazałam**, że rutyna zawarta w liściach morwy ulega stopniowej degradacji podczas symulowanego procesu trawienia, co dotychczas nie zostało opisane w literaturze naukowej. Uzyskane wyniki stanowią zatem **nowe osiągnięcie naukowe** oraz istotną podstawę do dalszych prac nad biodostępnością polifenoli. W warunkach symulowanego środowiska żołądkowego zaobserwowałam redukcję ilości rutyny na poziomie ~3–15%, natomiast w warunkach jelitowych – znacznie wyższą, sięgającą 61–99%. Rutyna (3-*O*-rutynozyd kwercetyny), oznaczona w analizowanych próbkach, to jeden z kluczowych glikozydów flawonoidowych obecnych w liściach morwy. Jej obecność uznaje się za istotny czynnik warunkujący prozdrowotne właściwości tego surowca. W wyniku metabolizmu jelitowego – głównie dzięki aktywności bakteryjnych glikozydaz – rutyna ulega przekształceniu do kwercetyny, która może być dalej metabolizowana do kwasu 3,4-dihydrofenylooctowego (DOPAC). Związek ten, będący neuroprzebieżnikiem w układzie dopaminergicznym, wykazuje działanie przeciwzapalne i kardioprotekcyjne. Jednakże w warunkach niedoboru wolnych rodników, DOPAC może działać niekorzystnie – hamując mitochondrialne oddychanie komórkowe w neuronach, co związane jest z mechanizmami neurodegeneracyjnymi charakterystycznymi dla chorób takich jak choroba Parkinsona (Duda-Chodak i in., 2015). W trakcie bakteryjnego rozkładu rutyny w symulowanym

przewodzie pokarmowym dochodziło do powstania kwercetyny, której zawartość oznaczyłam ilościowo. Wykazałam, że procesy bakteryjnej degradacji flawonoli prowadzą do wtórnego wzrostu stężenia kwercetyny w środowisku trawiennym. Istotną redukcję jej ilości zaobserwowałam dopiero po osiągnięciu warunków imitujących okrężnicę. W przypadku półproduktów liściowych redukcja ta wynosiła 23–70%, natomiast w naparach: 1–63%. Jednocześnie wzrost poziomu kwercetyny na wcześniejszych etapach trawienia był związany z rozpadem innych flawonoli, w których strukturze występuje ona jako część aglikonu, tj. 3-*O*-(6''-*O*-malonył)- β -*D*-glukozydu kwercetyny, rutyny, izokwercetyny (3- β -*D*-glukozydu kwercetyny) i izoramnetyny (3-metylokwercetyny), co potwierdziło udział złożonych przemian metabolicznych w jej uwalnianiu. Zawartość tych flawonoli stopniowo malała w trakcie symulowanego procesu trawienia. Podobny trend zaobserwowałam w przypadku astragaliny, której stężenie początkowo wzrosło w warunkach symulowanego jelita cienkiego, a następnie uległo redukcji po przejściu do etapu imitującego jelito grube. Rozpad astragaliny, zawierającej w swojej strukturze aglikon kempferol, był skorelowany ze wzrostem zawartości samego kempferolu – szczególnie wyraźnym w próbkach półproduktów z liści nieleżakowanych. Zjawisko to jest zgodne z wcześniejszymi doniesieniami, w których obserwowano początkowy wzrost zawartości polifenoli wynikający z ich uwalniania ze struktur komórkowych liści (Bouayed i in., 2011). Warto podkreślić, że liście morwy białej w trakcie etapu przygotowania wstępnego były dodatkowo delikatnie skręcane w warunkach półtechnicznych, co mogło sprzyjać większej dostępności związków bioaktywnych.

Podsumowując, **istotnym osiągnięciem naukowym przeprowadzonych badań jest wykazanie, że w warunkach symulowanego trawienia przewodu pokarmowego dochodzi do stopniowego uwalniania i transformacji związków fenolowych z półproduktów liściowych morwy białej.** Procesy te prowadzą do zwiększenia biodostępności wybranych polifenoli poprzez ich konwersję do form bardziej przyswajalnych i potencjalnie bioaktywnych.

Otrzymane wyniki badań, przedstawione w tym osiągnięciu, pośrednio **dostarczyły również danych pozwalających na ustalenie odpowiedniej lub zalecanej dawki herbatek z liści morwy białej do spożycia, oddziałującej korzystnie na zdrowie konsumentów.** Aktualnie producenci naparów podając zalecane na opakowaniach handlowych dawkowanie herbatek na poziomie 2 szklanek dziennie, nie odnoszą się do żadnych wytycznych żywieniowych ani zaleceń w tym zakresie. Takie praktyki skutkowały ryzykiem zarówno niedoszacowania, jak i przeszacowania efektów prozdrowotnych. **Wyniki moich badań wypełniają tę lukę,**

dostarczając danych niezbędnych do **racjonalnego i bezpiecznego określania dawek konsumpcyjnych**.

W osiągnięciu **M3** jako kluczową wskazałam konieczność uwzględnienia faktu, że osoby pijące napary z liści morwy białej prawdopodobnie stosują leki przeciwcukrzycowe, zatem włączenie naparów z tych liści powinno być kontrolowane z uwzględnieniem możliwych interakcji. Ponadto, biorąc pod uwagę różnice pomiędzy odmianami morwy białej istnieje ryzyko błędnego dawkowania przez konsumentów, szczególnie przy samodzielnie podejmowanej decyzji co do ich stosowania. Aspekt ten wymaga dalszych prac zarówno w zakresie dostępności takich naparów, jak i zakresu informacji przekazywanych konsumentom na opakowaniach.

Osiągnięcie M3 dostarczyło **istotnych argumentów** biochemicznych przemawiających za koniecznością udoskonalenia metod przetwarzania surowych liści morwy, które obecnie – bez uprzedniego leżakowania – stanowią składnik wielu suplementów diety dla diabetyków, a dotąd nie były szerzej analizowane w literaturze naukowej. W opublikowanym osiągnięciu **M3** przedstawiłam szereg nowych danych, istotnych z punktu widzenia przyszłej optymalizacji procesu technologicznego przez producentów żywności funkcjonalnej, szczególnie w kontekście rynku krajowego. Głównym celem tych badań była poprawa właściwości zdrowotnych produktów końcowych, z korzyścią dla konsumenta. **Uzyskane wyniki częściowo potwierdziły hipotezę badawczą H2** wykazując, że odpowiednie przetwarzanie liści morwy białej, z uwzględnieniem procesu leżakowania, może korzystnie wpływać na strawność zawartych w nich związków w warunkach modelowego trawienia *in vitro*. Efekt ten był jednak istotnie zależny od czasu trwania leżakowania.

W celu określenia potencjału wykorzystania półproduktów z liści morwy białej poddanych procesowi leżakowania w produktach o szerokim spektrum smakowym, w **czwartym osiągnięciu (M4)** przeanalizowałam ich **modulacyjne właściwości w odniesieniu do smaków słodkiego i gorzkiego**. Obecnie zastosowanie liści morwy białej w Europie jest bardzo ograniczone i głównie dotyczy mieszanek herbacianych i ziołowych, natomiast w literaturze przedwdrożeńiowej proponowane jest ich stosowanie jako dodatku wzbogacającego produkty spożywcze. Mając na uwadze, że na poziomie molekularnym wciąż dużą uwagę poświęca się wpływowi związków bioaktywnych morwy na regulację glikemii, w ramach osiągnięcia **M4** podjęłam badania, które stanowią podstawę do rozwinięcia nowego kierunku wykorzystania liści morwy w produkcji żywności funkcjonalnej. Wykazałam, że

obniżenie poziomu białka wiążącego retinol 4 (RBP4) oraz haptoglobiny może być jednym z mechanizmów przeciwdziałających rozwojowi cukrzycy (Fongsodsri i in., 2022).

W obliczu narastającej epidemii cukrzycy jako choroby cywilizacyjnej, a także rosnącej liczby zachorowań, badania w tym zakresie mają istotne znaczenie społeczne. Na podstawie analizy prognoz rynkowych oraz zmieniających się preferencji coraz bardziej świadomych konsumentów **stwierdziłam, że istnieje potrzeba rozwoju celowego i alternatywnego wykorzystania potencjału liści morwy białej**, z uwzględnieniem kluczowych aspektów sensorycznych i technologicznych, które są niezbędne dla efektywnej produkcji żywności funkcjonalnej. Analiza literatury wskazuje, że modulacja smaku gorzkiego ma szczególne znaczenie dla konsumentów, zwłaszcza gdy w diecie pojawiają się produkty o wysokiej wartości odżywczej, takie jak gorzkie kakao czy sensorycznie trudne do akceptacji leki i suplementy diety. W związku z tym kontrola odbioru smaku gorzkiego może stanowić cenny kierunek działań dla technologów żywności podczas projektowania nowych produktów funkcjonalnych. Z punktu widzenia żywieniowego, przyjemny smak zwiększa prawdopodobieństwo włączenia produktu prozdrowotnego do codziennej diety, zwłaszcza przez osoby chore na cukrzycę. Dla konsumentów natomiast korzystny profil sensoryczny ułatwia przełamanie bariery niechęci wobec nowości, co jest szczególnie ważne w grupach wrażliwych, takich jak dzieci czy osoby starsze z zaburzeniami percepcji smaku. W produktach dedykowanych osobom z chorobami dietozależnymi często stosuje się połączenie składników roślinnych z cukrem lub jego substytutami w celu poprawy akceptowalności sensorycznej. Jednakże bezpieczeństwo stosowania syntetycznych zamienników cukru, zwłaszcza wrażliwych grup konsumentów (np. dzieci, osób starszych, kobiet w ciąży), nadal pozostaje przedmiotem badań naukowych (Sylvetsky i in., 2011).

Poszukiwanie molekularnych **inhibitorów receptorów smaku gorzkiego, zwłaszcza ze źródeł naturalnych**, takich jak rośliny o wysokiej wartości żywieniowej (Camu i in., 2008; Mellor i in., 2018; Newman i in., 2015), jest **nowym i interesującym sposobem na poprawę jakości wielu nowoprojektowanych produktów**. Gorzki smak może pojawić się w efekcie obecności specyficznych składników recepturowych, w wyniku hydrolizy niektórych białek (np. soi) do gorzkich peptydów, aktywności mikrobiologicznej podczas fermentacji, wpływu bardzo wysokich temperatur podczas przetwarzania, itp. Gorycz jest odczuwana jako wynik skojarzenia związków gorzkich ze specyficznymi receptorami gorzkimi aktywizującymi sygnały (przekazywane przez białko G), które docierają do mózgu w postaci sygnałów elektrycznych (Dagan-Wiener i in., 2017; Jiang i in., 2023).

Na podstawie analizy dostępnej literatury stwierdzono, że **naturalne flawonole mogą hamować odczuwanie gorzkiego smaku** żywności, mimo iż same wykazują delikatnie gorzki i cierpki smak (McShea i in., 2008). Dlatego za uzasadnione uznałam przeprowadzenie badań z wykorzystaniem liści morwy białej, będących źródłem flawonoli. Oceniłam ogólny wpływ przetworzonych liści *Morus alba* – zarówno leżakowanych, jak i nieleżakowanych – na aktywność receptorów smaku, w szczególności na maskowanie smaku gorzkiego oraz wzmacnianie percepcji smaku słodkiego. Działanie to analizowano w komórkach HEK293T transfekowanych odpowiednimi receptorami smaku, a stopień hamowania oceniano za pomocą testu uwalniania jonów wapnia. W badaniu zastosowałam receptory smaku gorzkiego TAS2R3 i TAS2R13 oraz najpowszechniejsze receptory smaku słodkiego w formie heterodimeru TAS1R2/TAS1R3. Określenie potencjału przetworzonych liści w kontekście projektowania innowacyjnych produktów spożywczych zawierających gorzkie składniki, dotychczas rzadko wykorzystywane, uznano za istotne.

W stężeniu bazowym (6,7%) ekstrakt otrzymany z półproduktów z liści leżakowanych **wzmacniał odczuwanie smaku słodkiego** ponad trzykrotnie (3,35×), natomiast po 10-krotnym rozcieńczeniu – 3,8× w porównaniu z sukralozą, już po 1 minucie interakcji. Podobny efekt zaobserwowałam po 2 minutach, choć był on nieco słabszy. Jednocześnie **ekstrakt z półproduktów z liści leżakowanych inaktywował receptor smaku gorzkiego TAS2R13** zarówno po 1 minucie jak i 2 minutach kontaktu, natomiast wzmacniał odpowiedź receptora TAS2R3. Ligandy zawarte w ekstraktach z półproduktów z liści nieleżakowanych również wzmacniały smak słodki, przy czym efekt ten był silniejszy po 2 minutach interakcji z receptorami TAS1R2/TAS1R3, w porównaniu z ekstraktami z liści leżakowanych. Porównując oba receptory smaku gorzkiego, ekstrakty z liści morwy białej silniej aktywowały receptor TAS2R3 (z chlorochiną jako ligandem referencyjnym) niż receptor TAS2R13 (z denatonium jako odniesieniem).

W prowadzonym doświadczeniu wykorzystano receptory smaku gorzkiego typu 2, które należą do podgrupy receptorów sprzężonych z białkiem G (GPCR) rodziny A. Mają one kluczowe znaczenie w percepcji goryczy i są coraz częściej wykorzystywane w celach terapeutycznych. Te receptory chemosensoryczne GPCR znajdują się w błonie plazmatycznej komórek receptorów smakowych typu II (TCR) w kubkach smakowych języka, gardła, krtani, podniebienia miękkiego i kilku innych tkankach w całym ciele, takich jak nabłonek jelitowy (w enterocytach, komórkach kępkowych, komórkach kubkowatych, komórkach Panetha, komórkach mikropęcherzykowych) (Tuzim i Korolczuk, 2021). Receptory TAS2R13 są

znacznie częściej wykorzystywane jako modelowe w badaniach nad percepcją smaku gorzkiego, a uzyskane w ich interakcji z ekstraktem z liści efekty inhibujące najlepiej potwierdzają zasadność stosowania liści morwy białej w produktach o naturalnie gorzkim profilu smakowym.

Z technologicznego punktu widzenia istotnym jest fakt, że sproszkowane ekstrakty z liści morwy białej charakteryzują się delikatnie gorzkim smakiem, co wynika z obecności m.in. flawonoli. Jednak substancje aktywne w nich zawarte reagują z receptorami smaku tylko w pewnym stopniu. Problem, w szerszym wykorzystaniu liści morwy białej przez producentów żywności, stanowi gorzki smak. Ten gorzki smak liści jest trudny do wyeliminowania nawet w wyniku obróbki technologicznej. Mimo pewnych podobieństw, mechanizm powstawania goryczy w liściach morwy jest zupełnie inny niż np. w liściach herbaty. Wykazano, że jej intensywność jest wynikiem interakcji wielu związków prozdrowotnych (aminokwasów, flawonoidów, kwasów fenolowych, alkaloidów) z jednej strony, oraz metabolitów alkoholi cukrowych z drugiej strony (Huang i in., 2023).

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań **dowodzono, że substancje zawarte w półproduktach z liści morwy białej korzystnie modulują (wzmacniają) słodki smak, i jednocześnie ograniczają odczuwanie smaku gorzkiego.** Uzyskane przeze mnie wyniki pomiędzy poszczególnymi wariantami liści morwy białej różniły się, jednak odnosząc je do efektów uzyskanych dla innego surowca jakim jest dereń jadalny aktywność badanych półproduktów w zakresie maskowania smaku gorzkiego była kilkukrotnie wyższa (Szczepaniak i in., 2021). Daje to podstawy do wykorzystania półproduktów z liści morwy białej na większą skalę, przekładając się jednocześnie na korzyści w obszarze smakowości produktów końcowych, a *Morus alba* zwłaszcza w formule leżakowanej może spełniać nową funkcję cennego modulatora smaku. Wynikami będącymi podstawą do opracowania osiągnięcia **M4 zweryfikowałam hipotezę H3** potwierdzając tym samym, że leżakowanie liści morwy białej korzystnie redukuje odczuwanie gorzkiego smaku, jednak tylko w obszarze wybranych wariantów receptorów. Z drugiej jednak strony, oznaczone wyraźne wzmacnianie smaku słodkiego w przypadku obu badanych wariantów receptorów smaku słodkiego wniosło korzystną wartość dodaną do przyszłych rozważań nad „smakowym” kierunkiem wykorzystania półproduktów uzyskanych z liści morwy białej po procesie leżakowania.

Ad. Z3. „Technological processing of *Phaseolus vulgaris* and *Morus alba* leaves to create a new nutritional food product for individuals with diabetes”. (osiągnięcie M5)

Choroby niezakaźne stanowią poważne, globalne wyzwanie dla zdrowia publicznego, a cukrzyca należy do najistotniejszych problemów współczesnej medycyny. Według danych Światowej Organizacji Zdrowia, w 2021 roku na cukrzycę chorowało 422 miliony osób na całym świecie, natomiast Międzynarodowa Federacja Diabetologiczna prognozuje wzrost tej liczby do 653 milionów do 2030 roku (International Diabetes Federation, 2022). Cukrzyca została również zidentyfikowana jako jeden z czynników istotnie zwiększających ryzyko zgonu w przypadku zakażenia wirusem SARS-CoV-2, co mogło przyczynić się do wzrostu śmiertelności wśród osób z cukrzycą w 2020 roku. W 2023 roku choroba ta znalazła się na siódmym miejscu wśród najczęstszych przyczyn zgonów w populacji Polski (Wojtyniak i Smaga, 2025). Cukrzyca to przewlekła choroba metaboliczna, charakteryzująca się podwyższonym stężeniem glukozy we krwi, mogąca prowadzić do licznych powikłań, takich jak choroby układu krążenia, nefropatie czy neuropatie (WHO, 2021). W kontekście poszukiwania skutecznych strategii prewencji i leczenia cukrzycy, **dużym zainteresowaniem cieszy się żywność funkcjonalna, stanowiąca obiecujące podejście dietoterapeutyczne** (Alkhatib i in., 2017). Żywność taka, wykraczając poza podstawowe funkcje odżywcze, oferuje dodatkowe korzyści zdrowotne. Doniesienia literaturowe wskazują, że włączenie do diety napojów i przekąsek bogatych w polifenole lub inne bioaktywne składniki o właściwościach prozdrowotnych może stanowić bezpieczne i skuteczne wsparcie w kontroli glikemii oraz w redukcji ryzyka rozwoju cukrzycy i jej powikłań, jak również innych chorób cywilizacyjnych (Kochadai i in., 2022; Mo i in., 2024; Przeor, 2022; Wei i in., 2018).

Osoby z cukrzycą muszą stosować odpowiednio zbilansowaną dietę. W trakcie prowadzonych badań zaobserwowałam, że większość produktów funkcjonalnych dedykowanych diabetikom opiera się na stosowaniu substytutów cukru w celu obniżenia kaloryczności lub indeksu glikemicznego, bądź na produktach wysokotłuszczowych o niskiej zawartości węglowodanów. Tymczasem oferta żywności funkcjonalnej powstającej poprzez wzbogacanie lub udoskonalanie receptur z wykorzystaniem wartościowych, naturalnych składników biologicznie czynnych jest bardzo ograniczona. Surowce o udokumentowanym działaniu przeciwcukrzycowym, w tym mniej popularne surowce zielarskie, dostępne są obecnie wyłącznie jako suplementy diety (zgodnie z obowiązującymi przepisami). Wobec rosnącej liczby osób z cukrzycą, każdy nowy produkt spożywczy powinien priorytetowo

wypełniać istniejące luki asortymentowe. Warto podkreślić, że najszybszy wzrost częstości występowania stanów przedcukrzycowych (hiperglikemii) obserwuje się wśród młodych konsumentów, a starannie opracowane produkty spożywcze mogą skuteczniej docierać do tej grupy. W krajach ojczystrych dla morwy, takich jak Chiny i Korea, liście tej rośliny są powszechnie stosowane w postaci suszu — jako składnik kulek ziołowych wykorzystywanych w medycynie ludowej — lub jako napar herbaciany o specyficznym działaniu tonizującym oraz znakomitych właściwościach terapeutycznych. Wiele współczesnych receptur bazuje tam na liściach morwy jako składnikach potraw, często inspirowanych tradycyjną kuchnią ludową, co jest zgodne z tamtejszymi przepisami. Doświadczenia azjatyckie otwierają zatem perspektywę rozszerzenia zastosowania liści morwy białej także w produktach europejskich. Pomysły na wykorzystanie różnych części morwy można znaleźć również w literaturze współczesnej oraz zasobach internetowych, na przykład jako składniki pieczywa, nabiału czy przekąsek (Gültekin-Özgüven i in., 2016; Przeor i Flaczyk, 2016).

Jedną z pierwszych matryc do jakich wkomponowałam leżakowane liście morwy białej było pieczywo. W tej kategorii produktowej prace rozpocząłam od projektowania i wytworzenia pieczywa plackowego typu paratha, które w Indiach przygotowywane jest na co dzień jako uzupełnienie każdego posiłku. Dołączenie ekstraktu z liści morwy białej (3,0%) wraz z suszonymi liśćmi morwy (2,0%) do podstawowej receptury umożliwiło wytworzenie innowacyjnych sensorycznie i korzystnych zdrowotnie oraz nowych na polskim rynku produktów. Pomimo małej znajomości takiego typu pieczywa, było ono dobrze przyjęte przez konsumentów (Przeor i Flaczyk, 2016). Kolejnym krokiem, który podjęłam było przetransponowanie doświadczeń do matrycy bardziej tradycyjnego pieczywa znanego konsumentom krajowym. W efekcie prac powstał wynalazek zgłoszony do Urzędu Patentowego Rzeczypospolitej Polskiej. **Patent PL242304 (P.432706) pt. „Sposób wytwarzania chleba mieszanego z leżakowanymi liśćmi morwy białej, w szczególności dla diabetyków”**, którego jestem wiodącym autorem dnia 07.10.2022 r. uzyskał prawa ochronne, potwierdzając praktyczny efekt prowadzonych przeze mnie prac badawczych wykorzystujących leżakowane liście morwy białej. Wynalazek ten został opracowany w ramach prowadzonego przeze mnie projektu rozwojowo-wdrożeniowego MNiSW/2019/170/DIR (Inkubator Innowacyjności 2.0) pt. „Innowacyjne pieczywo dla diabetyków z fermentowanymi liśćmi morwy białej”. W opatentowanej produkcji zastosowałam funkcjonalny składnik pieczywa w postaci rozdrobnionego, suszonego półproduktu liściowego po 2-godzinnym leżakowaniu (Ryc. 2), a na potrzeby przyszłego

producenta zainteresowanego wdrożeniem, opracowałam pełną specyfikację produktu uwzględniając dodatkowe informacje tj. zawartość znamiennej dla diabetyków związku DNJ, indeks glikemiczny, oraz oświadczenia żywieniowe.



Ryc. 2. Chleb mieszany z leżakowanymi liśćmi morwy białej, który uzyskał prawa ochronne w patencie PL242304 (źródło: archiwum własne autorki).

Liście morwy białej nie miały dotąd zastosowania produkcyjnego w kategorii pieczywa pszenno-żytniego, zatem opracowanie i opatentowanie takiego rozwiązania wydawało się być naturalnym krokiem w procesie ofertowania dobrze znanych produktów codziennej diety. Implementacja poznanych już półproduktów z leżakowanych liści morwy do mieszanki pieczywa była skuteczna i ma charakter wdrożeniowy.

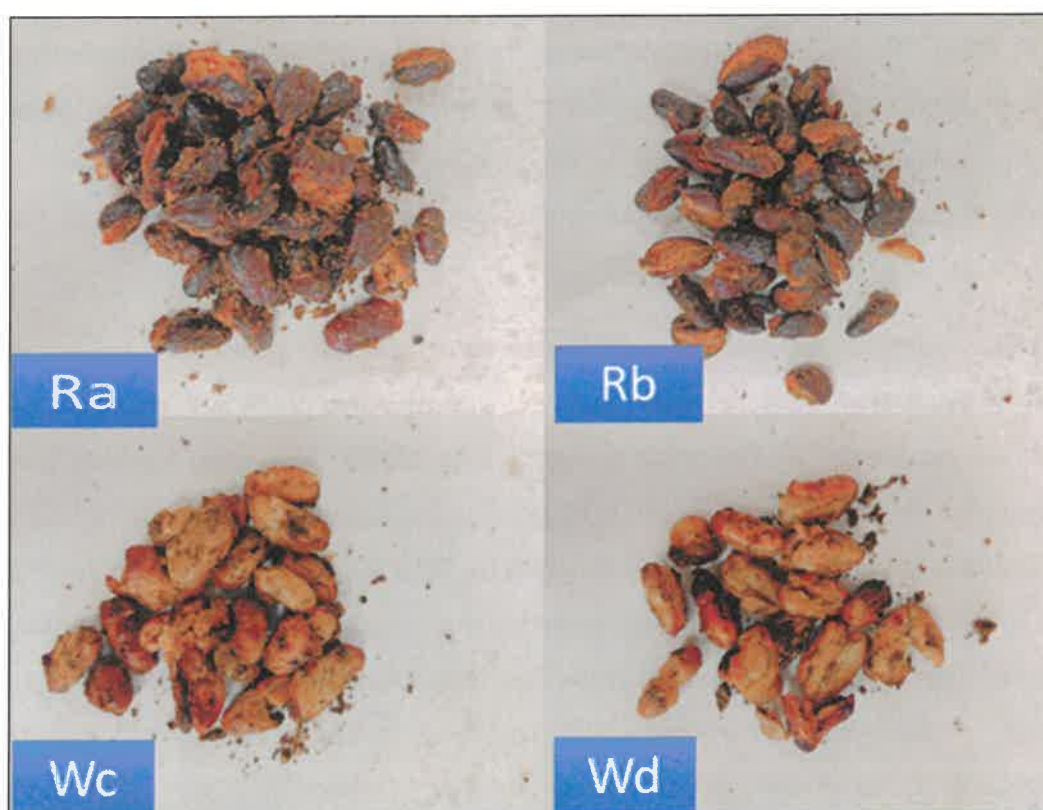
Kolejną matrycą do jakiej wkomponowałam półprodukty z liści morwy białej były wytrawne przekąski fasolowe, typu chrupiący snack. **W osiągnięciu piątym M5** głównym celem było opracowanie receptury i technologii jej otrzymywania, poprzez skuteczne połączenie w jednorodną kompozycję smakową tak odległych naturalnych surowców jak

fasola i liście morwy białej, wraz z pełną charakterystyką jakościową i żywieniową wytworzonej przekąski (Ryc. 3.).

Spośród roślin strączkowych to nasiona fasoli są dobrze znanymi i akceptowanymi surowcami. Wyróżniają się one bogatą zawartością białka roślinnego wspomagającą aktywność przeciwcukrzycową, skrobi, witamin z grupy B, oraz związków polifenolowych odpowiedzialnych za właściwości przeciwutleniające i przeciwnowotworowe (Kaur i in., 2016; Villegas i in., 2007). W łupinach nasion fasoli są obecne cenne antocyjany i proantocyjanidyny (Sidorova i in., 2017). **Połączenie właściwości prozdrowotnych fasoli i rozdrobnionych liści morwy białej miało na celu stworzenie produktu dedykowanego wielu odbiorcom, bez względu na różnice kulturowe.** Fasola to jedno z najstarszych i najbardziej uniwersalnych warzyw uprawnych świata. Jej znaczenie wykracza poza aspekt żywieniowy – była i jest ważnym symbolem w różnych kulturach, religiach i tradycjach: uznawana za przynosząca szczęście (Japonia), symbol wspólnoty (Brazylia), życia (Hiszpania), duchów przodków (Celtowie), wspomagająca równowagę (hinduizm), hałal (islam). Ponadto, ze względu na obserwowane populacyjnie niskie spożycie nasion roślin strączkowych w przeciętnej diecie zachodniej, postanowiono wykorzystać nasiona *Phaseolus vulgaris* L. (białej i czerwonej) jako bazę dla projektowanych przekąsek. Po kilkietapowych badaniach wstępnych mających na celu opracowanie receptur i sposobów wytwarzania wytrawnych przekąsek, przeanalizowałam je pod kątem struktury i składu podstawowego, oceny sensorycznej w grupie młodych konsumentów z różnych kultur, aktywności przeciwutleniającej i przeciwcukrzycowej oraz zaproponowałam szerokie informacje etykietowe dla tych nowych produktów. Na potrzeby analiz ekstrakcję przekąsek prowadziłam stosując dwa rodzaje ekstrahentów: 1) mieszaniny metanolu z kwasem mrówkowym (Me/ForA), 2) mieszaniny acetonitrylu z kwasem mrówkowym (ACN/W/ForA).

W składzie surowcowym produktu **wykorzystałam kilka surowców o działaniu przeciwcukrzycowym**: fasolę białą i czerwoną, rozdrobnione półprodukty z liści morwy białej leżakowane przez 2 godziny, suszony czosnek, suszoną bazylię, suszony rozmaryn. Uzyskałam chrupiące, wytrawne przekąski typu snack, które w ocenie metodą parzystą 26 panelistów uznano za wysoce interesujące – przekąski bazujące na fasoli czerwonej nie różniły się między sobą w odbiorze sensorycznym, zaś wśród tych bazujących na fasoli białej smakowo i teksturą wyżej oceniono wariant z większą zawartością liści morwy i czosnku. Wyniki parzystej metody porównawczej pozwalają określić istotność różnic między wariantami (Baryłko-Pikielna i

Matuszewska, 2009). Wskaźniki jakości sensorycznej są ważnym aspektem dla konsumentów podczas zakupu (Jürkenbeck i Spiller, 2021), a wiele atrybutów sensorycznych jest powiązanych właśnie ze smakowitością produktu spożywczego (Santosh i in., 2021). Z technologicznego punktu widzenia analiza sensoryczna jest ważna, aby nadać ilościową miarę wyglądowi, smakowi, aromatowi i teksturze produktu (Iannario i in., 2012). Z drugiej strony, obecnie zachowania konsumentów przy wyborze żywności są bardziej heterogeniczne, a pochodzenie produktu jest wskazane jako mające największy wpływ na ich wybory (Van Loo i in., 2019). Dodatkowo charakteryzując przekąski pod względem fizykochemicznym wykonałam zdjęcia mikrostruktury powierzchni przekąsek z wykorzystaniem skaningowego mikroskopu elektronowego.



Ryc. 3. Wytrawne przekąski fasolowe z leżakowanymi liśćmi morwy białej, opracowane w ramach osiągnięcia *M5*

(Ra, Rb – bazujące na fasoli czerwonej, Wc, Wd – bazujące na fasoli białej; źródło: *M5*, doi: 10.1038/s41598-024-80373-7).

W składzie recepturowym zastosowałam oliwę z oliwek, ze względu na to, że jest ona znaczącym źródłem nienasyconych kwasów tłuszczowych, zwłaszcza kwasu oleinowego. **Przekąski były bogate w białko roślinne (18,25-21,22%),** które jest niezbędne w procesach

budulcowych i naprawczych tkanek, a jednocześnie wskazywane jako bardziej ekologiczne i cenne w diecie przeciwotyłościowej w porównaniu z białkiem zwierzęcym (Ferreira i in., 2024). Warto zauważyć, że otrzymane przekąski są **odpowiednie również dla wegan**. Badania prowadzone przez innych Autorów (Tabaeifard i in., 2024; S. Wang i in., 2023) wykazały, że dla osób z cukrzycą białka roślinne stanowią lepszą alternatywę niż jakakolwiek inna żywność, szczególnie w grupie przekąsek zwykle bazujących na węglowodanach. Ponieważ fasola jest źródłem niezbędnych aminokwasów – lizyny, tyrozyny, fenyloalaniny, może być ona interesująca również z technologicznego punktu widzenia. Lizyna odgrywa kluczową rolę w procesie modyfikacji potranslacyjnych, w których biorą udział hydroksylaza lizylowa i oksydaza lizylowa – enzymy bezpośrednio zaangażowane w syntezę i dojrzewanie kolagenu (Añazco i in., 2023). Uzyskane przekąski były bogatym źródłem błonnika (36,66-48,49%). W badaniach prowadzonych przez innych autorów zaobserwowano, że zwiększone spożycie jego frakcji rozpuszczalnej przez pacjentów z cukrzycą poprawiało glikemię i zmniejszało hiperinsulinemię (Chandalia i in., 2000). Co ważne, spożywanie roślin strączkowych przez co najmniej 6 tygodni skutkowało poprawą parametrów krwi u diabetyków (Bielefeld i in., 2020).

Dla scharakteryzowania zaprojektowanych przekąsek, **przeprowadziłam analizy aktywności przeciwutleniającej**, która jest ważnym aspektem oceny potencjalnych korzyści zdrowotnych produktów spożywczych (Locatelli i in., 2017). Wszystkie warianty przekąsek określiłam jako dobre źródło polifenoli, przy czym wzbogacanie w półprodukty z liści morwy białej znacząco ten końcowy potencjał zwiększyło. W teście przeciwrodnikowym z DPPH, które to symulują pewne wolne rodniki powstające w organizmie w wyniku oksydacyjnego uszkodzenia komórek organizmu wykazano, że wszystkie cztery warianty miały znaczącą aktywność, a najwyższą odnotowano dla przekąsek z fasoli czerwonej. Wyniki były porównywalne do uzyskanych przez innych autorów (Carbas i in., 2020). Drugim testem antyrodnikowym był test z ABTS⁺ w którym wykazano, że przekąski fasolowe uzyskały parametry znacznie wyższe w porównaniu z innymi popularnymi odmianami fasoli (Carbas i in., 2020). Warianty wytworzone z fasoli białej uzyskały wyniki wyższe niż z fasoli czerwonej. Wskazuje to na znaczny potencjał przeciwrodnikowy wszystkich czterech przekąsek, częściowo potwierdzając ich zdolność do zwalczania uszkodzeń oksydacyjnych. Analitycznie, wyniki uzyskiwane w takich testach zależą w dużej mierze od technologii i generatora wolnych rodników lub utleniacza użytego do pomiaru. W niektórych przypadkach poszczególne przeciwutleniacze mogą działać poprzez wiele mechanizmów w jednym systemie

lub poprzez inny pojedynczy mechanizm w zależności od systemu reakcji. Żaden pojedynczy test nie będzie dokładnie odzwierciedlał wszystkich źródeł rodników lub wszystkich przeciwutleniaczy w złożonym systemie, a zaangażowanych jest zazwyczaj wiele różnych mechanizmów reakcji (Haider i in., 2020). Dopasowanie źródła rodników i charakterystyki mechanizmów działania przeciwutleniacza ma kluczowe znaczenie przy wyborze odpowiednich przeciwutleniaczy, podobnie jak uwzględnienie końcowego zastosowania wyników. Należy podkreślić, że nie ma prostej, uniwersalnej metody, którą można wykorzystać do dokładnego i ilościowego pomiaru zdolności przeciwutleniającej. Dlatego bardzo przydatne jest stosowanie różnych metod analitycznych (Prior i in., 2005). Opisując status przeciwutleniający zaprojektowanych przekąsek, przeprowadzono także dwa inne testy. Pierwszym był test aktywności chelatującej mierzący zdolność próbki do chelatowania lub wiązania niektórych jonów metali, takich jak Fe^{2+} , które mogą sprzyjać tworzeniu się wolnych rodników w komórkach. Nie stwierdzono istotnych różnic między wariantami badanych przekąsek fasolowych. Drugim zastosowanym testem był test FRAP (z ang. Ferric Reducing Antioxidant Power), który to opiera się na zdolności przeciwutleniaczy do redukcji jonów żelaza Fe^{3+} do jonów żelaza Fe^{2+} w obecności czynnika redukującego, jakim jest związek aktywny z badanej próby. Ekstrakcja acetonitrylem skutkowała wartościami istotnie wyższymi o 7-9% w teście FRAP dla przekąsek, jednak dla wszystkich prób oznaczono wartości na wysokim poziomie aktywności przeciwutleniającej, porównywalnym do innych fasoli zwyczajnych (Carbas i in., 2020).

Test ogólnej zawartości związków fenolowych metodą Folina wykazał, że wszystkie cztery warianty przekąsek mają porównywalne ich ilości, przy 2-3-krotnej przewadze ekstrakcji metanolowej. Jednakże, wszystkie cztery warianty mają znamiona zapewnienia właściwości przeciwutleniającej produktu. Wyniki w ekstraktach metanolowych były także istotnie kilkukrotnie wyższe w porównaniu z próbkami hiszpańskiej czarnej fasoli (Hernandez i in., 2020). Związki fenolowe są w stanie hamować powstawanie rodników poprzez chelatowanie jonów metali (Fe, Cu) zaangażowanych w inicjację procesu produkcji wolnych rodników wraz z inhibicją enzymów (Halliwell, 1996). W analizowanych przekąskach aktywność chelatująca nie była zależna od ekstrahenta. Przyczyn obserwowanych różnic pomiędzy metodami ekstrakcji może być kilka. Wybór rozpuszczalnika i jego polarność, pH i inne warunki ekstrakcji mogą wpływać na wydajność ekstrakcji i selektywność różnych związków. Wiadomo, że metanol jest lepszym rozpuszczalnikiem dla związków fenolowych w porównaniu z acetonitrylem, co może wyjaśniać wyższe poziomy zawartości związków

fenolowych w ekstraktach Me/ForA w tym badaniu. Dodatkowo, kwas mrówkowy (For A) w obu mieszaninach ekstrakcyjnych może pomóc w ekstrakcji fenoli poprzez rozbijanie ścian komórkowych i zakłócanie wiązań międzycząsteczkowych (Petreska Stanoeva i in., 2020).

Celem **określenia potencjalnej aktywności przeciwcukrzycowej** zaprojektowanych przekąsek zmierzono poziom inhibicji enzymu α -glukozydazy. Dzięki ekstrakcji metanolowo-wodnej z przekąsek fasolowych pozyskano większą ilość związków inhibujących, niż z ekstraktów ACN/W/ForA, która we wszystkich kształtowała się na poziomie ok. 66-70% wobec akarbozy. Blokowanie działania enzymów jelitowych, które rozkładają węglowodany do glukozy, stało się popularną strategią leczenia cukrzycy typu 2, w której α -glukozydaza jest najważniejszym czynnikiem inhibującym (Tan i Chang, 2017). W leczeniu klinicznym pacjentów z cukrzycą typu 2 stosowano wielokrotnie kilka inhibitorów α -glukozydazy, takich jak akarboza, miglitol, wogliboza, w celu kontroli glikemii poposiłkowej (Perez Gutierrez, 2016). Wykorzystanie naturalnych źródeł takich czynników antyenzymatycznych staje się ważnym narzędziem w definiowaniu aktywności prozdrowotnej tej żywności.

Dla konsumentów, szczególnie z grupy diabetyków, ważne są przede wszystkim dwa parametry produktu tj. **indeks glikemiczny (IG) i ładunek glikemiczny (ŁG)**. Indeks glikemiczny (IG) jest miarą szybkości wzrostu poziomu glukozy we krwi po spożyciu 50 g strawnych węglowodanów z określonego produktu spożywczego, w porównaniu do szybkości wzrostu poziomu glukozy po spożyciu tej samej ilości węglowodanów z glukozy lub białego chleba. IG glukozy jest określany jako równy 100, a inne produkty są oceniane w porównaniu do tej wartości. IG dotyczy tylko produktów zawierających węglowodany, zatem przekąski fasolowe wpisują się w ten zakres. W przypadku cukrzycy zaleca się spożywanie żywności o niskim IG (<55) i opcjonalnie żywności o umiarkowanym IG (55-70). Pokarmy te powodują stopniowy wzrost glikemii i niwelują jej wahania w ciągu dnia (Lu i Yan, 2014). Metaanaliza pokazała, że wybór produktów o niskim IG zamiast żywności konwencjonalnej lub żywności o wysokim IG skutkuje niewielkim, ale klinicznie istotnym wpływem na średnioterminową kontrolę glikemii u pacjentów z cukrzycą, gdyż zmniejsza zapotrzebowanie na insulinę oraz stężenie lipidów, poprawia kontrolę glikemii we krwi, zmniejsza masę ciała, zmniejszając ryzyko niebezpiecznych incydentów sercowo-naczyniowych związanych z cukrzycą (Brand-Miller i in., 2003). Dla przekąsek otrzymanych w prowadzonych przeze mnie badaniach oszacowałam te dwa parametry na podstawie ich składu, co jest łatwą (bo bez udziału

człowieka) i szybką techniką bardzo pomocną przy projektowaniu nowego produktu. **Przekąski fasolowe scharakteryzowałam jako posiadające niski IG, na poziomie 40.** Dla porównania spożywane w Singapurze potrawy bazujące na dosładzanej paście z czerwonej fasoli (tzw. pau z czerwonej fasoli) uzyskały IG=91, a desery z czerwonej fasoli IG=75 (Henry i in., 2021). Środowisko żywieniowców zwraca baczność uwagę aby podczas dokonywania wyborów żywieniowych uwzględniać również wartość ładunku glikemicznego produktu. ŁG uwzględnia nie tylko rodzaj spożywanego produktu, ale także wielkość jego porcji. Podczas gdy indeks glikemiczny przewiduje stopień, w jakim węglowodany w żywności zwiększają poziom glukozy we krwi, całkowity wzrost poziomu glukozy we krwi po zjedzeniu określonego posiłku zależy zarówno od jakości (reprezentowanej przez IG), jak i ilości spożywanych węglowodanów. Żywność o wysokim indeksie glikemicznym może mieć niski ładunek glikemiczny, w zależności od wielkości spożytej porcji produktu. Zgodnie z literaturą, ŁG określa się jako: niski (<10), średni (10-20) lub wysoki (>20) (Lu i Yan, 2014). **Badane przekąski uzyskały niski ŁG, a obserwowane różnice między wariantami przekąsek wynikały z ich składu.**

Prowadząc badania, których efektem jest osiągnięcie **M5** brałam pod uwagę oczekiwania konsumentów – diabetyków i ich zachowania podczas dokonywania zakupu produktów z tej kategorii asortymentowej. Z punktu widzenia konsumentów to etykiety są pierwszym krokiem do oceny produktu pod kątem wyboru. Natomiast dla producentów etykiety są obowiązkowym elementem każdego produktu spożywczego i najtańszą formą reklamy. Propozycje takich etykiet na potrzeby opracowanych przekąsek fasolowych, dodatkowo uwzględniających obliczony indeks glikemiczny i ładunek glikemiczny, przedstawiłam w osiągnięciu **M5**. Zgodnie z obowiązującym Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady 1169/2011 z dnia 25 października 2011 r. w sprawie przekazywania konsumentom informacji na temat żywności (EUR-Lex, 2011), do obowiązkowych informacji do zamieszczenia na opakowaniu produktu, należy wartość odżywcza. Dostarcza ona informacji o zawartości składników odżywczych i umożliwia konsumentom podejmowanie świadomych decyzji wspomagając utrzymanie zrównoważonej diety. Dodatkowo, zawarcie oświadczeń żywieniowych dostarcza cennych informacji o potencjalnych korzyściach zdrowotnych. Bazując na uzyskanych wynikach i obowiązujących regulacjach prawnych w tym zakresie, w ramach omawianego osiągnięcia przedstawiono **propozycje takich oświadczeń** w brzmieniu: „Wysoka zawartość białka”, „Wysoka zawartość błonnika”, „Źródło tłuszczu”.

Ponieważ częstość występowania cukrzycy typu 2 wzrasta na całym świecie, poszukiwanie naturalnych środków profilaktycznych i zapobiegających rozwojowi tej choroby staje się konieczne. **Opracowana receptura nowego produktu typu wytrawna przekąska wykazuje obiecujące właściwości prozdrowotne**, w tym przeciwcukrzycowe, szczególnie pod względem ich aktywności antyenzymatycznej wspomagające równowagę glikemii i zwiększanie wrażliwości na insulinę. Zbadane wcześniej aktywne składniki liści morwy białej wykazują działanie hamujące rozkład węglowodanów. Dzięki precyzyjnej kontroli proporcji składników wykazałam, że konwencjonalne surowce mogą być wzbogacone różnorodnymi wartościowymi surowcami roślinnymi, przy jednoczesnym zachowaniu korzystnego w odbiorze smaku produktu. W osiągnięciu **M5** udowodniłam duży potencjał prozdrowotny prostej w produkcji wytrawnej przekąski, bazującej na nasionach fasoli, z przeciwutleniaczami i związkami o właściwościach przeciwcukrzycowych pochodzącymi z morwy białej. Przekąska tego typu stanowi korzystną alternatywę żywieniową dla osób ukierunkowanych na dietę prozdrowotną, szczególnie młodych diabetyków, dla których bardzo ważne jest utrzymanie prawidłowego poziomu glukozy we krwi, lub osób w stanie przedcukrzycowym z podwyższoną glikemią.

W toku badań opisanych w osiągnięciu M5, wykorzystywałam **potencjał półproduktów z liści morwy białej w obszarze ściśle praktycznym** do wytworzenia nowych produktów. Uzyskane wyniki mają duży potencjał praktyczny. Prace te miały charakter koncepcyjny i przedwdrozeniowy, w oparciu o własną pracę badawczą. Możliwość wykorzystania liści morwy białej jako składnika żywności jest wciąż nieuregulowana w prawie żywnościowym Unii Europejskiej. Warto jednak zauważyć, że w azjatyckich krajach natywnych morwie, stosowanie różnych jej elementów jest dopuszczalne i stosowane, co daje nadzieję na szybkie ich dopuszczenie również przez EFSA. Dotychczasowe analizy w zakresie bezpieczeństwa i toksyczności liści morwy białej dodatkowo stanowią tego mocną podstawę. Aktualny prawny status ich wykorzystania w Europie to „suplement diety”. Gotowe rozwiązania technologiczne do wprowadzenia w niedalekiej przyszłości na rynek takich odżywczych produktów, jak te wykazane przeze mnie w osiągnięciu **M5** oraz innych produktach chronionych lub zgłoszonych do ochrony patentowej, są cenne dla technologów żywności i w przyszłości mogą zostać przeniesione do przemysłowej produkcji. Kolejnym krokiem w przyszłych pracach, zmierzających do wprowadzenia tych produktów na rynek w kategorii żywności funkcjonalnej, z pewnością jest przeprowadzenie niezbędnych badań klinicznych w grupie diabetyków, weryfikujących skuteczność oddziaływania tej żywności na organizm.

Realizacja zadania **Z3** pozwoliła mi na weryfikację postawionej hipotezy **H4**. Wynikami z osiągnięcia **M5** potwierdziłam, że włączenie liści morwy białej poddanych nowemu procesowi leżakowania do matrycy produktów spożywczych podnosi ich wartość prozdrowotną, dzięki czemu mogą one być źródłem korzystnych żywieniowo składników w diecie potencjalnych odbiorców, czyli diabetyków. Udowodniono również, że smakowe dopasowanie liści morwy z odległymi surowcami jest możliwe przy odpowiednich opracowaniach projektowych.

4.3. Podsumowanie wyników

W omówionych pracach stanowiących osiągnięcie habilitacyjne **wskazałam zarówno naukowe, jak i wysoce praktyczne korzyści płynące z wkomponowania zabiegu leżakowania liści morwy białej do przemysłowego procesu ich przetwarzania**. Wyniki dostarczają **nowej wiedzy i poszerzają tę już istniejącą** w zakresie kierunkowego kształtowania jakości przyszłych produktów spożywczych dla diabetyków. Realizacja badań umożliwiła opracowanie nowatorskiego ciągu technologicznego przetwarzania liści morwy białej w skali laboratoryjnej, z naciskiem na możliwość odtworzenia go w kraju w warunkach rzeczywistych. W tym celu wykorzystano krajowy surowiec, oraz połączono możliwości technologiczne z potrzebami zdrowotnymi współczesnego społeczeństwa, w którym przybywa osób z niestabilizowaną glikemią oraz cukrzycą typu 2. Jako efekt pracy powstał konkretny protokół postępowania z liśćmi morwy białej uwzględniający leżakowanie, którego stosowanie skutkuje nowymi kierunkami wykorzystania półproduktów z liści w produkcji wysokojakościowej żywności prozdrowotnej dla diabetyków.

Kluczowymi efektami osiągnięcia, stanowiącymi istotny wkład w dyscyplinę naukową technologia żywności i żywienia, są:

1. **Opracowanie nowego** dla liści morwy białej **zabiegu** leżakowania w kontrolowanych warunkach kształtujących cechy półproduktów. Wyselekcjonowane 2-godzinne leżakowanie, zweryfikowane w dwóch skalach (laboratoryjnej i półtechnicznej), wzorowane na przetwarzaniu liści herbaty poprawia właściwości prozdrowotne i zapewnia utrzymanie dostępności bioaktywnych składników, przynosząc korzyści plantatorom, dostawcom, przetwórcom i odbiorcom finalnym. Ukierunkowane przetwarzanie stanowi praktyczne narzędzie kształtujące jakość półproduktów z liści morwy białej, mających wspierać zdrowie konsumentów, a w szczególności stabilizację glikemii.

2. **Osiągnięcie technologiczne** – opracowanie protokołu technologii produkcji wartościowych półproduktów z liści morwy białej, wykorzystującej rzeczywiste krajowe warunki produkcyjne i krajowy surowiec, które zostały potwierdzone w warunkach laboratoryjnych i półtechnicznych.
3. **Osiągnięcie naukowe** – analiza strawności związków fenolowych pochodzących bezpośrednio z półproduktów liściowych i naparów, oraz wykazanie korzystnego wpływu leżakowania liści na uwalnianie polifenoli w układzie symulowanego przewodu pokarmowego. Przeskalowanie leżakowania z laboratoryjnego na półtechniczne skutkowało uzyskaniem najkorzystniejszych efektów w krótszym czasie, czyli już po 2 godzinach leżakowania, w porównaniu z 3 godzinami leżakowania liści (najkorzystniejsze efekty w skali laboratoryjnej). Analiza ta daje początek rozważaniom na temat konieczności doprecyzowania informacji etykietowych produktów zawierających liście morwy białej, w kontekście zawartości cennych związków przeciwcukrzycowych i zalecanego dawkowania.
4. **Osiągnięcie praktyczne** – substancje zawarte w półproduktach z liści leżakowanych wartościowo modulują (wzmacniają) słodki smak, i jednocześnie ograniczają odczuwanie smaku gorzkiego, znacznie intensywniej niż inne surowce roślinne, co uzasadnia nazwanie ich modulatorami smaku. Stwarza to całkowicie nowy kierunek wykorzystania liści poddanych leżakowaniu, uwzględniający kształtowanie realnie odczuwanego smaku nowej gamy produktów spożywczych dedykowanych grupie wrażliwych konsumentów.
5. **Opracowanie produktowe i prozdrowotne** – wykorzystanie potencjału półproduktów z leżakowanych liści morwy białej poprzez implementację do matrycy spożywczej i opracowanie produkcyjne gotowe do wdrożenia na rynek krajowy. Przedstawienie przemysłowi gotowego do wprowadzenia produktu, wraz ze sposobem wytworzenia i szeroką specyfikacją, przetestowanego w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.
6. **Osiągnięcie praktyczne** – skuteczne połączenie w jednorodną kompozycję smakową odległych lecz wartościowych surowców tj. fasoli białej lub czerwonej z liśćmi morwy białej, wraz z ich pełną charakterystyką jakościową i żywieniową. Tak opracowany produkt znacząco rozszerza asortyment produktów funkcjonalnych dla diabetyków, wychodząc naprzeciw ich potrzebom i będąc akceptowanym przez osoby młode z różnych kultur.

4.4. Spis cytowanej literatury

- Abd El-Hack, M. E., de Oliveira, M. C., Attia, Y. A., Kamal, M., Almohmadi, N. H., Youssef, I. M., Khalifa, N. E., Moustafa, M., Al-Shehri, M., i Taha, A. E. (2023). The efficacy of polyphenols as an antioxidant agent: An updated review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 250(May), 126525. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126525>
- Ali, H., Houghton, P. J., & Soumyanath, A. (2006). α -Amylase inhibitory activity of some Malaysian plants used to treat diabetes; with particular reference to *Phyllanthus amarus*. *Journal of Ethnopharmacology*, 107(3), 449–455. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.04.004>
- Alkhatib, A., Tsang, C., Tiss, A., Bahorun, T., Arefanian, H., Barake, R., Khadir, A., & Tuomilehto, J. (2017). Functional Foods and Lifestyle Approaches for Diabetes Prevention and Management. *Nutrients*, 9(12), 1310. <https://doi.org/10.3390/nu9121310>
- Añazco, C., Ojeda, P. G., & Guerrero-Wyss, M. (2023). Common Beans as a Source of Amino Acids and Cofactors for Collagen Biosynthesis. *Nutrients*, 15(21), 4561. <https://doi.org/10.3390/nu15214561>
- Arabshahi-Delouee, S., & Urooj, A. (2007). Antioxidant properties of various solvent extracts of mulberry (*Morus indica* L.) leaves. *Food Chemistry*, 102(4), 1233–1240. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2006.07.013>
- Arumugam, G., Manjula, P., & Paari, N. (2013). A review: Anti diabetic medicinal plants used for diabetes mellitus. *Journal of Acute Disease*, 2(3), 196–200. [https://doi.org/10.1016/s2221-6189\(13\)60126-2](https://doi.org/10.1016/s2221-6189(13)60126-2)
- Ayvazyan, A., & Zidom, C. (2024). Traditionally Used Medicinal Plants of Armenia. *Plants*, 13(23), 3411. <https://doi.org/10.3390/PLANTS13233411/S1>
- Bai, H., Jiang, S., Liu, J., Tian, Y., Zheng, X., Wang, S., Xie, Y., Li, Y., & Jia, P. (2023). Planting conditions can enhance the bioactivity of mulberry by affecting its composition. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2023.1133062/PDF>
- Baryłko-Pikielna, Nina, & Matuszewska, Irena. (2009). *Sensoryczne badania żywności : podstawy, metody, zastosowania*.
- Baset, M., Ali, T., Elshamy, H., El Sadek, A., Sami, D., Badawy, M., Abou-Zekry, S., Heiba, H., Saadeldin, M., & Abdellatif, A. (2020). Anti-diabetic effects of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*): A comparison between oral and intraperitoneal administration - an animal study. *International Journal of Functional Nutrition*, 1(2). <https://doi.org/10.3892/ijfn.2020.2>
- Bielefeld, D., Grafenauer, S., & Rangan, A. (2020). The Effects of Legume Consumption on Markers of Glycaemic Control in Individuals with and without Diabetes Mellitus: A Systematic Literature Review of Randomised Controlled Trials. *Nutrients*, 12(7), 2123. <https://doi.org/10.3390/nu12072123>
- Bnouham, M., Ziyat, A., Mekhfi, H., Tahri, A., & Legssyer, A. (2006). Medicinal plants with potential antidiabetic activity-A review of ten years of herbal medicine research (1990-2000). *International Journal of Diabetes and Metabolism*, 14, 1–25.
- Bouayed, J., Hoffmann, L., & Bohn, T. (2011). Total phenolics, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activity following simulated gastro-intestinal digestion and dialysis of apple varieties: Bioaccessibility and potential uptake. *Food Chemistry*, 128(1), 14–21. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.052>
- Boutaj, H. (2024). A Comprehensive Review of Moroccan Medicinal Plants for Diabetes Management. *Diseases*, 12(10), 246. <https://doi.org/10.3390/DISEASES12100246>
- Camu, N., De Winter, T., Addo, S., Takrama, J., Bernaert, H., & De Vuyst, L. (2008). Fermentation of Cocoa Beans: Influence of Microbial Activities and Polyphenol Concentrations on the Flavour of Chocolate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(13), 2288–2297. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3349>
- Carbas, B., Machado, N., Oppolzer, D., Ferreira, L., Queiroz, M., Brites, C., Rosa, E. A., & Barros, A. I. (2020). Nutrients, Antinutrients, Phenolic Composition, and Antioxidant Activity of Common Bean Cultivars and their Potential for Food Applications. *Antioxidants*, 9(2), 186. <https://doi.org/10.3390/ANTIOX9020186>
- Cavalcanti, V. P., Aazza, S., Bertolucci, S. K. V., Pereira, M. M. A., Cavalcanti, P. P., Buttrós, V. H. T., de Oliveira e Silva, A. M., Pasqual, M., & Dória, J. (2020). Plant, pathogen and biocontrol agent interaction effects on bioactive compounds and antioxidant activity in garlic. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 112, 101550. <https://doi.org/10.1016/j.pmp.2020.101550>
- Celep, E., Charehsaz, M., Akyüz, S., Acar, E. T., & Yesilada, E. (2015). Effect of in vitro gastrointestinal digestion on the bioavailability of phenolic components and the antioxidant potentials of some Turkish fruit wines. *Food Research International*, 78(December), 209–215. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.10.009>
- Chan, E. W. C., Lye, P. Y., & Wong, S. K. (2016). Phytochemistry, pharmacology, and clinical trials of *Morus alba*. *Chinese Journal of Natural Medicines*, 14(1), 17–30. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1009.2016.00017>

- Chandalia, M., Garg, A., Lutjohann, D., von Bergmann, K., Grundy, S. M., & Brinkley, L. J. (2000). Beneficial Effects of High Dietary Fiber Intake in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *New England Journal of Medicine*, 342(19), 1392–1398. <https://doi.org/10.1056/NEJM200005113421903>
- Charunuch, C., Tangkanakul, P., Rungchang, S., & Sonted, V. (2008). Application of mulberry (*Morus alba*) for supplementing antioxidant activity in extruded Thai rice snack. *Acta Horticulturae*, 786, 137–146.
- Chen, C., Razali, U. H. M., Saikim, F. H., Mahyudin, A., & Noor, N. Q. I. M. (2021). *Morus alba* L. Plant: Bioactive Compounds and Potential as a Functional Food Ingredient. *Foods*, 10(3), 689. <https://doi.org/10.3390/FOODS10030689>
- Chon, S.-U., Kim, Y.-M., Park, Y.-J., Heo, B.-G., Park, Y.-S., & Gorinstein, S. (2009). Antioxidant and antiproliferative effects of methanol extracts from raw and fermented parts of mulberry plant (*Morus alba* L.). *European Food Research and Technology*, 230(2), 231–237. <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1165-2>
- Crespy, V., & Williamson, G. (2004). A review of the health effects of green tea catechins in in vivo animal models. *The Journal of Nutrition*, 134(12 Suppl). <https://doi.org/10.1093/JN/134.12.3431S>
- Dagan-Wiener, A., Nissim, I., Ben Abu, N., Borgonovo, G., Bassoli, A., & Niv, M. Y. (2017). Bitter or Not? BitterPredict, a Tool for Predicting Taste from Chemical Structure. *Scientific Reports*, 7(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-12359-7>
- Duda-Chodak, A., Tarko, T., Satora, P., & Sroka, P. (2015). Interaction of dietary compounds, especially polyphenols, with the intestinal microbiota: a review. *European Journal of Nutrition*, 54(3), 325–341. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-0852-y>
- Dziedziński, M., Kobus-Cisowska, J., Szymanowska, D., Stuper-Szablewska, K., & Baranowska, M. (2020). Identification of polyphenols from coniferous shoots as natural antioxidants and antimicrobial compounds. *Molecules*, 25(15), 3527. <https://doi.org/10.3390/molecules25153527>
- Eddouks, M., Maghrani, M., Lemhadri, A., Ouahidi, M. L., & Jouad, H. (2002). Ethnopharmacological survey of medicinal plants used for the treatment of diabetes mellitus, hypertension and cardiac diseases in the south-east region of Morocco (Tafilaleet). *Journal of Ethnopharmacology*, 82(2–3), 97–103. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(02\)00164-2](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(02)00164-2)
- Esmaeili, M. A., & Yazdanparast, R. (2004). Hypoglycaemic effect of *Teucrium polium*: studies with rat pancreatic islets. *Journal of Ethnopharmacology*, 95(1), 27–30. <https://doi.org/10.1016/J.JEP.2004.06.023>
- EUR-Lex. (2011). *Regulation - 1169/2011 - EN - Food Information to Consumers Regulation - EUR-Lex*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=celex%3A32011R1169>
- Ferreira, E. d. Á., Hatta, M., Laymon, K., Ikeda, I., Takeuchi, M., Takeda, Y., Yoshizawa Morikawa, S., Horikawa, C., Kato, N., Maegawa, H., Fujihara, K., & Sone, H. (2024). Higher dietary protein/energy ratio is associated with a lower risk for obesity in older women with type 2 diabetes: Cross-sectional analysis of Japanese patients with type 2 diabetes mellitus (JDDM75). *Human Nutrition & Metabolism*, 36(March), 200257. <https://doi.org/10.1016/j.hnm.2024.200257>
- Fongsodsri, K., Thaipitakwong, T., Rujimongkon, K., Kanjanaputhipong, T., Ampawong, S., Reamtong, O., & Aramwit, P. (2022). Mulberry-Derived 1-Deoxynojirimycin Prevents Type 2 Diabetes Mellitus Progression via Modulation of Retinol-Binding Protein 4 and Haptoglobin. *Nutrients*, 14(21), 4538. <https://doi.org/10.3390/nu14214538>
- Gholap, S., & Kar, A. (2004). Hypoglycaemic effects of some plant extracts are possibly mediated through inhibition in corticosteroid concentration. *Pharmazie*, 59(11), 876–878. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15587591/>
- Grajek, W. (2003). Zmiany potencjału przeciwutleniającego surowców roślinnych w procesach przetwórczych w czasie trawienia. *ŻYWNOŚĆ. Nauka Technologia Jakość*, 37(4), 26–35.
- Gültekin-Özgüven, M., Karadağ, A., Duman, Ş., Özkal, B., & Özçelik, B. (2016). Fortification of dark chocolate with spray dried black mulberry (*Morus nigra*) waste extract encapsulated in chitosan-coated liposomes and bioaccessibility studies. *Food Chemistry*, 201, 205–212. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.091>
- Gumul, D., Korus, J., & Achremowicz, B. (2005). Wpływ Procesów Przetwórczych na Aktywność Przeciwutleniającą Surowców Pochodzenia Roślinnego. *ŻYWNOŚĆ. Nauka Technologia Jakość*, 4(45), 41–48.
- Haider, K., Haider, M. R., Neha, K., & Yar, M. S. (2020). Free radical scavengers: An overview on heterocyclic advances and medicinal prospects. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 204, 112607. <https://doi.org/10.1016/j.ejmech.2020.112607>
- Halliwell, B. (1996). Antioxidants in human health and disease. *Annual Review of Nutrition*, 16, 33–50. <https://doi.org/10.1146/annurev.nu.16.070196.000341>
- Heidari, R., Zareae, S., & Heidarizadeh, M. (2005). Extraction, purification, and inhibitory effect of alpha-amylase inhibitor from wheat (*Triticum aestivum* Var. Zarrin). *Pakistan Journal of Nutrition*, 4(2), 101–105. <https://doi.org/10.3923/pjn.2005.101.105>

- Hernandez, D. F., Orozco-Avila, I., Lugo-Cervantes, E., & Mojica, L. (2020). Black Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Phenolic Extract Exhibits Antioxidant and Anti-Aging Potential. *Current Developments in Nutrition*, 4(2). https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa040_024
- Herrera, T., Navarro del Hierro, J., Fornari, T., Reglero, G., & Martin, D. (2019). Inhibitory effect of quinoa and fenugreek extracts on pancreatic lipase and α -amylase under in vitro traditional conditions or intestinal simulated conditions. *Food Chemistry*, 270, 509–517. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.145>
- Huang, J., Li, Y., Yu, C., Mo, R., Zhu, Z., Dong, Z., Hu, X., & Deng, W. (2023). Metabolome and Transcriptome Integrated Analysis of Mulberry Leaves for Insight into the Formation of Bitter Taste. *Genes*, 14(6), 1282. <https://doi.org/10.3390/genes14061282>
- Iannario, M., Manisera, M., Piccolo, D., & Zuccolotto, P. (2012). Sensory analysis in the food industry as a tool for marketing decisions. *Advances in Data Analysis and Classification*, 6(4), 303–321. <https://doi.org/10.1007/S11634-012-0120-4/METRICS>
- International Diabetes Federation. (2022). *IDF: Facts & Figures*. <https://idf.org/about-diabetes/diabetes-facts-figures/>
- Iqbal, S., Younas, U., Sirajuddin, Chan, K. W., Sarfraz, R. A., & Uddin, K. (2012). Proximate composition and antioxidant potential of leaves from three varieties of Mulberry (*Morus* sp.): a comparative study. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(6), 6651–6664. <https://doi.org/10.3390/ijms13066651>
- Irondi, E. A., Akintunde, J. K., Agboola, S. O., Boligon, A. A., & Athayde, M. L. (2017). Blanching influences the phenolics composition, antioxidant activity, and inhibitory effect of *Adansonia digitata* leaves extract on α -amylase, α -glucosidase, and aldose reductase. *Food Science and Nutrition*, 5(2), 233–242. <https://doi.org/10.1002/fsn3.386>
- Jiang, S., Wang, X., Yu, M., Tian, J., Chang, P., & Zhu, S. (2023). Bitter Peptides in Fermented Soybean Foods - A Review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 78(2), 261–269. <https://doi.org/10.1007/S1130-023-01077-3/METRICS>
- Jürkenbeck, K., & Spiller, A. (2021). Importance of sensory quality signals in consumers' food choice. *Food Quality and Preference*, 90, 104155. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.104155>
- Kamiloglu, S., Capanoglu, E., Bilen, F. D., Gonzales, G. B., Grootaert, C., Van de Wiele, T., & Van Camp, J. (2016). Bioaccessibility of Polyphenols from Plant-Processing Byproducts of Black Carrot (*Daucus carota* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 64(12), 2450–2458. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02640>
- Kaneto, H., Matsuoka, T., Nakatani, Y., Kawamori, D., Matsuhisa, M., & Yamasaki, Y. (2005). Oxidative stress and the JNK pathway in diabetes. *Current Diabetes Reviews*, 1(1), 65–72. <https://doi.org/10.2174/1573399052952613>
- Kattil, A., Hamid, Dash, K. K., Shams, R., & Sharma, S. (2024). Nutritional composition, phytochemical extraction, and pharmacological potential of mulberry: A comprehensive review. *Future Foods*, 9, 100295. <https://doi.org/10.1016/J.FUFO.2024.100295>
- Kaur, B., Ranawana, V., & Henry, J. (2016). The Glycemic Index of Rice and Rice Products: A Review, and Table of GI Values. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(2), 215–236. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.717976>
- Kim, G.-N., & Jang, H.-D. (2011). Flavonol Content in the Water Extract of the Mulberry (*Morus alba* L.) Leaf and Their Antioxidant Capacities. *Journal of Food Science*, 76(6), C869–C873. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02262.x>
- Kim, J.-W., Kim, S.-U., Lee, H. S., Kim, I., Ahn, M. Y., & Ryu, K. S. (2003). Determination of 1-deoxynojirimycin in *Morus alba* L. leaves by derivatization with 9-fluorenylmethyl chloroformate followed by reversed-phase high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1002, 93–99.
- Kim, M.-J., Gyeong, R., Chung, J.-S., Sim, S.-S., Min, D.-S., Rhie, D.-J., Yoon, S.-H., Hahn, S.-J., Kim, M.-S., Jo, Y.-H. (2003). Protective effects of epicatechin against the toxic effects of streptozotocin on rat pancreatic islets: in vivo and in vitro. *Pancreas*, 26(3), 292–299.
- Kochadai, N., Khasherao, B. Y., & Sinija, V. R. N. (2022). Effect of Radiofrequency Pre-treatment on the Extraction of Bioactives from *Clitoria ternatea* and *Hibiscus rosa sinensis* and Insights to Enzyme Inhibitory Activities. *Food and Bioprocess Technology*, 15(3), 571–589. <https://doi.org/10.1007/S11947-022-02770-Y/METRICS>
- Kozłowska, M., Żbikowska, A., Marciniak-Lukasiak, K., & Kowalska, M. (2019). Herbal extracts incorporated into shortbread cookies: impact on color and fat quality of the cookies. *Biomolecules*, 9(12), 858. <https://doi.org/10.3390/biom9120858>
- Kujawska, M., Ewertowska, M., Adamska, T., Ignatowicz, E., Flaczyk, E., Przeor, M., Kurpik, M., & Jodynis-Liebert, J. (2016). Protective effect of *Morus alba* leaf extract on N-nitrosodiethylamine-induced hepatocarcinogenesis in rats. *In Vivo*, 30(6), 807–812. <https://doi.org/10.21873/invivo.10998>
- Lee, W. J., & Choi, S. W. (2012). Quantitative Changes of Polyphenolic Compounds in Mulberry (*Morus alba* L.) Leaves in Relation to Varieties, Harvest Period, and Heat Processing. *Preventive Nutrition and Food Science*, 17(4), 280–285. <https://doi.org/10.3746/pnf.2012.17.4.280>

- Li, Y., Zhang, X., Liang, C., Hu, J., & Yu, Z. (2018). Safety evaluation of mulberry leaf extract: Acute, subacute toxicity and genotoxicity studies. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, *95*, 220–226. <https://doi.org/10.1016/J.YRTPH.2018.03.007>
- Li, Z., Liu, Y., Xiang, J., Wang, C., Johnson, J. B., & Beta, T. (2023). Diverse polyphenol components contribute to antioxidant activity and hypoglycemic potential of mulberry varieties. *LWT*, *173*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114308>
- Locatelli, D. A., Nazareno, M. A., Fusari, C. M., & Camargo, A. B. (2017). Cooked garlic and antioxidant activity: Correlation with organosulfur compound composition. *Food Chemistry*, *220*, 219–224. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.001>
- Loureiro, G., & Martel, F. (2019). The effect of dietary polyphenols on intestinal absorption of glucose and fructose: Relation with obesity and type 2 diabetes. *Food Reviews International*, *35*(4), 390–406. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1573432;SUBPAGE:STRING:ACCESS>
- Lu, Z. Q., & Yan, J. (2014). Dietary Carbohydrate and Age-Related Cataract. In V. R. Preedy (Ed.), *Handbook of Nutrition, Diet and the Eye* (1st ed., pp. 271–277). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-401717-7.00027-7>
- Lucas-González, R., Viuda-Martos, M., Pérez-Alvarez, J. A., & Fernández-López, J. (2018). In vitro digestion models suitable for foods: Opportunities for new fields of application and challenges. *Food Research International*, *107*, 423–436. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.02.055>
- McShea, A., Ramiro-Puig, E., Munro, S. B., Casadesus, G., Castell, M., & Smith, M. A. (2008). Clinical Benefit and Preservation of Flavonols in Dark Chocolate Manufacturing. *Nutrition Reviews*, *66*(11), 630–641. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2008.00114.x>
- Mellor, D., Amund, D., Georgousopoulou, E., & Naumovski, N. (2018). Sugar and Cocoa: Sweet Synergy or Bitter Antagonisms. Formulating Cocoa and Chocolate Products for Health: a Narrative Review. *International Journal of Food Science and Technology*, *53*(1), 33–42. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13651>
- Miura, T., Itoh, C., Iwamoto, N., Kato, M., Kawai, M., Park, S. R., & Suzuki, I. (2001). Hypoglycemic activity of the fruit of the *Momordica charantia* in type 2 diabetic mice. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, *47*(5), 340–344. <https://doi.org/10.3177/JNSV.47.340>
- Mo, J., Rashwan, A. K., Osman, A. I., Eletmany, M. R., & Chen, W. (2024). Potential of Chinese Bayberry (*Myrica rubra* Sieb. et Zucc.) Fruit, Kernel, and Pomace as Promising Functional Ingredients for the Development of Food Products: A Comprehensive Review. *Food and Bioprocess Technology*, 1–19. <https://doi.org/10.1007/S11947-023-03313-9>
- Morales Ramos, J. G., Esteves Pairazamán, A. T., Mocarro Willis, M. E. S., Collantes Santisteban, S., & Caldas Herrera, E. (2021). Medicinal properties of *Morus alba* for the control of type 2 diabetes mellitus: a systematic review. *F1000Research*, *10*, 1022. <https://doi.org/10.12688/F1000RESEARCH.55573.1>
- Mukherjee, P. K., Maiti, K., Mukherjee, K., & Houghton, P. J. (2006). Leads from Indian medicinal plants with hypoglycemic potentials. *Journal of Ethnopharmacology*, *106*(1), 1–28. <https://doi.org/10.1016/J.JEP.2006.03.021>
- Musabayane, C. T., Bwititi, P. T., & Ojewole, J. A. O. (2006). Effects of oral administration of some herbal extracts on food consumption and blood glucose levels in normal and streptozotocin-treated diabetic rats. *Methods and Findings in Experimental and Clinical Pharmacology*, *28*(4), 223–228. <https://doi.org/10.1358/mf.2006.28.4.990202>
- Negro, C., Aprile, A., De Bellis, L., & Miceli, A. (2019). Nutraceutical Properties of Mulberries Grown in Southern Italy (Apulia). *Antioxidants*, *8*(7), 223. <https://doi.org/10.3390/antiox8070223>
- Newman, J., O’Riordan, D., Jacquier, J. C., & O’Sullivan, M. (2015). Masking of Bitterness in Dairy Protein Hydrolysates: Comparison of an Electronic Tongue and a Trained Sensory Panel as Means of Directing the Masking Strategy. *LWT - Food Science and Technology*, *63*(1), 751–757. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.019>
- Nookabkaew, S., Rangkadilok, N., & Stayavivad, J. (2006). Determination of trace elements in herbal tea products and their infusions consumed in Thailand. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *54*, 6939–6944.
- Obuchowski, W., Szwengiel, A., Kobus-Cisowska, J., Kmiciek, D., & Łuczak, A. (2015). Opracowanie technologii produkcji chleba chrupkiego z pszenżyta, jako nośnika substancji bioaktywnych. *Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego*, *2*(4), 24–30.
- Ozkan, G., Kamiloglu, S., Ozdal, T., Boyacioglu, D., & Capanoglu, E. (2016). Potential use of Turkish medicinal plants in the treatment of various diseases. *Molecules*, *21*(3), 257. <https://doi.org/10.3390/molecules21030257>
- Park, S.-H., & Lee, J.-H. (2007). The Quality Characteristics of Cream Soup Prepared with Mulberry Leaf Powder. *Korean Journal of Food and Cookery Science*, *23*(5), 601–608.
- Parkar, S. G., Trower, T. M., & Stevenson, D. E. (2013). Fecal Microbial Metabolism of Polyphenols and Its Effects on Human Gut Microbiota. *Anaerobe*, *23*, 12–19. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2013.07.009>
- Pei, K., Ou, J., Huang, J., & Ou, S. (2016). *p*-Coumaric acid and its conjugates: Dietary sources, pharmacokinetic properties and biological activities. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *96*(9), 2952–2962. <https://doi.org/10.1002/JSSFA.7578>

- Perez Gutierrez, R. M. (2016). Antidiabetic and antioxidant properties, and α -amylase and α -glucosidase inhibition effects of triterpene saponins from *Piper auritum*. *Food Science and Biotechnology*, 25(1), 229–239. <https://doi.org/10.1007/S10068-016-0034-6/METRICS>
- Petreska Stanoeva, J., Balshikevska, E., Stefova, M., Tusevski, O., & Simic, S. G. (2020). Comparison of the Effect of Acids in Solvent Mixtures for Extraction of Phenolic Compounds From *Aronia melanocarpa*. *Natural Product Communications*, 15(7). <https://doi.org/10.1177/1934578X20934675>
- Pineda-Vadillo, C., Nau, F., Dubiard, C., Cheynier, V., Meudec, E., Sanz-Buenhombre, M., Guadarrama, A., Tóth, T., Csavajda, E., Hingyi, H., Karakaya, K., Sibakov, J., Capozzi, F., Bordoni, A., & Dupon, D. (2016). In Vitro Digestion of Dairy and Egg Products Enriched with Grape Extracts: Effect of the Food Matrix on Polyphenol Bioaccessibility and Antioxidant Activity. *Food Research International*, 88, 284–292. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.029>
- Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized Methods for the Determination of Antioxidant Capacity and Phenolics in Foods and Dietary Supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(10), 4290–4302. <https://doi.org/10.1021/jf0502698>
- Przeor, M. (2022). Some Common Medicinal Plants with Antidiabetic Activity, Known and Available in Europe (A Mini-Review). *Pharmaceuticals*, 15(1), 65. <https://doi.org/10.3390/ph15010065>
- Przeor, M., & Flaczyk, E. (2016). Antioxidant properties of Paratha type flat bread enriched with white mulberry leaf extract. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 15(2), 237–244.
- Przeor, M., Flaczyk, E., Kmiecik, D., Kobus-Cisowska, J., Bueschke, M., & Kulczyński, B. (2018). Polish consumers' awareness and knowledge about functional food. *Univ. Technol. Stetin., Agric., Aliment., Pisc., Zootech*, 341(46), 59–68. <https://doi.org/10.21005/AAPZ2018.46.2.07>
- Radojković, M. M., Zeković, Z. P., Dojinović, B. P., Stojanović, Z. S., Cvetanović, A. D., & Manojlović, D. D. (2014). Characterization of *Morus* species in respect to micro, macro, and toxic elements. *Acta Periodica Technologica*, 45, 229–237. <https://doi.org/10.2298/APT1445229R>
- Radojković, M., Zeković, Z., Mašković, P., Vidović, S., Mandić, A., Mišan, A., & Đurović, S. (2016). Biological activities and chemical composition of *Morus* leaves extracts obtained by maceration and supercritical fluid extraction. *The Journal of Supercritical Fluids*, 117, 50–58. <https://doi.org/10.1016/J.SUPFLU.2016.05.004>
- Rechner, A. R., Smith, M. A., Kuhnle, G., Gibson, G. R., Debnam, E. S., Srai, S. K. S., Moore, K. P., & Rice-Evans, C. A. (2004). Colonic metabolism of dietary polyphenols: Influence of structure on microbial fermentation products. *Free Radical Biology and Medicine*, 36(2), 212–225. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2003.09.022>
- Reis, C. E. G., Dórea, J. G., & da Costa, T. H. M. (2019). Effects of coffee consumption on glucose metabolism: A systematic review of clinical trials. *Journal of Traditional and Complementary Medicine*, 9(3), 184–191. <https://doi.org/10.1016/J.JTCME.2018.01.001>
- Remali, J., & Aizat, W. M. (2024). Medicinal plants and plant-based traditional medicine: Alternative treatments for depression and their potential mechanisms of action. *Heliyon*, 10(20), e38986. <https://doi.org/10.1016/J.HELIYON.2024.E38986>
- Sadeghi Ekbatan, S., Sleno, L., Sabally, K., Khairallah, J., Azadi, B., Rodes, L., Prakash, S., Donnelly, D. J., & Kubow, S. (2016). Biotransformation of Polyphenols in a Dynamic Multistage Gastrointestinal Model. *Food Chemistry*, 204, 453–462. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.02.140>
- Salehi, B., Ata, A., Anil Kumar, N. V., Sharopov, F., Ramírez-Alarcón, K., Ruiz-Ortega, A., Abdulmajid Ayatollahi, S., Tsouh Fokou, P. V., Kobarfard, F., Amiruddin Zakaria, Z., Iriti, M., Taheri, Y., Martorell, M., Sureda, A., Setzer, W. N., Durazzo, A., Lucarini, M., Santini, A., Capasso, R., ... Sharifi-Rad, J. (2019). Antidiabetic potential of medicinal plants and their active components. *Biomolecules*, 9(10), 551. <https://doi.org/10.3390/biom9100551>
- Sánchez-Salcedo, E., Mena, P., García-Viguera, C., Hernández, F., & Martínez, J. J. (2015). (Poly)phenolic compounds and antioxidant activity of white (*Morus alba*) and black (*Morus nigra*) mulberry leaves: Their potential for new products rich in phytochemicals. *Journal of Functional Foods*, 18, 1039–1046. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2015.03.053>
- Santosh, O., Bajwa, H. K., Bisht, M. S., & Chongtham, N. (2021). Antioxidant activity and sensory evaluation of crispy salted snacks fortified with bamboo shoot rich in bioactive compounds. *Applied Food Research*, 1(2), 100018. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100018>
- Shahwan, M., Alhumaydhi, F., Ashraf, G. M., Hasan, P. M. Z., & Shamsi, A. (2022). Role of polyphenols in combating Type 2 Diabetes and insulin resistance. *International Journal of Biological Macromolecules*, 206, 567–579. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.03.004>
- Shin, A. H., Oh, C. J., & Park, J.-P. (2006). Glycation-induced inactivation of antioxidant enzymes and modulation of cellular redox status in lens cells. *Archives of Pharmacal Research*, 29(7), 577–581. <https://doi.org/10.1007/BF02969268>

- Shin, D., & Jeong, D. (2015). Korean traditional fermented soybean products: Jang. *Journal of Ethnic Foods*, 2(1), 2–7. <https://doi.org/10.1016/j.jef.2015.02.002>
- Sidorova, Y., Shipelin, V., Mazo, V., Zorin, S., Petrov, N., & Kochetkova, A. (2017). Hypoglycemic and hypolipidemic effect of *Vaccinium myrtillus* L. leaf and *Phaseolus vulgaris* L. seed coat extracts in diabetic rats. *Nutrition*, 41, 107–112. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2017.04.010>
- Siracusa, V., Blanco, I., Romani, S., Tylewicz, U., & Dalla Rosa, M. (2012). Gas Permeability and Thermal Behavior of Polypropylene Films Used for Packaging Minimally Processed Fresh-Cut Potatoes: A Case Study. *Journal of Food Science*, 10(77), 264–272. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02905.x>
- Soriano Sancho, R. A., Pavan, V., & Pastore, G. M. (2014). Effect of in vitro digestion on bioactive compounds and antioxidant activity of common bean seed coats. *Food Research International*, 76(P1), 74–78. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.042>
- Stalmach, A., Mullen, W., Barron, D., Uchida, K., Yokota, T., Cavin, C., Steiling, H., Williamson, G., & Crozier, A. (2009). Metabolite Profiling of Hydroxycinnamate Derivatives in Plasma and Urine After the Ingestion of Coffee by Humans: Identification of Biomarkers of Coffee Consumption. *Drug Metabolism and Disposition*, 37(8), 1749–1758. <https://doi.org/10.1124/dmd.109.028019>
- Stempińska, K., Soral-Smietana, M., Zieliński, H., & Michalska, A. (2007). Wpływ obróbki termicznej na skład chemiczny i właściwości przeciwutleniające ziarniaków gryki. *ŻYWNOŚĆ. Nauka Technologia Jakość*, 54(5), 66–76. <https://wydawnictwo.ptz.org/magazine-archive/karolina-stempinska-maria-soral-smietana-henryk-zielinski-anna-michalska-wplyw-obrobki-termicznej-na-sklad-chemiczny-i-wlasciwosci-przeciwutleniajace-ziarniakow-gryki/>
- Sun, C., Zhao, C., Guven, E. C., Paoli, P., Simal-Gandara, J., Ramkumar, K. M., Wang, S., Buleu, F., Pah, A., Turi, V., Damian, G., Dragan, S., Tomas, M., Khan, W., Wang, M., Delmas, D., Portillo, M. P., Dar, P., Chen, L., & Xiao, J. (2020). Dietary polyphenols as antidiabetic agents: Advances and opportunities. *Food Frontiers*, 1(1), 18–44. <https://doi.org/10.1002/FFT2.15>
- Suryavanshi, S. V., & Kulkarni, Y. A. (2017). NF- κ B: A potential target in the management of vascular complications of diabetes. *Frontiers in Pharmacology*, 8, 798. <https://doi.org/10.3389/FPHAR.2017.00798>
- Sylvetsky, A., Rother, K. I., & Brown, R. (2011). Artificial Sweetener Use Among Children: Epidemiology, Recommendations, Metabolic Outcomes, and Future Directions. *Pediatric Clinics of North America*, 58(6), 1467–1480. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2011.09.007>
- Szczepaniak, O., Jokiel, M., Stuper-Szablewska, K., Szymanowska, D., Dziedziński, M., & Kobus-Cisowska, J. (2021). Can Cornelian Cherry Mask Bitter Taste of Probiotic Chocolate? Human TAS2R Receptors and a Sensory Study with Comprehensive Characterisation of New Functional Product. *PLoS ONE*, 16, 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243871>
- Tabaefard, R., Moradi, M., Arzhang, P., & Azadbakht, L. (2024). Association between protein intake and risk of gestational diabetes mellitus: A systematic review and dose–response meta-analysis of cohort studies. *Clinical Nutrition*, 43(3), 719–728. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2024.01.027>
- Tagliacuzzi, D., Verzelloni, E., Bertolini, D., & Conte, A. (2010). In vitro bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chemistry*, 120(2), 599–606. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2009.10.030>
- Tajner-Czopek, A., Gertchen, M., Rytel, E., Kita, A., Kucharska, A. Z., & Sokół-Łętowska, A. (2020). Study of antioxidant activity of some medicinal plants having high content of caffeic acid derivatives. *Antioxidants*, 9(5), 412. <https://doi.org/10.3390/antiox9050412>
- Tan, Y., & Chang, S. K. C. (2017). Digestive enzyme inhibition activity of the phenolic substances in selected fruits, vegetables and tea as compared to black legumes. *Journal of Functional Foods*, 38, 644–655. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2017.04.005>
- Tang, C., Bao, T., Zhang, Q., Qi, H., Huang, Y., Zhang, B., Zhao, L., & Tong, X. (2023). Clinical potential and mechanistic insights of mulberry (*Morus alba* L.) leaves in managing type 2 diabetes mellitus: Focusing on gut microbiota, inflammation, and metabolism. *Journal of Ethnopharmacology*, 306, 116143. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.116143>
- Teng, Z., Yuan, C., Zhang, F., Huan, M., Cao, W., Li, K., Yang, J., Cao, D., Zhou, S., & Mei, Q. (2012). Intestinal absorption and first-pass metabolism of polyphenol compounds in rat and their transport dynamics in caco-2 cells. *PLoS ONE*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029647>
- Thabti, I., Elfalleh, W., Hannachi, H., Ferchichi, A., & Campos, M. D. G. (2012). Identification and quantification of phenolic acids and flavonol glycosides in Tunisian *Morus* species by HPLC-DAD and HPLC-MS. *Journal of Functional Foods*, 4(1), 367–374. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2012.01.006>
- Tian, W., Hu, R., Chen, G., Zhang, Y., Wang, W., & Li, Y. (2021). Potential bioaccessibility of phenolic acids in whole wheat products during in vitro gastrointestinal digestion and probiotic fermentation. *Food Chemistry*, 362(April), 130135. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130135>

- Tuzim, K., & Korolczuk, A. (2021). An Update on Extra-oral Bitter Taste Receptors. *Journal of Translational Medicine*, *19*, 1. <https://doi.org/10.1186/s12967-021-03067-y>
- Tylewicz, U., Oliveira, G., Alminger, M., Nohynek, L., Dalla Rosa, M., & Romani, S. (2020). Antioxidant and antimicrobial properties of organic fruits subjected to PEF-assisted osmotic dehydration. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *62*, 102341. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102341>
- Van Loo, E. J., Grebitus, C., & Roosen, J. (2019). Explaining attention and choice for origin labeled cheese by means of consumer ethnocentrism. *Food Quality and Preference*, *78*(May 2018), 103716. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.05.016>
- Villegas, R., Liu, S., Gao, Y. T., Yang, G., Li, H., Zheng, W., & Xiao, O. S. (2007). Prospective Study of Dietary Carbohydrates, Glycemic Index, Glycemic Load, and Incidence of Type 2 Diabetes Mellitus in Middle-aged Chinese Women. *Archives of Internal Medicine*, *167*(21), 2310–2316. <https://doi.org/10.1001/ARCHINTE.167.21.2310>
- Wang, S., Ma, L., Ji, J., Huo, R., Dong, S., Bai, Y., Hua, L., Lei, J., Tian, S., Wang, M., & Yu, Y. (2023). Protective effect of soy isolate protein against streptozotocin induced gestational diabetes mellitus via TLR4/MyD88/NF- κ B signaling pathway. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, *168*, 115688. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2023.115688>
- Wang, Y., Ai, Q., Gu, M., Guan, H., Yang, W., Zhang, M., Mao, J., Lin, Z., Liu, Q., & Liu, J. (2024). Comprehensive overview of different medicinal parts from *Morus alba* L.: chemical compositions and pharmacological activities. *Frontiers in Pharmacology*, *15*, 1364948. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1364948/PDF>
- Wanyo, P., Siriamornpun, S., & Meeso, N. (2011). Improvement of quality and antioxidant properties of dried mulberry leaves with combined far-infrared radiation and air convection in Thai tea process. *Food and Bioprocess Processing*, *89*(1), 22–30. <https://doi.org/10.1016/J.FBP.2010.03.005>
- Wei, H., Liu, S., Liao, Y., Ma, C., Wang, D., Tong, J., Feng, J., Yi, T., & Zhu, L. (2018). A Systematic Review of the Medicinal Potential of Mulberry in Treating Diabetes Mellitus. *The American Journal of Chinese Medicine*, *46*(08), 1743–1770. <https://doi.org/10.1142/S0192415X1850088X>
- WHO. (2021). *Diabetes*. https://www.who.int/health-topics/diabetes#tab=tab_1
- Wojtyniak, B., & Smaga, A. (2025). *Sytuacja zdrowotna ludności polski i jej uwarunkowania*. Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego. www.pzh.gov.pl
- Xiao, J., Ni, X., Kai, G., & Chen, X. (2013). A review on structure-activity relationship of dietary polyphenols inhibiting α -amylase. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *53*(5), 497–506. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.548108>
- Xie, F., Yang, W., Xing, M., Zhang, H., & Ai, L. (2023). Natural polyphenols-gut microbiota interactions and effects on glycolipid metabolism via polyphenols-gut-brain axis: A state-of-the-art review. *Trends in Food Science & Technology*, *140*(May), 104171. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104171>
- Yang, M.-Y., Wu, C.-H., Hung, T.-W., & Wang, C.-J. (2019). Endoplasmic Reticulum Stress-Induced Resistance to Doxorubicin Is Reversed by Mulberry Leaf Polyphenol Extract in Hepatocellular Carcinoma through Inhibition of COX-2. *Antioxidants*, *9*(1), 26. <https://doi.org/10.3390/antiox9010026>
- Yao, J., Yan, B., Wang, Y., & Zhang, Y. (2000). Nutritional evaluation of mulberry leaves as feeds for ruminants. *Livestock Research for Rural Development*, *12*(2).
- Zhang, D.-Y., Wan, Y., Hao, J.-Y., Hu, R.-Z., Chen, C., Yao, X.-H., Zhao, W.-G., Liu, Z.-Y., & Li, L. (2018). Evaluation of the alkaloid, polyphenols, and antioxidant contents of various mulberry cultivars from different planting areas in eastern China. *Industrial Crops & Products*, *122*, 298–307. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2018.05.065>

5. ISTOTNA AKTYWNOŚĆ NAUKOWA REALIZOWANA W WIĘCEJ NIŻ JEDNEJ UCZELNI, INSTYTUCJI NAUKOWEJ, W SZCZEGÓLNOŚCI ZAGRANICZNEJ

Podczas mojej pracy naukowej w Katedrze Technologii Gastronomicznej i Żywności Funkcjonalnej (wcześniej: Katedrze Technologii Żywności Człowieka) Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu nawiązałam współpracę z licznymi naukowcami z innych jednostek naukowych oraz z praktykami z branży spożywczej.

Do najcenniejszych dla mnie doświadczeń badawczych zaliczam odbycie **zagranicznych staży akademickich**:

- a) 2-miesięczny staż laboratoryjny na **University of Bologna** (Włochy, 2016), zrealizowany w School of Agriculture and Veterinary Medicine in Cesena, w Department of Agricultural and Food Sciences. Staż odbywałam w laboratorium badań fizykochemicznych żywności, gdzie doskonaliłam swoje umiejętności w tym zakresie;
- b) 3-tygodniowy staż laboratoryjny na **Miguel Hernandez University of Elche** (Hiszpania, 2023), w Higher Polytechnic School, AgroFood Technology Department, w trakcie którego rozwijałam metodologię badań nad strawnością produktów spożywczych;
- c) 1-tygodniowy staż laboratoryjny na **University of Pardubice** (Czechy, 2015), w Faculty of Chemical Technology, Department of Analytical Chemistry, w laboratorium chromatograficznym.

Efektem stażu we Włoszech był **wspólny artykuł naukowy** pt. „*Air-drying temperature changes the content of the phenolic acids and flavonols in white mulberry (*Morus alba* L.) leaves*”, doi: 10.1590/0103-8478cr20190489.

Współpraca nawiązana podczas pobytu w Czechach zaowocowała **wieloma merytorycznymi spotkaniami** z tamtejszymi naukowcami oraz moim **zaangażowaniem w opiekę nad doktorantką** z University of Pardubice, **odbywającą 2-miesięczny staż laboratoryjny** w naszej jednostce jesienią 2025 roku.

W celu rozwoju własnych kompetencji, ściśle powiązanego z tematyką mojej działalności badawczej, odbyłam miesięczny **staż badawczo-technologiczny w Instytucie Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego**, w Zakładzie Koncentratów Spożywczych i Produktów Skrobiowych w Poznaniu (2012 r.). Efektem tego stażu było przygotowanie i zaprezentowanie współautorskiego plakatu na konferencji w Wuhan (Chiny, 2013 r.),

pt. „*Chemical characterization and antioxidative properties of Polish variety of Morus alba L. leaf aqueous extracts from the laboratory and pilot-scale processes*”.

W 2018 roku odbyłam 14-dniowy krajowy staż laboratoryjny w **Wrocławskim Centrum Badań EIT+ Sp. z o.o.**, w Laboratorium Inżynierii Białka, Oddziaływań Cząsteczkowych i Analizy DNA. Rezultatem tej współpracy była publikacja współautorska pt. „*Morus alba L. Leaves (WML) Modulate Sweet (TAS1R) and Bitter (TAS2R) Taste in the Studies on Human Receptors – A New Perspective on the Utilization of White Mulberry Leaves in Food Production?*” (doi: 10.1007/s11130-023-01107-0).

W moim przekonaniu działalność naukowa obejmuje nie tylko prowadzenie badań, ale również upowszechnianie ich wyników wśród szerszego grona odbiorców. W związku z tym podczas zagranicznych wyjazdów naukowych wygłaszałam otwarte wykłady. Dzięki wcześniej nawiązanej współpracy naukowej zostałam zaproszona do wygłoszenia cyklu wykładów połączonych z wizytacją **College of Food Science and Engineering na Bohai University w Jinzhou** (Chiny, 2023 i 2025 r.). Ponadto przeprowadziłam krótsze serie wykładów na **Faculty of Food Technology na Latvia University of Life Sciences and Technologies w Jelgavie** (Łotwa, 2022 r.) oraz na **Faculty of Food Technology and Nutrition na University of Tetova** (Północna Macedonia, 2024 r.), w ramach programu **Erasmus+ Staff Mobility for Teaching**. Efektem ostatniego z tych wyjazdów było przygotowanie i złożenie – jako lider zespołu – **wniosku projektowego Erasmus+ (2025-1-PL01-KA220-HED-000351573)**, dotyczącego międzynarodowego programu dokształcania studentów. Projekt, który będzie realizowany od 2025 roku, prowadzony jest w konsorcjum z Uniwersytetami z Macedonii Północnej, Włoch i Turcji.

6. INFORMACJA O OSIĄGNIĘCIACH DYDAKTYCZNYCH, ORGANIZACYJNYCH ORAZ POPULARYZUJĄCYCH NAUKĘ

6.1. Działalność dydaktyczna

Przed uzyskaniem stopnia doktora, z dniem 1 października 2016 r. zostałam zatrudniona na stanowisku asystenta, a od 2021 roku kontynuuję pracę w macierzystej Katedrze jako adiunkt. W ramach ustalonego planu dydaktycznego prowadzę zajęcia w pełnym lub ponadwymiarowym wymiarze godzin, zarówno w języku polskim, jak i angielskim.

Moja działalność dydaktyczna obejmuje **prowadzenie wykładów, ćwiczeń, seminariów oraz zajęć laboratoryjnych** dla studentów kierunków **polskojęzycznych**: Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka, Dietetyka, oraz kierunków **anglojęzycznych**: Food Technology and Human Nutrition, Doctoral School. W latach 2017–2025 prowadziłam zajęcia z następujących przedmiotów: Technologiczne projektowanie zakładów żywienia zbiorowego, Technologiczne projektowanie procesów produkcyjnych w gastronomii, Produkcja żywności dietetycznej i funkcjonalnej, Żywność wygodna, Technologia gastronomiczna i towaroznawstwo, Żywnienie człowieka we współczesnym świecie, Technologia produkcji potraw w różnych systemach żywienia, Wiedza Społeczna, Żywność na przekroju życia, Food Products Development, Social knowledge, Gastronomy science, functional foods and molecular cuisine. Dodatkowo, od 2018 roku odpowiadam za techniczną obsługę modułu Pensum, zapewniając prawidłową ewidencję i realizację godzin dydaktycznych przez pracowników Katedry.

Szczególnie **aktywnie uczestniczę w rozwoju przedmiotów**: Technologia Gastronomiczna i Towaroznawstwo^P, Technologiczne Projektowanie Zakładów Żywienia Zbiorowego^Ć, Produkcja Żywności Dietetycznej i Funkcjonalnej^Ć, Technologia Produkcji Potraw w Różnych Systemach Żywienia^P, którymi kieruję w całości (^P) lub jako nauczyciel odpowiedzialny za ćwiczenia (^Ć).

W celu rozwoju mojego **warsztatu dydaktycznego** brałam udział w licznych uniwersyteckich programach doskonalących kompetencje nauczycieli akademickich, takich jak: „Młoda Kadra – Kurs Innowacyjnych Kompetencji Dydaktycznych”, „Program Kształcenia Dydaktyków” oraz „Program Doskonalenia Kadry Dydaktycznej”. W ramach tych inicjatyw ukończyłam następujące kursy i szkolenia:

- Desery restauracyjne (Ashanti. Międzynarodowa Szkoła Sztuki Kulinarnej, Łódź, 2025 r.),

- Radzenie sobie w trudnych sytuacjach w trakcie zajęć dydaktycznych i metody ich rozwiązywania, porozumienie bez przemocy (Collegium Wratislaviense, 2025 r.),
- Tworzenie interaktywnych kursów e-learningowych na platformie Moodle (Edukacja-online.pl, Poznań, 2024 r.)
- Tworzenie angażujących kursów e-learningowych - Zaangażowanie i przykucie uwagi słuchaczy kursu - emisja głosu (Collegium Wratislaviense, 2024 r.)
- Adobe Acrobat Pro DC (Poznań, 2023 r.),
- Fotografia kulinarna smartfonem (Ashanti. Międzynarodowa Szkoła Sztuki Kulinarnej, Łódź, 2022 r.),
- Różnice kulturowe w kontaktach interpersonalnych z cudzoziemcami (Optima Centrum Rozwoju i Kształcenia Kadr, Poznań, 2021 r.),
- Obsługa programów do prezentacji multimedialnych Power Point, Prezi, Emaze (MrCertified Sp. Z o.o., Warszawa, 2020 r.),
- Wystąpienia publiczne, retoryka, erystyka, prowadzeni dyskusji i debat, nowoczesna dydaktyka (Kuźnia Ekspertów, Poznań, 2020 r.),
- Tworzenie i komponowanie infografik i slajdów (MrCertified Sp. Z o.o., Warszawa, 2020 r.),
- Kurs innowacyjnych kompetencji dydaktycznych (Kuźnia Ekspertów, Poznań, 2019 r.).

Dla **poszerzenia moich kompetencji dydaktycznych** w zakresie tematyki żywności wegańskiej uczestniczyłam w szkoleniach dla trenerów w ramach europejskiego **projektu EQVEGAN** (Train-the-Trainer modules: ‘Plant-based Processing’, ‘Digitalization and Automation’, 2022 r.). W 2024 roku zostałam wybrana do pełnienia funkcji **Mentora Dydaktycznego** (jednego z ośmiu na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu) dla doktorantów oraz nowo zatrudnionych nauczycieli akademickich, w ramach projektu realizowanego przez Centrum Wsparcia i Rozwoju UPP (**Z3.6.1.1.**). W związku z tą rolą ukończyłam 2-miesięczny kurs **Szkoły Mentorów** w Collegium Wratislaviense (24.02–23.04.2024 r.), dzięki któremu objęłam już opieką mentorską dwoje anglojęzycznych doktorantów Szkoły Doktorskiej UPP: mgr Ribi Ramadani Multisona oraz mgr Marcellusa Arnolda.

W ramach działalności badawczej sprawowałam opiekę nad **czterema pracami magisterskimi**, z czego trzy realizowane były na kierunku studiów anglojęzycznych. Ponadto byłam recenzentką dwóch prac magisterskich na kierunku Dietetyka (Tab. 1).

Tabela 1. Zestawienie nadzorowanych i recenzowanych prac dyplomowych.

Prace magisterskie polskojęzyczne			
1. Kaja Starybrat	Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka, specj. Żywnienie Człowieka	„Opracowanie i analiza jakości żywieniowej nowych produktów na bazie pozaasortymentowych elementów warzywnych, w tym skierowanych do diabetyków”	06.2024r.
Prace magisterskie anglojęzyczne			
1. Naglaa M. Ahmed	Food Technology and Nutrition	“Common beans fortified with white mulberry leaves as an innovative product to reduce the risk of type 2 diabetes mellitus”	05.2023r.
2. Nour I. A. Mhanna	Food Technology and Nutrition	“The design of a mulberry-based smoothie in dried convenience form as a potential new functional food product”	06.2024r.
3. Zaynab Fatolu	Food Technology and Nutrition	“Elements of mulberry as a compounds of nutritional food dyes - design and organoleptic analysis”	06.2025r.
Recenzje prac magisterskich			
1. Aleksandra Musialska	Dietetyka	„Wiedza żywieniowa a zachowania żywieniowe kobiet w ciąży stosujących dietę wegetariańską oraz dietę tradycyjną”	07.2023r.
2. Julia Kurek	Dietetyka	„Przyrost masy ciała kobiet w ciąży w zależności od ich wiedzy i zachowań żywieniowych”	10.2023r.

Efekty prac badawczych realizowanych pod moim kierunkiem przez **magistrantki** — Naglaa M. Ahmed i Nour I.A. Mhanna — zostały przez nie **zaprezentowane podczas dwóch konferencji** naukowych. Dodatkowo referat autorstwa Naglaa M. Ahmed został **nagrodzony** podczas konferencji w Warszawie (11–12.05.2023 r.). Aktywizowałam również moje magistrantki do działań popularyzujących naukę — wspierały mnie one podczas kilku wydarzeń edukacyjnych organizowanych na Wydziale, skierowanych do dzieci odwiedzających naszą jednostkę.

Współpracuję również ze studentami Koła Naukowego Chemików UPP, którzy w 2022 roku zgłosili się do mnie z inicjatywą wspólnych badań. Obecnie trwają prace nad publikacją wyników tej współpracy, dotyczących wykorzystania krajowych ziół.

Za swoją działalność dydaktyczną zostałam w 2023 roku nominowana przez studentów do **Plebiscytu na Najlepszych Nauczycieli** Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

Rok później otrzymałam również nominację do **Wielkopolskiego Plebiscytu Edukacyjnego 2024** w kategorii Nauczyciel akademicki, organizowanego przez Głos Wielkopolski (Z3.6.1.2.).

6.2. Działalność organizacyjna

Moja działalność organizacyjna związana jest z **wydarzeniami i pracami**, które miały miejsce na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu, a zapoczątkowałam ją jeszcze w ramach działalności na rzecz Samorządu Doktorantów, i dalej – działalności na rzecz Wydziału i Katedry:

05.2014 - 09.2015	Przewodnicząca Rady Samorządu Doktorantów na WNoŻiŻ Członek Komisji Stypendialnej Przedstawiciel doktorantów do Rady Wydziału
12.2017 - 09.2019	Przedstawiciel asystentów i adiunktów do Rady Katedry
03.2018 - 09.2019	przedstawiciel asystentów do Rady Wydziału
06.2018 – aktualnie	Obsługa modułu h-EMS Pensum w Katedrze
2018 - 2020	Członek Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej na studia
09.2021 - 09.2024	Członek Wydziałowej Komisji ds. Komercjalizacji i Współpracy z Przemysłem
10.01.2022 - 30.09.2024	Członek Wydziałowej Komisji ds. Internetowej Promocji Wydziału
15.10.2020 - 30.08.2024	Członek Rady Programowej kierunku Dietetyka WNoŻiŻ
01.09.2024 - 31.08.2028	Członek Rady Naukowej Dyscypliny technologia żywności i żywienia, przedstawiciel adiunktów
01.09.2024 - 01.10.2028	Pełnomocnik Dziekana ds. Promocji Internetowej Komisja ds. Promocji Wydziału

Dla zwiększenia rozpoznawalności międzynarodowej Wydziału oraz rozwoju dyscypliny naukowej, w której działam, **organizowałam** wydarzenia o charakterze naukowym. Wśród nich warto wymienić **wyklad otwarty** profesora Carstena Carlberga (PAN, Olsztyn) pt. „Vitamin D and nutrigenomics”, który odbył się 26.10.2022 r., oraz zaproszenie i **organizację wizyty studyjnej** profesora Erhana Sulejmaniego (University of Tetova, North Macedonia) w dniach 12-19.10.2024 r. Współpraca z prof. E. Sulejmanim zaowocowała wspólnym zgłoszeniem projektu w 2025 roku do konkursu **Erasmus+ Cooperation partnerships in higher education KA220-HED**.

W celu zwiększenia rozpoznawalności dyscypliny w środowisku przemysłowym, **współtworzyłam** w zespole otwarte **spotkanie sieciujące** dla przedstawicieli przemysłu spożywczego i środowiska naukowego (Nutritech, 30.09.2022 r.). Pełniąc funkcję **Pelnomocnika Dziekana ds. Promocji Internetowej**, uczestniczyłam w organizacji wielu wydarzeń wydziałowych m.in. Drzwi Otwartych (28.11.2024 r.), oraz FoodBizConnect Day – Współpraca Nauki i Biznesu (06.02.2025 r.).

Moje długoletnie **zaangażowanie w działalność Polskiego Towarzystwa Technologów Żywności (PTTŻ)**, w tym pełnienie funkcji Przewodniczącej Sekcji Młodej Kadry Naukowej (SMKN) od października 2014 r. wiązało się ze ścisłą współpracą z Zarządem Głównym PTTŻ oraz realizacją licznych zadań organizacyjnych związanych z **cyklicznymi Sesjami Naukowymi SMKN**. W ramach tej działalności współtworzyłam Sesje we współpracy z wieloma Oddziałami PTTŻ: Rzeszów (2015 r.), Łódź (2016 r.), Szczecin (2017 r.), Lublin (2018 r.), Olsztyn (2019 r.), Wrocław (2021 r.), Poznań (2022 r.), Warszawa (2023 r.), Gdańsk (2024 r.), Kraków (2025 r.). Podczas organizacji Sesji Młodej Kadry Naukowej w Poznaniu, uzyskałam wsparcie finansowe w ministerialnym konkursie „Doskonała Nauka”, co pozwoliło szeroko wypromować wydarzenie i nadać mu wyjątkowy charakter. Zawsze dbałam o **utrzymanie rozpoznawalności** tych wydarzeń oraz **dokumentowanie ich przebiegu** – przygotowując notatki pokonferencyjne publikowane tradycyjnie na łamach czasopisma ŻYWNOSĆ. Nauka Technologia Jakość, oraz Wieści Akademickich UPP.

W uznaniu mojej działalności organizacyjnej, w listopadzie 2023 roku otrzymałam **Nagrodę Rektora – Organizacyjną Zespołową III stopnia**, jako wyraz docenienia za konkretne działania na rzecz promocji dyscypliny naukowej (Z3.6.2.1.).

6.3. Działalność popularyzująca naukę

Moja działalność popularyzatorska obejmuje szeroko zakrojone działania związane z **organizacją i realizacją prelekcji, wykładów, poradnictwa oraz warsztatów praktycznych**. Aktywność tę rozpoczęłam już podczas studiów magisterskich i z perspektywy czasu dostrzegam jej szczególną wartość – zwłaszcza w kontekście rosnącego zainteresowania społeczeństwa rzetelną wiedzą żywieniową.

Każda z podejmowanych przeze mnie inicjatyw stanowiła doskonałą przestrzeń do dzielenia się nie tylko najnowszymi osiągnięciami naukowymi, lecz również sprawdzonymi informacjami na temat żywności, co jest szczególnie istotne w dobie natłoku i często sprzecznych przekazów medialnych.

Po uzyskaniu stopnia doktora moja działalność popularyzatorska obejmowała m.in.:

09.04.2019	Warsztaty pt. „Nasiona chia jako źródło związków bioaktywnych w diecie”, Festiwal Nauki, Poznań
09.04.2019	Warsztaty pt. „Skorupka jaj jako produkt odpadowy i nowe możliwości jej wykorzystania w diecie jako źródła wapnia”, Festiwal Nauki, Poznań
30.09.2022	Warsztaty pt. „Kuchnia molekularna”, XVI Europejska Noc Naukowców, Poznań
01.12.2022	Wykład otwarty: „Cukrzyca, hiperglikemia? Poznaj rośliny, które mogą być dla nas wsparciem”. Przyrodniczy Uniwersytet Trzeciego Wieku, Poznań
05.10.2022	Prelekcja pt. „Nadwaga i otyłość hormonalna”, NFZ: Środa z profilaktyką, Poznań
16.11.2022	Prelekcja pt. „Profilaktyka od najmłodszych lat: cukrzyca u dzieci”, NFZ: Środa z profilaktyką
21.03.2023	Warsztaty pt. „Daltonizm zapachowy i jego znaczenie w ocenie produktów spożywczych”, szkoły patronackie Wydziału, Poznań
23.03.2023	Prelekcja pt. „Bezpieczne przygotowywanie potraw”, NFZ: Środa z profilaktyką
14.04.2023	Warsztaty dla seniorów: „Czy smażenie ma żywieniowe znaczenie? Jak prowadzić obróbkę cieplną, aby zachować zdrowie” Przyrodniczy Uniwersytet Trzeciego Wieku, Poznań
13.12.2023	Prelekcja pt. „Odżywianie w sezonie zimowym”, NFZ: Środa z profilaktyką, Poznań
12.11.2024	Wykład + warsztaty „Nie marnuj żywności”, Szkoła Podstawowa Eureka, Poznań
13.11.2024	Wykład otwarty pt. „Rogal świętomarciński – kulinarna historia Wielkopolski”, Samorząd Studencki WNoŻiŻ, Poznań

27.11.2024	Wykład pt. „Przygotowanie potraw dla dzieci jako kluczowy aspekt zapewniający ich wysoką wartość żywieniową – techniki i praktyczne wskazówki, Konferencja „Psychodietetyka a zdrowie dziecka”, Poznań
11.12.2024	Wykład pt. „Zdrowa dieta nie tylko od święta – Przygotowanie potraw jako kluczowy aspekt zapewniający ich wysoką wartość żywieniową” + warsztaty Ośrodek Szkolno-Wychowawczym dla Dzieci i Młodzieży Niepełnosprawnej w Poznaniu
16.01.2025	Wykład otwarty pt. „Jak osłodzić sobie życie? – wady i zalety stosowania substancji słodzących”, Przyrodniczy Uniwersytet Trzeciego Wieku, Poznań
09.04.2025	Wykład pt. „Żywieniowe wsparcie leczenia”, Akademia Konopna - Profilaktyczne i terapeutyczne właściwości konopii, Instytut Wiedzy Walneologicznej, Poznań
09.04.2025	Wykład pt. „Konopna profilaktyka żywieniowa”, Akademia Konopna-Profilaktyczne i terapeutyczne właściwości konopii. Instytut Wiedzy Walneologicznej, Poznań
08.05.2025	Stanowisko dyskusyjne pt. „Nowe Trendy w produkcji żywności” Europejski Kongres Odnowy i Rozwoju Wsi, MTP Poznań
10.05.2025	Panel dyskusyjny pt. „Slow food – czyli co warto zjeść”, Fundacja Olandia, Prusim
17.06.2025	Wykład pt. „Przygotowanie potraw dla dzieci jako kluczowy aspekt zapewniający ich wysoką wartość żywieniową – techniki i praktyczne wskazówki, Konferencja „Psychodietetyka a zdrowie dziecka”, Konin

Ważnym elementem tego zakresu moich prac organizacyjnych i popularyzujących jest **nawiązanie współpracy z Wielkopolskim Oddziałem Wojewódzkim NFZ**, które zainicjowałam na rzecz Wydziału Nauk o Żywności i Żywieniu (WNoŻiŻ). Dzięki moim staraniom możliwe było sfinalizowanie w dniu 23.02.2023 r. umowy o współpracy pomiędzy WNoŻiŻ UPP i NFZ, które skutkuje regularnymi wydarzeniami profilaktycznymi na terenie Wielkopolski, a w które angażowani są również studenci i praktykanci kierunku Dietetyka oraz specjalności Żywnienie Człowieka. Regularnie uczestniczę w wydarzeniach promujących zdrowie i prawidłowe żywienie w różnych grupach społecznych, popularyzując wiedzę i praktyczne rozwiązania dla pacjentów.

Ponadto, udzielałam wywiadów do lokalnych stacji radiowych, oraz uczestniczyłam w nagraniach do programów telewizyjnych o tematyce żywieniowej. **Opublikowałam artykuły popularno-naukowe** w zakresie profilaktyki zdrowotnej:

- Nowak A.A., Przeor M. 2020. Przez żołądek do efektywnej (współ)pracy. Harmonia, 7/8, p. 100-101;

- Przeor M. 2018. Suplementy ziołowe a terapia chorób układu krążenia. *Postępy Dietetyki w Geriatrii i Gerontologii*. 2, 4, p. 16-21;
- Przeor M., Flaczyk E. 2015. Obecność polifenoli w diecie w aspekcie profilaktyki i wspomagania leczenia nadciśnienia tętniczego. *Postępy Dietetyki w Geriatrii i Gerontologii*. 1, p. 22-31.

7. INNE INFORMACJE DOTYCZĄCE KARIERY ZAWODOWEJ

Za jedno z moich największych osiągnięć zawodowych uważam stałą współpracę z przedstawicielami przemysłu spożywczego i chęć wdrożenia efektów prowadzonych prac. Doskonałym przykładem takiej owocnej współpracy z korzyścią dla postrzegania przez konsumentów żywności jako wartościowego elementu wspierającego zdrowie jest **produkcyjne wdrożenie** zastosowanych przeze mnie **elementów morwy białej do pieczywa**, które miało miejsce w zakładzie **Piekarstwo – M.J.M. Czwojda s.c. w Krotoszynie** (ul. Rawicka 49). W ramach tej współpracy stworzono linię produkcyjną chleba i bułek wzbogaconych suszonymi owocami morwy – szczególnie cennymi dla osób z zaburzeniami gospodarki węglowodanowej, w tym diabetyków. Współpraca z firmą, autentycznie zainteresowaną **wdrażaniem prozdrowotnych rozwiązań**, obejmowała opracowanie przeze mnie technologii, udostępnionej do komercjalizacji przez Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, której jestem głównym autorem (80%), oraz jej precyzyjne dostosowanie do potrzeb zakładu.

Moje działania obejmowały również **wsparcie merytoryczne** na etapie oceny przez Panel Ekspertki (przy ubieganiu się o kredyt technologiczny z Banku Gospodarstwa Krajowego na rozbudowę hali produkcyjnej i zakup licencji) oraz stałe konsultacje technologiczne przy wdrażaniu produktu na rynek. Efektem tych działań jest praktyczne zastosowanie opracowanego przeze mnie rozwiązania w lokalnym zakładzie na terenie Wielkopolski, co potwierdza **wysoki potencjał wdrożeniowy** prowadzonych prac badawczo-rozwojowych.

Kolejnym istotnym doświadczeniem było **uczestnictwo w prowadzeniu zleconych prac badawczo-rozwojowych i opracowaniu innowacyjnej linii liofilizowanych, probiotycznych dań dla małych dzieci** w firmie **Pyszoty Izabela Wojdyła** (Komorniki, ul. Fabianowska 131/B3). Projekt ten łączył zaawansowaną technologię utrwalania z wymaganiami żywienia najmłodszych. Kolejnym praktycznym efektem prowadzonych przeze mnie prac był udział w zespole opracowującym bezcukrową, gorzką czekoladę z dodatkiem ekstraktu z liści morwy białej, przeznaczoną dla diabetyków, oraz czekoladę probiotyczną z dereniem. Produkty te zostały także **wdrożone**, w firmie **Bars Halina Kalemba** (Włoszakowice, ul. Kurpińskiego 33d), dla której kluczowe znaczenie ma przedstawienie konsumentom produktów wykorzystujących naturalne składniki funkcjonalne. Wszystkie te przedsięwzięcia wymagały interdyscyplinarnej współpracy z technologami, dietetykami oraz producentami, w której aktywnie uczestniczyłam.

Stały kontakt z przemysłem spożywczym oraz regularne konsultacje z producentami – m.in. podczas licznych spotkań sieciujących i wydarzeń regionalnych – umożliwiają mi bieżące reagowanie na zmieniające się potrzeby konsumentów i wyzwania rynku. Szczególnie cenię sobie możliwość aktywnego udziału w procesie transferu wiedzy naukowej do praktyki przemysłowej, co postrzegam jako fundament rozwoju dyscypliny technologia żywności i żywienia. Wdrażanie innowacyjnych składników, takich jak morwa biała, niesie nie tylko wartość funkcjonalną, lecz także edukacyjną – promując świadome wybory konsumenckie i zdrowe nawyki żywieniowe. Każdy z projektów stanowił również okazję do zastosowania nowoczesnych metod oceny jakości i bezpieczeństwa żywności, co umożliwiło naukową weryfikację ich skuteczności. **Współpraca z firmami** otwartymi na innowacyjne rozwiązania, wspierającymi rozwój żywności prozdrowotnej i funkcjonalnej, dostosowanej do potrzeb szczególnych grup konsumentów, jest dla mnie źródłem satysfakcji i inspiracji. Z perspektywy naukowca i praktyka uważam, że **działania łączące naukę, technologię oraz realne potrzeby rynku mają kluczowe znaczenie dla rozwoju dyscypliny.**

Kolejnym namacalnym efektem mojej działalności na styku nauki i przemysłu było zaproszenie mnie do pełnienia funkcji doradczych przez firmy, z którymi dotychczas współpracowałam. Od 16.12.2024 r. pełnię rolę **Konsultanta Naukowego w Winnicy Zodiak** (Zagozd 29A, 78-500 Drawsko Pomorskie) oraz **Honorowego Doradcy Naukowego** w Fundacji Olandia (Prusim 5, 64-420 Prusim), gdzie wspieram działania prospołeczne w zakresie promocji zdrowia i prawidłowego żywienia. W dniu 10.05.2025 r. otrzymałam również akt nadania godności **Ambasadora Rozwoju Olenderskich Smaków** (Prusim 5, 64-420 Prusim) – w uznaniu za wyjątkowy wkład w rozwój technik przetwórczych, rozwiązań praktycznych, a także za pasję, zaangażowanie i innowacyjność w obszarze lokalnej kuchni, z uwzględnieniem dziedzictwa kulinarnego regionu. Tego rodzaju wyróżnienia ze strony środowiska producentów spożywczych mają dla mnie szczególne znaczenie i stanowią motywację do dalszej pracy.

Podjęte przeze mnie działania znalazły również odzwierciedlenie w **nagrodach**: otrzymałam **Nagrodę Naukową III stopnia** za oryginalne i twórcze **osiągnięcia naukowe** udokumentowane publikacjami (przyznaną przez Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu w listopadzie 2024 r.) (**Z3.7.1.**) oraz **Nagrodę Organizacyjną Zespołową III stopnia** (listopad 2023 r.). Ponadto **nagrodzono** kilka moich prac prezentowanych podczas **konferencji**: referaty (Poznań 2013 r., Warszawa 2014 r., Lublin 2018 r.), postery i e-postery (Szczecin 2017 r., Warszawa 2023 r., Belgrad 2023 r., MDPI Conference 2024 r.) (**Z3.7.2.**).


Jednocześnie od 2011 roku przez cały okres swojej działalności intensywnie **podnoszę swoje kwalifikacje** w zakresie naukowym, analitycznym, dydaktycznym i popularyzacyjnym, uczestnicząc

w licznych studiach podyplomowych, szkoleniach, warsztatach:

14.12.2011	Komercjalizacja wyników badań – przedsiębiorczość akademicka, PPNT Fundacji UAM, Poznań
14-15.01.2012	Auditor wewnętrzny systemu zarządzania bezpieczeństwem żywności wg normy ISO 22000 oraz Systemu HACCP isoQRS. Dekra Certification Sp. z o.o.
26.04.2012	Komercjalizacja produktów żywnościowych, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Poznań
17.05.2012	Open Code Transfer, Fundacja Forum Rozwoju Nowoczesnych Technologii, Poznań
26.01.2013	Dietocoaching I st., NutriCenter, Poznań
13.03.2013	Szkolenie chromatograficzne Shim-pol, Poznań
21.09.2013	Edukator w cukrzycy Nutricenter, Poznań
27.09.2013	Jak poprawić efektywność ekstrakcji do fazy stałej, Bioanalytic, Poznań
24-25.10.2013	Spektrometria mas w analizie żywności, Poznań
23.11.2013	Z celiakią i dietą bezglutenową na TY, Polskie Stowarzyszenie Osób z Celiakią i na Diecie Bezglutenowej, Poznań
21-22.03.2014	Komunikacja interpersonalna w praktyce, Fundacja Alumno, Lublin
29.11.2014	Żywnienie w chorobach tarczycy, Nutricenter, Poznań
16-17.03.2015	Research Team Management, FNP, Kraków
11-17.02.2016	Polskie Towarzystwo Nauk o Zwierzętach Laboratoryjnych Szkolenie dla osób odpowiedzialnych za planowanie procedur i doświadczeń oraz za ich przeprowadzenie Szkolenie dla osób wykonujących procedury Szkolenie dla osób uśmiercających zwierzęta wykorzystywane w procedurach
12.03.2018	Ogólnopolska konferencja Naukowo-Szkoleniowa „POD MIKROSKOPEM” – IV edycja. Drobnoustroje codziennym wyzwaniem dla mikrobiologa.
23.12.2021	Green Labels – jak znakować żywność zrównoważoną? Food Law. Centrum Prawa Żywnościowego.
08.12.2021	Oświadczenia zdrowotne i żywieniowe – prawo i praktyka. IGI Food Consulting.
08.12.2021	Nutri-Score – zasady stosowania systemu w praktyce. Food Law. Centrum Prawa Żywnościowego.
14.12.2021	Zezwolenie na nową żywność i oświadczenie zdrowotne. IGI Food Consulting.
30-31.05.2022	Podstawy statystyki – statystyka dla nie statystyków. StatSoft Polska

21-22.12 2022	Zastosowanie statystyki w badaniach rolniczych - metody podstawowe. StatSoft Polska
24-25.12.2022	Prawodawstwo żywnościowe. Food Law. Centrum Prawa Żywnościowego.
31.01.2023	Train-the-Trainer module 'Digitalization and Automation' EQVegan project XI-XII 2022
31.01.2023	Train-the-Trainer module 'Plant-based Processing' EQVegan project XI-XII 2022
28.02.2023	Wstęp do Medycyny Stylu Życia, SKN Medycyny Stylu Życia Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego
29.11.- 01.12.2023	Projektowanie uniwersalnych wnętrz budynków i pomieszczeń dydaktycznych, Sense Consulting
07.04.2025	Strategie PR projektów i instytucji naukowych, Knowledge UP
16.04.2025	Radzenie sobie z trudnymi sytuacjami w trakcie zajęć dydaktycznych i metody ich rozwiązywania, porozumienie bez przemocy, Collegium Wratislaviense

Wszystkie podejmowane przeze mnie działania mają jeden główny cel – rozwoju merytorycznego dla dobra nauki, oraz praktycznego – dla dobra konsumentów, istotnie wspierającego rozwój dyscypliny naukowej Technologia żywności i żywienia.


(podpis wnioskodawcy)