

AUTOREFERAT

z opisem osiągnięć naukowych
związanych z postępowaniem habilitacyjnym

Dr inż. Małgorzata Nowacka

Wydział Nauk o Żywności
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Spis treści

1.	Dane osobowe.....	4
2.	Posiadane dyplomy, tytuły i stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....	4
3.	Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu.....	5
4.	Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789 ze zm. w Dz. U. z 2017 r. poz. 1530)	6
4.1.	Tytuł osiągnięcia naukowego.....	6
4.2.	Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia stanowiącego podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego	6
4.3.	Omówienie celu naukowego publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	8
4.3.1.	Wstęp	8
4.3.2.	Cel naukowy oraz omówienie wyników badań.....	10
4.3.3.	Wpływ zabiegu sonikacji na proces suszenia konwekcyjnego oraz właściwości fizyczne i chemiczne uzyskanych suszy	11
4.3.3.1.	Charakterystyka zabiegu sonikacji.....	11
4.3.3.2.	Wpływ zabiegu sonikacji na proces suszenia konwekcyjnego.....	12
4.3.3.3.	Wpływ zabiegu sonikacji na właściwości fizyczne i chemiczne suszy	13
4.3.4.	Wpływ zabiegu sonikacji na kinetykę procesu odwadniania osmotycznego owoców kiwi oraz właściwości fizyczne i chemiczne uzyskanych produktów	15
4.3.4.1.	Wpływ zabiegu sonikacji na przebieg procesu odwadniania osmotycznego tkanki owoców kiwi	15
4.3.4.2.	Wpływ ultradźwięków na właściwości fizyczne i chemiczne tkanki owoców kiwi poddanych odwadnianiu osmotycznemu	16
4.3.5.	Wpływ zastosowania odwadniania osmotycznego wspomaganego sonikacją sonikacji na właściwości fizyczne i chemiczne oraz integralność błony komórkowej owoców żurawiny.....	19
4.3.5.1.	Wpływ sonikacji prowadzonej podczas odwadniania osmotycznego na właściwości fizyczne żurawiny.....	20
4.3.5.2.	Wpływ sonikacji prowadzonej podczas odwadniania osmotycznego na właściwości chemiczne żurawiny	23
4.3.5.3.	Wpływ sonikacji na integralność błony komórkowej tkanki owoców żurawiny	24
4.3.6.	Wpływ zabiegu sonikacji na zmiany strukturalne tkanek roślinnych	25
4.3.7.	Podsumowanie	28

5.	Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	31
5.1.	Wpływ metody i parametrów suszenia na właściwości fizyczne i chemiczne suszonej tkanki roślinnej oraz stabilność przechowalnicza suszonych produktów	33
5.2.	Niekonwencjonalne metody obróbki wstępnej z wykorzystaniem ultradźwięków w celu zmian właściwości tkanki roślinnej oraz wspomaganie operacji oraz procesów jednostkowych.....	36
5.3.	Niekonwencjonalne metody obróbki wstępnej z wykorzystaniem pulsacyjnego pola elektrycznego w celu zmian właściwości tkanki roślinnej oraz wspomaganie operacji i procesów jednostkowych	41
5.4.	Bezpieczeństwo opakowań przeznaczonych do kontaktu z żywnością oraz nowe trendy w opakownictwie	42
6.	Podsumowanie pracy naukowo-badawczej.....	44
7.	Inne osiągnięcia związane z aktywnością dydaktyczną i organizacyjną	46
7.1.	Działalność dydaktyczna	46
7.2.	Działalność organizacyjna	47
7.3.	Działalność w towarzystwach naukowych i zespołach eksperckich oraz konsorcjach i sieciach badawczych, recenzje grantów	47
7.4.	Otrzymane nagrody i wyróżnienia	48
7.5.	Współpraca z zagranicą, recenzje publikacji.....	48
7.6.	Osiągnięcia w zakresie popularyzacji nauki	50
7.7.	Konferencje	50
7.8.	Współpraca z przemysłem.....	50

1. Dane osobowe

Imię i nazwisko: **Małgorzata Anna Nowacka**

Miejsce pracy: Wydział Nauk o Żywności
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa
tel. +48 22 593 75 79, e-mail: malgorzata_nowacka@sggw.pl

2. Posiadane dyplomy, tytuły i stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

2014 r. **Uniwersytet Warszawski**
wydział: Prawa i Administracji
studia podyplomowe: Ochrona własności Intelektualnej
uzyskane świadectwo: ukończenia studiów podyplomowych z dnia 25.08.2014

2013 r. **Szkoła Główna Handlowa**
Kolegium Zarządzania i Finansów
studia podyplomowe: Menadżer Innowacji
uzyskane świadectwo: ukończenia studiów podyplomowych nr K-94/74955

2012 r. **Uniwersytet Stanforda**
Top 500 Innovators Science - Management – Commercialization
Stanford University, Kalifornia, USA, 13.10-16.12.2012 (2 miesiące)

2010 r. **Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie**
wydział: Wydział Nauk Humanistycznych
kierunek: Studia Doskonalenia Pedagogicznego (jedno-semesteralne)
uzyskane świadectwo: ukończenia studiów podyplomowych nr SDP-738/2010

2010 r. **Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie**
wydział: Wydział Nauk o Żywności
studia podyplomowe: Studia podyplomowe w zakresie nowoczesnych instrumentalnych metod analitycznych w badaniach bezpieczeństwa zdrowotnego żywności i pasz
uzyskane świadectwo: ukończenia studiów podyplomowych nr 5/2010

2009 r. **Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie**
Wydział Nauk o Żywności
stopień doktora inżyniera nauk rolniczych w zakresie technologii żywności i żywienia

Praca doktorska pt. „Studia nad wykorzystaniem promieniowania podczerwonego i mikrofalowego do suszenia jabłek” realizowana w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji pod kierunkiem Prof. dr hab. Doroty Witrowej-Rajchert

- 2005 r. **Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie**
wydział: Wydział Ekonomiczno-Rolniczy
kierunek: Równoległe Studia Pedagogiczne
uzyskane zaświadczenie: o ukończeniu studium przygotowania pedagogicznego
nr Ped.R.-604/2005
- 2005 r. **Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie**
Wydział Technologii Żywności
kierunek: Technologii Żywności i Żywnienie Człowieka w zakresie technologii
żywności
- stopień magistra inżyniera nauk rolniczych**
- Praca magisterska pt. „Wpływ metody suszenia i przechowywania na jakość suszu jabłkowego” realizowana w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji pod kierunkiem Prof. dr hab. Doroty Witrowej-Rajchert

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu

- 01.01.2011 – obecnie **adiunkt**
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Wydział Nauk o Żywności
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
- 30.12.2009 – 31.12.2010 r. **asystent**
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Wydział Nauk o Żywności
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
- 01.10.2005 – 12.11.2009 r. **doktorant**
dienne studia doktoranckie, Katedra Inżynierii
Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Technologii
Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie
- 01.09.2005 – 31.10.2017 r. **starszy asystent (01.05.2013 – 31.10.2017)**
asystent (01.07.2010 – 30.04.2013)
młodszy asystent (07.03.2007 – 30.06.2010)
stażysta (01.09.2005 – 06.03.2007)
Oddział Bezpieczeństwa Żywności, Żywnienia i Kosmetyków
Wojewódzka Stacja Sanitarno-Epidemiologiczna
w Warszawie

W okresie od 21.11.2015 – 08.04.2016 r. przebywałam na urlopie macierzyńskim, od 09.04 do 12.08.2016 r. oraz od 19.11.2016 r. do 06.01.2017 r. na urlopie rodzicielskim, natomiast w okresie od 13.08 do 18.11.2016 r. łączyłam urlop rodzicielski z wykonywaniem pracy w obniżonym wymiarze czasu pracy.

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789 ze zm. w Dz. U. z 2017 r. poz. 1530)

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Osiągnięciem naukowym, będącym podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego na podstawie art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789 ze zm. w Dz. U. z 2017 r. poz. 1530) jest cykl siedmiu publikacji naukowych pt.:

„Zastosowanie sonikacji jako zabiegu wstępnego w celu modyfikacji przebiegu wybranych procesów wymiany masy oraz właściwości tkanki roślinnej”

4.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia stanowiącego podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego

- H1. **Nowacka M.**, Wiktor A., Śledź M., Jurek N., Witrowa-Rajchert D., 2012. Drying of ultrasound pretreated apple and its selected physical properties, *Journal of Food Engineering*, 113, 427-433.

DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.06.013

IF₂₀₁₂ = 2,276, IF_{5-year} = 3,585, MNiSW = 35

Mój wkład: autor korespondujący, koncepcja pracy, współudział w planowaniu doświadczeń, opracowanie metodyki badań, nadzorowanie prowadzonych prac technologicznych i badań, przeprowadzenie części badań, analiza i interpretacja wyników badań, sformułowanie wniosków, przygotowanie manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 60 %.

- H2. **Nowacka M.**, Tylewicz U., Laghi L., Dalla Rosa M., Witrowa-Rajchert D., 2014. Effect of ultrasound treatment on the water state in kiwifruit during osmotic dehydration, *Food Chemistry*, 144, 18-25.

DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.05.129

IF₂₀₁₄ = 3,391, IF_{5-year} = 4,498, MNiSW = 40

Mój wkład: autor korespondujący, autor wniosku o finansowanie badań, koncepcja pracy, wiodący udział w planowaniu doświadczeń i opracowaniu metodyki badań, współudział w pracach technologicznych i badaniach, współudział w analizie i interpretacji wyników badań, sformułowanie wniosków, przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

- H3. **Nowacka M.**, Wedzik M., 2016. Effect of ultrasound treatment on microstructure, colour and carotenoid content in fresh and dried carrot tissue, *Applied Acoustics*, 103, 163-171.

DOI: 10.1016/j.apacoust.2015.06.011

IF₂₀₁₆ = 1,921, IF_{5-year} = 1,980, MNiSW = 30

Mój wkład: autor korespondujący, koncepcja pracy, planowanie doświadczeń, opracowanie metodyki badań, nadzorowanie prowadzonych prac technologicznych i badań, przeprowadzenie części badań, analiza i interpretacja wyników badań, sformułowanie wniosków, przygotowanie manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 80%.

- H4. **Nowacka M.**, Tylewicz U., Romani S., Dalla Rosa M., Witrowa-Rajchert D., 2017. Influence of ultrasound-assisted osmotic dehydration on the main quality parameters of kiwifruit, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 41, 71-78.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2017.02.002>

IF₂₀₁₆* = 2,573, IF_{5-year} = 3,458, MNiSW = 40

Mój wkład: autor wniosku o finansowanie badań, koncepcja pracy, wiodący udział w planowaniu doświadczeń i opracowaniu metodyki badań, współudział w pracach technologicznych i badaniach, współudział w analizie i interpretacji wyników badań, sformułowanie wniosków, przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 70%.

- H5. **Nowacka M.**, Fijalkowska A., Wiktor A., Rybak K., Dadan M., Witrowa-Rajchert D., 2017. Changes of Mechanical and Thermal Properties of Cranberries Subjected to Ultrasound Treatment, *International Journal of Food Engineering*, 13(6), 1-9.

DOI: <http://doi.org/10.1515/ijfe-2016-0306>

IF₂₀₁₆* = 0,685, IF_{5-year}** = - , MNiSW* = 15

Mój wkład: autor korespondujący, autor wniosku o finansowanie badań, koncepcja pracy, wiodący udział w planowaniu doświadczeń i opracowaniu metodyki badań, nadzorowanie prowadzonych prac technologicznych i badań, przeprowadzenie części badań, współudział w analizie i interpretacji wyników badań, sformułowanie wniosków, współudział w przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 65%.

- H6. **Nowacka M.**, Fijalkowska A., Dadan M., Rybak K., Wiktor A., Witrowa-Rajchert D., 2017. Effect of ultrasound treatment during osmotic dehydration on bioactive compounds of cranberries, *Ultrasonics*, 83, 18-25.

DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ultras.2017.06.022>

IF₂₀₁₆* = 2,327, IF_{5-year} = 2,281, MNiSW* = 30

Mój wkład: autor korespondujący, autor wniosku o finansowanie badań, koncepcja pracy, wiodący udział w planowaniu doświadczeń i opracowaniu metodyki badań, nadzorowanie prowadzonych prac technologicznych i badań, współudział w pracach technologicznych, współudział w analizie i interpretacji wyników badań, sformułowanie wniosków, współudział w przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 60%.

- H7. **Nowacka M.**, Fijalkowska A., Wiktor A., Dadan M., Tylewicz U., Dalla Rosa M., Witrowa-Rajchert D., 2017. Influence of power ultrasound on the main quality properties and cell viability of osmotic dehydrated cranberries, *Ultrasonics*, 83, 33-41.

DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ultras.2017.07.014>

IF₂₀₁₆* = 2,327, IF_{5-year} = 2,281, MNiSW* = 30

Mój wkład: autor korespondujący, autor wniosku o finansowanie badań, koncepcja pracy, wiodący udział w planowaniu doświadczeń i opracowaniu metodyki badań, współudział w wykonaniu części prac technologicznych i badawczych, współudział w analizie i interpretacji wyników badań, sformułowanie wniosków, współudział w przygotowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy szacuję na 65%.

* IF i punkty MNiSW z roku 2017 dla ww. czasopism nie zostały obliczone, w związku z czym podano dane za rok poprzedni (2016 r.)

** w przypadku czasopism dla których nie naliczono 5- letniego wskaźnika przyjęto wartość IF z roku publikacji

Sumaryczny IF prac stanowiących podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego wynosi **15,5 (IF_{5-year}=18,768)**, suma punktów według punktacji MNiSW, obliczonej zgodnie z rokiem publikacji, wynosi **220**.

Badania zawarte w powyższych pracach zostały sfinansowane m.in. ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach projektu badawczego Iuventus Plus IP2014 033173 pt.: Zastosowanie innowacyjnych metod do otrzymania przekąsek owocowych – kierownik projektu dr inż. Małgorzata Nowacka (H5, H6, H7) oraz ze środków Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie w ramach Własnego Funduszu Stypendialnego, przyznanego na wyjazd do zagranicznego ośrodka naukowego, tj. Uniwersytetu Bolońskiego we Włoszech (H2, H4).

4.3. Omówienie celu naukowego publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

4.3.1. Wstęp

W ostatnich latach nastąpił wzrost świadomości żywieniowej społeczeństwa. Jednak przez lata utrwalone nawyki żywieniowe, dotyczące spożywania żywności wysoko przetworzonej, o wysokiej zawartości energii, tłuszczu, cukru i soli oraz niewystarczających ilości owoców i warzyw, negatywnie wpływają na zdrowie ludzi. Różnorodna, dobrze zbilansowana dieta nie tylko zapobiega niedożywieniu organizmu, ale również pomaga uchronić go przed rozwojem wielu chorób (Bondonno i in., 2017; WHO, 2003; Heinonen i Meyer, 2002). Zgodnie z zleceniami Światowej Organizacji Zdrowia powinno się spożywać co najmniej 400 g owoców i warzyw każdego dnia, co jest niezbędne w utrzymaniu prawidłowego funkcjonowania organizmu (WHO, 2015).

Owoce i warzywa są głównym źródłem witamin, składników mineralnych, związków bioaktywnych i antyoksydantów w diecie człowieka (Silvina i Balz, 2004). Jednak, ze względu na sezonowość surowców roślinnych niektóre owoce i warzywa są krótko dostępne na rynku w stanie świeżym. Ponadto, w okresie zbiorów dochodzi do powstania nadwyżek surowcowych, które muszą być jak najszybciej zagospodarowane lub utrwalone. Najczęściej do tego celu stosuje się mrożenie (Ojha i in., 2016) i suszenie (Chua i Chou, 2003). Mrożenie pozwala na zachowanie wartości odżywczej produktów roślinnych, jednak wymagane jest ich przechowywanie w odpowiednio niskich temperaturach, co związane jest koniecznością ponoszenia znacznych kosztów na etapie magazynowania (Ojha i in., 2016). W przypadku większości metod suszenia następuje częściowa utrata składników odżywczych w wyniku narażenia tkanki roślinnej na długotrwałe działanie wysokiej temperatury i powietrza. Jednak zachodzące w czasie suszenia niekorzystne zmiany można ograniczyć, stosując odpowiedni dobór parametrów procesu oraz odpowiednie wstępne przygotowanie surowca (Rząca i Witrowa-Rajchert, 2007; Nowacka i Witrowa-Rajchert, 2011a; Nowacka i Witrowa-Rajchert, 2011b). Uzyskiwany w ten sposób produkt jest trwały i może być przechowywany w temperaturze otoczenia przez długi czas (Maskan, 2001; Chua i Chou, 2003). Jednocześnie w czasie procesu suszenia następuje zmniejszenie masy i objętości suszonych materiałów, co z kolei obniża koszty pakowania, transportu i magazynowania (Lewicki, 2006).

Suszone surowce roślinne stanowią cenny dodatek do wielu produktów spożywczych, np. zup, dań, mięs, płatków śniadaniowych, jogurtów, pieczywa cukierniczego, itp. Jednocześnie, suszone owoce i warzywa stanowią naturalną przekąskę, w ostatnich latach bardzo cenioną i poszukiwaną (Soquetta i in., 2018). Obecnie na rynku dostępnych jest wiele suszonych produktów, tj. żurawina, rodzynki, morele, śliwka, daktyl, wiśnia, berberys, morwa, truskawka, ananas, banan, brzoskwinia, chipsy jabłkowe, z buraka, pasternaka czy marchwi, a także batony owocowe i warzywne. Tego typu przekąski mogą stanowić składnik diety bogaty w wiele substancji

odżywczych, jak i związków bioaktywnych oraz pomóc w walce ze złymi nawykami żywieniowymi konsumentów, poprzez zastąpienie tradycyjnych przekąsek.

Jedną z podstawowych wad procesu suszenia jest jego wysoka energochłonność. W celu zredukowania zużycia energii poszukuje się modyfikacji istniejących metod suszenia, proponuje się nowe technologie lub odpowiednio przygotowuje się surowiec, przeprowadzając zabiegi wstępne (Soquetta i in., 2018; Witrowa- Rajchert i in., 2014; **H1; H3**).

Jednym z tradycyjnych zabiegów wstępnych, stosowanych przed suszeniem, jest odwadnianie osmotyczne. Proces ten ma na celu częściowe usunięcie wody, w związku z czym do suszenia kierowany jest surowiec częściowo odwodniony, co wpływa na skrócenie czasu suszenia i zmniejsza jego koszty (Soquetta i in., 2018; Kek i in., 2013; **H2; H4**). Proces ten prowadzony jest w roztworze hipertonicznym, najczęściej roztworach sacharozy. Podczas odwadniania osmotycznego następuje dwukierunkowa wymiana masy. Z jednej strony woda zawarta w owocach przechodzi do roztworu hipertonicznego, natomiast z drugiej substancja osmotyczna wnika do odwadnianego surowca (Lewicki i Lenart, 2006), co w konsekwencji powoduje fizyko-chemiczne zmiany w tkankach roślinnych (El-Aouar i in., 2003). Odwadnianie w roztworach cukru zazwyczaj korzystnie wpływa na smak suszonych owoców i warzyw, choć zasadniczo cukier nie jest pożądanym w tego typu produktach (Kowalska i Olejnik, 2016; **H5**). Jednak niektóre owoce, jak np. żurawina, w celu poprawy smaku owoców o cennych wartościach żywieniowych i akceptacji produktu przez konsumenta wymagają wręcz dodatku cukru i w takim przypadku jest on uzasadniony (Blumberg i wsp. 2013; **H5; H6; H7**). Zaletą odwadniania osmotycznego jest także to, że jest to proces nietermiczny i przebiega w temperaturze otoczenia, nie niszcząc cennych składników zawartych w odwadnianej żywności. Jednak, podstawową wadą tego procesu jest długi czas jego trwania oraz ubytek z odwadnianej tkanki składników rozpuszczalnych w wodzie przechodzących do otaczającego roztworu (Rząca i in., 2009).

Kolejną możliwością przyspieszenia procesu suszenia, jak również procesu odwadniania osmotycznego, jest zastosowanie nietermicznej obróbki żywności, tj. sonikacji jako zabiegu wstępnego przed właściwym procesem lub do jego wspomaganie (Soquetta i in., 2018; Witrowa-Rajchert i in., 2014; **H1; H2**).

Ultradźwięki są to serie wibracji powietrza o częstotliwości w zakresie od 20kHz do 100 MHz, które rozchodzą się w określonym medium, tj. cieczech, ciałach stałych oraz gazach innych niż powietrze. Fale dźwiękowe charakteryzują się określoną częstotliwością, długością i amplitudą. Dzielimy je na dwie podstawowe grupy w zależności od ich intensywności i częstotliwości (Soquetta i in., 2018; Witrowa-Rajchert i in. 2014; **H1**; Awad i in., 2012; Kentish i Ashokkumar, 2011; Mason i in., 2005; McClements, 1995):

- ultradźwięki o niskiej mocy (z ang. low power) - fale o niskiej intensywności ($< 1 \text{ W/cm}^2$) i wysokiej częstotliwości ($> 1 \text{ MHz}$);
- ultradźwięki o wysokiej mocy (z ang. high power lub power ultrasound) - fale o wysokiej intensywności ($>1 \text{ W/cm}^2$) i niskiej częstotliwości (18-100 kHz).

Fale o niskiej intensywności i wysokiej częstotliwości są wykorzystywane w celach diagnostycznych, głównie w medycynie i przemyśle, w tym przemyśle spożywczym. Fale te nie powodują fizycznych i chemicznych zmian w materiale, przez który przechodzą, co pozwala na wykorzystanie ich w nieniszczących technikach analitycznych do określenia składu, właściwości fizyko-chemicznych, jakości (np. dojrzałość owoców czy świeżość jaj), struktury (np. rozmiar cząstek) oraz stanu fizycznego żywności. Dodatkowo, za ich pomocą można monitorować parametry procesu podczas produkcji, jak np. strumień przepływu w rurociągu, wypełnienie zbiornika czy temperaturę (Kek i in., 2013; Awad i in., 2012; Witrowa-Rajchert, 2011).

Zastosowanie ultradźwięków wyższej mocy i niższej częstotliwości prowadzi do powstania fal akustycznych, które przechodząc przez materiał wywołują interesujące efekty dla zastosowań przemysłowych. Obecnie, w przypadku fal o wysokiej intensywności i niskiej częstotliwości prowadzone są szerokie badania laboratoryjne i przemysłowe, dotyczące możliwości wykorzystania ich do obróbki żywności i wspomaganie procesów technologicznych (Witrowa-Rajchert i in., 2014; Carcel i in., 2012; Awad i in., 2012). Ultradźwięki o wysokiej mocy były

wykorzystywane do dekontaminacji i inaktywacji mikroorganizmów (de São José i in., 2014), aktywacji lub inaktywacji enzymów (Cao i in., 2018) oraz do przyspieszenia procesów wymiany masy, takich jak suszenie (Musielak i in., 2016; Witrowa-Rajchert, 2014; H1; H3), zamrażanie (Cheng i in., 2015), odwadnianie osmotyczne (Garcia-Noguera i in., 2010; H2; H4; H5; H6; H7) czy ekstrakcja (Chemat i in., 2017).

Głównym celem sonikacji jest wywołanie zmian struktury tkanki surowca roślinnego, czego konsekwencją jest intensyfikacja procesów opartych na wymianie masy oraz zmiany fizyczne, chemiczne i biologiczne tkanki roślinnej, co wpływa na modyfikacje końcowego produktu. Mechanizm oddziaływania ultradźwięków na komórki roślinne jest bardzo złożony. Podstawowe dwa zjawiska wywoływane przez ultradźwięki to tzw. efekt gąbki (efekt bezpośredni) oraz występowanie efektu kawitacji (efekt pośredni). Efekt gąbki polega na szybkim ściskaniu i rozprężaniu materiału w wyniku przechodzenia przez niego fali akustycznej, co prowadzi do zmian w mikrokanałach i porach tkanki. Natomiast w wyniku działania ultradźwięków o wystarczająco dużej mocy powstaje zjawisko kawitacji, polegające na tworzeniu się, wzroście i gwałtownym zanikaniu pęcherzyków gazu, co związane jest z nagłym, lokalnym wzrostem ciśnienia i temperatury w materiale, a w konsekwencji może wpływać na tworzenie się mikroskopijnych kanałów oraz zmiany właściwości żywności. Ultradźwięki, przechodząc przez produkt, wywołują efekt kawitacji zarówno wewnątrz, jak i na zewnątrz komórek traktowanego materiału, w wyniku czego następuje ich uszkodzenie i w konsekwencji tworzenie się mikrokanałów. Dodatkowo, procesom tym towarzyszy szereg efektów związanych z ogrzewaniem materiału na skutek absorpcji energii akustycznej, powstawaniem wolnych rodników oraz efektów powstających na granicy ciało stałe - ciecz (H1-H7; Dadan i in., 2017; Pieczywek i in., 2017; Miano i in., 2016; Wiktor i in., 2016; Kentish i Ashokkumar 2011; Witrowa-Rajchert, 2011; Leonelli i Mason, 2010; Mason i in., 2005; Knorr i in., 2004; McClements, 1995).

Wykorzystanie ultradźwięków jest jedną z najbardziej obiecujących metod obróbki i wspomagania procesów produkcyjnych żywności, co potwierdzają obecnie prowadzone na szeroką skalę badania naukowe, a także przemysłowe. Podejmowane badania w zakresie wykorzystania ultradźwięków wskazują, iż w zależności od rodzaju surowca, jego struktury i budowy oraz zastosowanej charakterystyki fal dźwiękowych (długości, częstotliwości, mocy, współczynnika tłumienia) i czasu ich oddziaływania, uzyskuje się wyniki dotyczące zarówno skrócenia, jak i wydłużenia procesów wymiany masy. Ma to również wpływ na zróżnicowane właściwości fizyczne i chemiczne oraz strukturę otrzymanych produktów. W związku z powyższym niezbędne jest prowadzenie dalszych badań, które pomogą przyczynić się do lepszego zrozumienia zjawisk zachodzących podczas oddziaływania ultradźwięków i ich wpływu na procesy wymiany masy, a także właściwości uzyskanych produktów.

Zagadnienia związane z możliwością wykorzystania ultradźwięków do przyspieszenia procesu suszenia i odwadniania osmotycznego, a także właściwości uzyskanych produktów i ich zmian w wyniku zastosowania zabiegu sonikacji były założeniami do realizacji kilkuletnich badań prowadzonych w ramach projektu luventus Plus IP2014 033173, którego byłam kierownikiem oraz stypendium wyjazdowego w Uniwersytecie Bolońskim we Włoszech. Badania te w pewnych obszarach zarówno na poziomie krajowym, jak i międzynarodowym mają charakter pionierski i stanowią mój wkład w rozwój dyscypliny naukowej.

4.3.2. Cel naukowy oraz omówienie wyników badań

Celem naukowym Osiągnięcia, będącego podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789 ze zm. w Dz. U. z 2017 r. poz. 1530), jest:

- ocena wpływu zabiegu wstępnego z wykorzystaniem sonikacji na przebieg procesów wymiany masy, tj. suszenia oraz odwadniania osmotycznego tkanki roślinnej;

- analiza możliwości modyfikacji właściwości fizycznych i/lub chemicznych odwadnianej osmotycznie oraz suszonej tkanki roślinnej;
- uzyskanie odwadnianej osmotycznie tkanki roślinnej, charakteryzującej się zmniejszoną kalorycznością oraz akceptowalnymi właściwościami sensorycznymi;
- analiza mechanizmu oddziaływania fal dźwiękowych na tkankę roślinną i wywołane nimi modyfikacje struktury materiału.

Cykl publikacji, stanowiący osiągnięcie naukowe, obejmuje wyniki badań dotyczących:

- wpływu zabiegu sonikacji na przebieg procesu suszenia konwekcyjnego oraz właściwości fizyczne i chemiczne otrzymanych suszy (publikacje **H1, H3**),
- wpływu zabiegu sonikacji na kinetykę procesu odwadniania osmotycznego owoców kiwi oraz właściwości fizyczne i chemiczne uzyskanych produktów (publikacje **H2, H4**),
- wpływu odwadniania osmotycznego wspomaganego sonikacją na właściwości fizyczne i chemiczne oraz integralność błony komórkowej owoców żurawiny (publikacje **H5, H6, H7**),
- wpływu zabiegu sonikacji na zmiany strukturalne tkanek roślinnych (publikacje **H1, H2, H3**).

Należy podkreślić, iż w ramach przedmiotowego osiągnięcia podjęto się oceny wpływu zabiegu sonikacji na właściwości fizyczne, chemiczne, w tym bioaktywne, oraz zmiany mikrostruktury tkanki roślinnej, które wcześniej były analizowane przez innych badaczy w ograniczonym zakresie.

4.3.3. Wpływ zabiegu sonikacji na proces suszenia konwekcyjnego oraz właściwości fizyczne i chemiczne uzyskanych suszy

4.3.3.1. Charakterystyka zabiegu sonikacji

Zastosowanie sonikacji jako zabiegu wstępnego prowadzone było w medium ciekłym w celu zapewnienia prawidłowego rozchodzenia się fal dźwiękowych (tzw. sonikacja immersyjna). Sonikacji poddano:

- jabłko przygotowane w postaci sześcianu (1 cm x 1 cm x 1 cm), które zanurzano w wodzie destylowanej (stosunek surowca do wody wynosił 1:4) (**H1**)
- plastry marchwi o grubości 5 mm, które pakowano próżniowo w celu ograniczenia wyplukiwania składników rozpuszczalnych w wodzie i zanurzano w wodzie destylowanej (**H3**).

W celu uniknięcia wypływania na powierzchnię materiału poddawanego sonikacji zabezpieczano go metalową siatką. Zabieg prowadzono w temperaturze pokojowej.

W przypadku jabłka zastosowano urządzenie generujące fale ultradźwiękowe o częstotliwości 35 kHz o mocy 4 W/cm², natomiast w przypadku marchwi zastosowano dwa rodzaje ultradźwięków o częstotliwości 21 oraz 35 kHz o mocy odpowiednio 3 i 4 W/cm². We wszystkich przypadkach zastosowano trzy czasy sonikacji, tj. 10, 20 oraz 30 minut.

W wyniku przechodzenia fali akustycznej w czasie przeprowadzania zabiegu następowało ogrzewanie się surowca i medium, w którym materiał był zanurzony. W przypadku obróbki jabłka, w zależności od czasu trwania sonikacji, nastąpił wzrost temperatury medium o 3, 5 i 10 °C w przypadku zabiegu prowadzonego przez odpowiednio 10, 20 i 30 minut (**H1**). Natomiast przy zastosowaniu tych samych parametrów sonikacji marchwi nastąpił większy wzrost temperatury medium, wynoszący odpowiednio 7, 13 i 18 °C. Zastosowanie zabiegu wstępnego z wykorzystaniem fal dźwiękowych o częstotliwości 21 kHz w znacznym stopniu ograniczyło wzrost temperatury, który wyniósł jedynie 1, 2 i 3 °C przy sonikacji marchwi przez odpowiednio 10, 20 i 30 minut (**H3**). W związku z powyższym, należy stwierdzić, iż nie tylko rodzaj stosowanych fal dźwiękowych, ale także rodzaj tkanki poddanej sonikacji ma wpływ na przebieg tego rodzaju zabiegu wstępnego. Prawdopodobnie wzrost temperatury zależał od budowy tkanki surowca poddawanego zabiegowi wstępnemu. Fale ultradźwiękowe, aby dotrzeć do wnętrza tkanki muszą wykonać pewną pracę, której wynikiem jest wytworzenie ciepła, co prowadzi do wzrostu temperatury otaczającego medium. Jabłko charakteryzuje się większą porowatością w porównaniu do marchwi, dlatego też w marchwi obserwuje się większy wzrost temperatury. Podobne zjawisko

było obserwowane przez wielu badaczy przy zastosowaniu zabiegu sonikacji do obróbki grzybów, brukselki, kalafiora (Jambrak i in., 2007), owoców guawy (Kek i in., 2013) czy miazgi marchwiowej (Kobuz, 2006).

Jednocześnie, w przypadku zastosowania zabiegu sonikacji tkanki jabłka obserwowano zmiany masy surowca, które były wynikiem działania ultradźwięków i usuwania wody z komórek tkanki do otaczającego środowiska. Jednak w przypadku dłuższego czasu obróbki ultradźwiękami (30 minut) uzyskano najmniejszy ubytek masy, co było prawdopodobnie związane z wnikaniem wody do wnętrza materiału w związku z występującą różnicą ciśnień osmotycznych medium wodnego i składników zawartych w komórkach owocu. Z ubytkiem masy tkanki jabłka poddanej zabiegowi sonikacji związane były też zmiany zawartości suchej substancji, wynikające z usuwania wody z tkanki, w której rozpuszczane były składniki zawarte w owocu (**H1**).

W przypadku marchwi, w celu zabezpieczenia surowca przed ubytkiem wartościowych składników z tkanki, podczas sonikacji zastosowano barierę w postaci folii (marchew zapakowana próżniowo). Pozwoliło to na ograniczenie ubytku masy surowca poniżej 1% i niewielkie zmiany zawartości suchej substancji. W wyniku zastosowania opakowania próżniowego zjawisko kawitacji w tym przypadku nie występowało, a zmiany te wynikały jedynie ze zjawiska szybkich kompresji i dekompresji (efektu „gąbki”), jakie mają miejsce podczas sonikacji. Dodatkowo, sonikacja nie wpłynęła na zmiany aktywności wody tkanki marchwi (**H3**).

Zastosowanie zabiegu wstępnego z wykorzystaniem sonikacji wymaga niewielkich nakładów energii. Zużycie energii podczas sonikacji zależało od czasu trwania zabiegu oraz zastosowanej częstotliwości urządzenia generującego fale dźwiękowe. Wraz ze wzrostem czasu prowadzonego zabiegu sonikacji obserwowano wzrost zużycia energii. Ponadto, zastosowanie różnych częstotliwości, tj. 21 i 35 kHz, powodowało zróżnicowanie zużycia energii odpowiednio od 3 do 9 Wh i od 12 do 33 Wh (**H3**). Jednak koszty zużycia energii niezbędne do przeprowadzenia zabiegu sonikacji są niewielkie i w przypadku skrócenia czasu suszenia uzyskiwane są znaczne oszczędności, związane z ograniczeniem zużycia energii podczas procesu suszenia (Sledz i in., 2017).

4.3.3.2. Wpływ zabiegu sonikacji na proces suszenia konwekcyjnego

Zastosowanie zabiegu sonikacji przed procesem suszenia miało na celu przyspieszenie usuwania wody, a tym samym skrócenia czasu procesu suszenia i poprawę właściwości fizycznych i chemicznych suszonej tkanki roślinnej.

W pracy **H1** określono, iż czas potrzebny do wysuszenia kostek jabłka, niepoddanych zabiegom wstępnym, do zawartości 0,11 kg H₂O/kg s.m., wynosił 165 minut. Zastosowanie sonikacji przed procesem suszenia spowodowało skrócenie czasu usuwania wody od 31 do 40%, uzyskując czasy suszenia wynoszące 108, 114 i 99 minut w przypadku sonikacji odpowiednio 10, 20 i 30-to minutowej. Podobne rezultaty obserwowano podczas suszenia melona (Rodriguez i Fernandes, 2007), banana (Fernandes i Rodriguez, 2007) brukselki i kalafiora (Jambrak i in., 2007) oraz skórki pomarańczowej (Ortuño i in., 2010) i cytrynowej (García-Pérez i in., 2009).

Dodatkowo, w pracy **H1** określono szybkość suszenia na podstawie równania podanego przez Midilli i in. (2002) oraz wyznaczono efektywny współczynnik dyfuzji wody podczas suszenia na podstawie równania opierającego się na II prawie Ficka. Szybkość suszenia jabłek poddanych zabiegowi sonikacji była wyższa w porównaniu do tkanki niepoddanej obróbce wstępnej. Najwyższą szybkość suszenia, wynoszącą 0,052 kg/(kg s.m.·min), odnotowano na początku procesu suszenia w przypadku kostek jabłka poddanych 30-minutowej sonikacji. Nieco niższą szybkość suszenia odnotowano w przypadku zastosowania krótszych czasów oddziaływania fal ultradźwiękowych, tj. 10 i 20 minut, uzyskując odpowiednio 0,048 i 0,047 kg/(kg s.m.·min). Natomiast tkanka świeża poddana suszeniu charakteryzowała się najniższą szybkością, wynoszącą 0,042 kg/(kg s.m.·min). Jednak wpływ czasu sonikacji na szybkość procesu suszenia nie był jednoznaczny. Przykładowo, jabłko poddane zabiegowi sonikacji przez 30 minut suszyło się najkrócej, a następnie traktowane falami ultradźwiękowymi przez 10 i 20 minut. Natomiast inni

badacze uzyskali krótszy czas suszenia ananasa (Fernandes i in., 2008a) i banana (Fernandes i Rodrigues, 2007) po 20-minutowej sonikacji w porównaniu do tkanki traktowanej falami ultradźwiękowymi przez 10 i 30 minut. Z uwagi na bioróżnorodność oraz zróżnicowaną budowę surowców roślinnych wpływ oddziaływań fal dźwiękowych nie jest jednoznaczny i wymaga dalszych prac badawczych.

Efektywny współczynnik dyfuzji wody jest parametrem związanym z szybkością procesu suszenia. Zabieg sonikacji wpłynął na zróżnicowanie tego parametru, tj. najwyższe wartości zaobserwowano podczas suszenia tkanki poddanej sonikacji przez 10 i 30 minut (równy dla obu przypadków $2,168 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$), uzyskując o 18% wyższe wartości w porównaniu do tkanki niepoddanej działaniu fal dźwiękowych. Należy zwrócić uwagę, że w tych przypadkach szybkość suszenia była zróżnicowana, co wskazuje na skomplikowany charakter oddziaływań fal dźwiękowych na tkankę roślinną. Natomiast materiał poddany 20-minutowej sonikacji charakteryzował się o 12% wyższym efektywnym współczynnikiem dyfuzji wody w porównaniu do tkanki referencyjnej, wynoszącym $2,058 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$.

W pracy **H3** podobnie badano wpływ sonikacji na przebieg procesu suszenia, jednak w tym przypadku badano głównie zmiany wywołane bezpośrednim efektem, tj. efektem gąbki. Związane to było z zabiegiem sonikacji, któremu poddawany był materiał zapakowany w folię. W związku z tym, iż efekt kawitacji zachodzi w środowisku wodnym, głównie na granicy kontaktu ciała stałego i cieczy, w tym przypadku efekt ten został ograniczony. Czas potrzebny do wysuszenia plasterków marchwi do zawartości $0,22 \text{ kg H}_2\text{O}/\text{kg s.m.}$ w przypadku tkanki niepoddanej zabiegom wstępnym wynosił 257 minut. Zastosowanie sonikacji nie wpłynęło na skrócenie czasu suszenia, a odnotowano niewielkie, nieistotne statystycznie jego wydłużenie (260-266 minut, w zależności od zastosowanych parametrów sonikacji). Było to najprawdopodobniej związane z formą dostarczania fal dźwiękowych do materiału, poprzez opakowanie, jak również rodzajem i budową surowca. Inne badania dotyczące aplikacji ultradźwięków wykazały skrócenie czasu suszenia marchwi, choć w tym przypadku ultradźwięki były generowane podczas całego procesu suszenia, a nie przed jego rozpoczęciem (García-Pérez i in., 2006). Efektywny współczynnik dyfuzji wody podczas suszenia był najwyższy w przypadku tkanki niepoddanej zabiegowi wstępnemu i wynosił $5,00 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$. Natomiast wystąpienie tylko jednego z mechanizmów sonikacji, tj. efektu gąbki, spowodowało zmniejszenie efektywnego współczynnika dyfuzji wody o 8-12%, osiągając wartości w zakresie od $4,40 \cdot 10^{-10}$ do $4,60 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$.

W związku z powyższym, należy stwierdzić, iż zastosowanie zabiegu sonikacji wpływało na skrócenie czasu suszenia, nawet o 40%, jak w przypadku suszenia tkanki jabłka. Jednak dzieje się tak w przypadku, gdy podczas zabiegu sonikacji występują zarówno bezpośrednie, jak i pośrednie zjawiska wywołane działaniem ultradźwięków. W przypadku suszenia marchwi, której sonikacja odbywała się z ograniczeniem efektu kawitacji, nie odnotowano skrócenia czasu suszenia. Dlatego też należy uznać, iż występowanie jedynie efektu gąbki jest niewystarczające, aby zmienić kinetykę procesu suszenia i efektywnego współczynnika dyfuzji wody. Za przyspieszenie procesu suszenia odpowiada głównie powstające podczas sonikacji zjawisko kawitacji, co potwierdziły powyższe badania.

4.3.3.3. Wpływ zabiegu sonikacji na właściwości fizyczne i chemiczne suszy

Zastosowanie sonikacji wpłynęło na zmiany fizyczne suszonej tkanki jabłka i marchwi. W przypadku tkanki jabłka badano wpływ sonikacji zastosowanej przed suszeniem na skurcz, gęstość, porowatość i właściwości rehydracyjne materiału po suszeniu (**H1**). Natomiast w tkance marchwi oceniano zmiany barwy i zawartość karotenoidów materiału po zabiegu sonikacji i po procesie suszenia (**H3**).

W przypadku suszonego jabłka odnotowano nieistotny statystycznie wzrost w zakresie 9-11% skurczu materiału w porównaniu do tkanki niepoddanej działaniu fal dźwiękowych. Skurcz tkanki roślinnej podczas procesu suszenia wpływa na zwiększanie gęstości materiału. Jednak w przypadku zastosowania sonikacji przed suszeniem obserwowano obniżenie się o 6-20% gęstości suszonej

tkanki jabłka w porównaniu z suszoną tkanką niepoddaną działaniu ultradźwięków. Wraz z wydłużającym się czasem sonikacji następowało obniżenie gęstości materiału, co było zgodne z uzyskanymi obrazami ze skaningowego mikroskopu elektronowego. Tworzenie się w strukturze tkanki jabłka większych, pustych przestrzeni było związane ze zjawiskami zachodzącymi podczas zabiegu sonikacji, czego efektem było odnotowanie mniejszej gęstości, a także większej porowatości suszonego materiału poddanego zabiegowi sonikacji. Suszona tkanka jabłka poddana sonikacji charakteryzowała się o 9-14% wyższą porowatością w porównaniu do tkanki referencyjnej (niepoddanej zabiegowi sonikacji).

W dalszej kolejności badano wpływ sonikacji na właściwości rehydracyjne suszonej tkanki jabłka (**H1**). W czasie rehydracji, tj. uwadniania żywności, następuje przyrost masy i objętości suszonego materiału oraz ubytek rozpuszczalnych w wodzie składników suchej substancji. Generalnie, zdolność materiału do rehydracji zależy od stopnia uszkodzenia komórek i ich struktury odpowiedzialnej za wiązanie wody w materiale. Stwierdzono, że suszona tkanka jabłka niepoddana zabiegowi sonikacji po 60 minutach rehydracji charakteryzowała się zawartością wody wynoszącą 5,32 kg wody/kg s.m. W przypadku zastosowania krótszych czasów sonikacji (10 i 20 minut) uzyskano niższe wartości, co związane było z większymi uszkodzeniami tkanki na skutek działania fal dźwiękowych, a następnie wysokiej temperatury podczas procesu suszenia. Natomiast tkanka suszona traktowana falami dźwiękowymi przez 30 minut charakteryzowała się nieznacznie wyższą zawartością wody po 60 minutach uwadniania. Jednak nie uzyskano równowagowej zawartości wody, co oznacza, że proces rehydracji nie został zakończony.

Podczas procesu rehydracji wraz z czasem jej trwania następował wzrost ubytku składników suchej substancji rozpuszczalnych w wodzie. Najmniejszy ubytek składników zawartych w tkance jabłka odnotowano podczas rehydracji suszu poddanego wcześniej sonikacji przez 10 minut, natomiast największe po 30 minutach obróbki. Zmiany zdolności wiązania wody przez tkankę jabłka i ubytek składników rozpuszczalnych w wodzie podczas procesu rehydracji nie były jednoznaczne, jednak można stwierdzić, że sonikacja powoduje zmianę właściwości rehydracyjnych, a jej wyjaśnienie wymaga dalszych badań.

W marchwi świeżej i suszonej oceniano zmiany barwy po zabiegu sonikacji (**H3**). Zastosowanie krótkich czasów sonikacji (10 i 20 minut), niezależnie od częstotliwości użytych fal dźwiękowych, powodowało uzyskanie wyższych wartości parametru barwy L^* , w porównaniu z surową marchwią. Natomiast dłuższy czas oddziaływania fal ultradźwiękowych, tj. 30 minut, wpływał na istotne pociemnienie tkanki marchwi, niezależnie od zastosowanej częstotliwości ultradźwięków. Porównując parametry barwy i obliczając bezwzględną różnicę barwy ΔE stwierdzono znaczne odchylenie barwy od barwy materiału referencyjnego. Po procesie suszenia stwierdzono istotne pojaśnienie barwy marchwi w stosunku do tkanki wyjściowej, co było związane z większą porowatością materiału oraz metodą oznaczania barwy, opartą na zasadzie odbicia światła od powierzchni materiału. Interesujące jest to, że susze poddane wcześniej sonikacji charakteryzowały się podobną lub niższą bezwzględną różnicą barwy w porównaniu do wartości ΔE suszonego materiału niepoddanego obróbce wstępnej, co wskazuje na lepsze zachowanie barwy.

Zmiany chemiczne wywołane sonikacją były oceniane na podstawie zmian zawartości karotenoidów w marchwi świeżej, po sonikacji i suszonej (**H3**). Zawartość karotenoidów w świeżej marchwi wynosiła 7,66 mg/100 g. Zastosowanie zabiegu sonikacji spowodowało wzrost oznaczonej zawartości karotenoidów w marchwi. Po 20-minutowej sonikacji z zastosowaniem częstotliwości 21 kHz obserwowano istotny wzrost zawartości karotenoidów o 12,5%. W przypadku zastosowania fal dźwiękowych o częstotliwości 35 kHz przez 10, 20 i 30 minut zawartość karotenoidów wzrosła istotnie odpowiednio o 42,3; 49,9 i 41,1%. Podobnie Abid i in. (2013) podczas sonikacji świeżego soku jabłkowego przez 30 i 60 minut, z wykorzystaniem fal o częstotliwości 25 kHz, zaobserwowali wzrost zawartości karotenoidów odpowiednio o 12 i 27% w odniesieniu do materiału niepoddanego sonikacji.

Zastosowanie odpowiednich parametrów zabiegu sonikacji może wpłynąć na zwiększenie zawartości karotenoidów w suszonej marchwi. Po procesie suszenia w większości przypadków

obserwowano wzrost zawartości karotenoidów w porównaniu do świeżej marchwi. Susz niepoddany obróbce wstępnej zawierał o 20% karotenoidów więcej niż marchew surowa, co mogło być związane z różnorodnością materiału lub wpływem podwyższonej temperatury, która powoduje rozpuszczenie zawartej w ścianie komórkowej celulozy i związane z tym uwolnienie zawartych w niej związków (Sharma i in., 2012). Dodatkowo, zjawiska występujące podczas sonikacji prowadzą do uszkodzeń struktury marchwi, ułatwiając ekstrakcję karotenoidów uwieczonych wewnątrz komórek, dzięki czemu możliwe jest wyekstrahowanie karotenoidów, których nie można wydobyć tradycyjną metodą ekstrakcji (Monks i in., 2013). W przypadku suszonej tkanki poddanej wcześniej procesowi sonikacji o częstotliwości 21 kHz przez 10 i 20 minut zawartość karotenoidów zwiększyła się odpowiednio o 22 i 44 %, w porównaniu do marchwi świeżej. Zastosowanie niższej częstotliwości (21 kHz) oraz krótszy czas sonikacji wpłynęły na lepsze zachowanie karotenoidów w suszonej tkance marchwi. Suszona marchew potraktowana 30-to minutowym zabiegiem sonikacji charakteryzowała się niewielkim, nieistotnym statystycznie zmniejszeniem zawartości karotenoidów. Natomiast zastosowanie częstotliwości 35 kHz wpłynęło na lepszą retencję karotenoidów jedynie w przypadku tkanki traktowanej falami ultradźwiękowymi przez 10 i 30 minut.

Podsumowując powyższe badania, należy stwierdzić, że zabieg sonikacji wpływa na zmiany właściwości fizycznych i chemicznych tkanki roślinnej. W przypadku suszonej tkanki jabłka zastosowanie sonikacji przed procesem suszenia spowodowało większy skurcz materiału, mniejszą gęstość i większą porowatość materiału oraz zmiany właściwości rehydracyjnych. Jednocześnie, w przypadku surowej i suszonej tkanki marchwi zabieg sonikacji spowodował w większości przypadków znaczący wzrost zawartości karotenoidów lub też brak ich zmian w porównaniu do świeżej tkanki marchwi. Należy podkreślić, że zmiany wywołane zabiegiem sonikacji w przypadku w tkanki marchwi wynikały głównie z efektu „gąbki” z uwagi na zastosowanie opakowania materiału poddawanego działaniu fal dźwiękowych. Ponadto stwierdzono, że zabieg sonikacji wpływał na lepszą ekstrakcję karotenoidów z marchwi oraz lepsze zachowanie barwy suszonej marchwi.

4.3.4. Wpływ zabiegu sonikacji na kinetykę procesu odwadniania osmotycznego owoców kiwi oraz właściwości fizyczne i chemiczne uzyskanych produktów

4.3.4.1. Wpływ zabiegu sonikacji na przebieg procesu odwadniania osmotycznego tkanki owoców kiwi

Zabieg sonikacji plasterów kiwi był prowadzony w temperaturze 25°C w urządzeniu generującym fale ultradźwiękowe o częstotliwości 35 kHz w medium wodnym przez 10, 20 i 30 minut. Intensywność ultradźwięków była zróżnicowana i zależała od czasu ich aplikacji, uzyskując wartości wynoszące $8,4 \cdot 10^{-2}$; $9,7 \cdot 10^{-2}$ i $10,2 \cdot 10^{-2}$ W/g podczas odpowiednio 10, 20 i 30-minutowej sonikacji. Materiał poddawany sonikacji zabezpieczano metalową siatką, która uniemożliwiała jego wypłynięcie na powierzchnię. W trakcie zabiegu sonikacji odnotowano wzrost temperatury medium, w którym był zanurzony surowiec i w zależności od czasu trwania zabiegu nastąpił wzrost temperatury medium odpowiednio o 3, 5 i 10°C (H2). Aby ocenić wpływ oddziaływania ultradźwięków na właściwości fizyczne i chemiczne owoców kiwi dla porównania prowadzono zanurzanie materiału w wodzie przez odpowiedni czas bez aplikacji ultradźwięków.

W czasie procesu odwadniania osmotycznego woda z tkanki roślinnej jest usuwana do roztworu osmotycznego w wyniku różnicy ciśnienia osmotycznego pomiędzy ośrodkami, ale także następuje wnikanie składników roztworu osmotycznego do odwadnianego surowca (Lewicki i Lenart, 2006). Zastosowanie zabiegu sonikacji wpłynęło na zwiększenie ubytku wody i przyrostu suchej substancji w odwadnianej tkance owoców kiwi (H2). Zastosowanie dłuższego czasu sonikacji, tj. 20 i 30 minut, miało korzystny wpływ na ubytek wody z tkanki, szczególnie podczas pierwszych 30 minut procesu odwadniania osmotycznego. Obliczona w tych przypadkach początkowa szybkość procesu wymiany masy podczas odwadniania osmotycznego tkanki kiwi była znacznie wyższa, w porównaniu do tkanki niepoddanej zabiegowi sonikacji, co było

prawdopodobnie związane ze zmianami struktury zachodzącymi podczas zabiegu sonikacji. Również pod koniec procesu odwadniania osmotycznego ubytek wody w tkance poddanej sonikacji był większy w porównaniu do tkanki referencyjnej, ale różnica była nieznaczna. Na podstawie powyższego stwierdzono, że zastosowanie sonikacji jest przydatne do usuwania wody w trakcie krótko trwającego procesu odwadniania osmotycznego. Natomiast zastosowanie krótkiej, 10-cio minutowej sonikacji, spowodowało mniejszy ubytek wody z tkanki kiwi podczas odwadniania w porównaniu do tkanki niepoddanej sonikacji. W czasie odwadniania następował przyrost masy w tkance kiwi, uzyskując już po 30 minutach odwadniania znacznie wyższe wartości w przypadku tkanki poddanej zabiegowi sonikacji. Zastosowanie dłuższych czasów sonikacji, tj. 20 i 30 minut, wpłynęło na ponad 45-procentowy przyrost składników suchej substancji w porównaniu do tkanki referencyjnej.

W przypadku tkanki poddanej jedynie moczeniu również stwierdzono przyspieszenie procesu odwadniania osmotycznego, ale jedynie na samym początku jego trwania. Podczas dalszego prowadzenia procesu stwierdzono pogorszenie wymiany masy wraz ze wzrostem czasu trwania zabiegu moczenia. Podobnie też w tym przypadku odnotowano przyrost masy składników suchej substancji moczonych owoców kiwi, których wartości były porównywalne lub istotnie wyższe w porównaniu do tkanki niepoddanej obróbce wstępnej.

Podsumowując tę część badań stwierdzono, że zastosowanie zabiegu sonikacji przez czas powyżej 10 minut prowadziło do przyspieszenia wymiany masy podczas procesu odwadniania osmotycznego. Ponadto, w związku ze zmianami struktury tkanki owoców kiwi poddanych sonikacji nastąpiło również większe wnikanie składników roztworu osmotycznego do jej wnętrza.

4.3.4.2. Wpływ ultradźwięków na właściwości fizyczne i chemiczne tkanki owoców kiwi poddanych odwadnianiu osmotycznemu

Zmiany fizyczne świeżej tkanki owoców kiwi oraz odwadnianej, wywołane poprzez zastosowanie zabiegu sonikacji, oceniano na podstawie zmian aktywności wody oraz wody zamarzającej, stanu wody w strukturach komórkowych tkanki, tekstury i barwy, natomiast zmiany chemiczne oceniano na podstawie zawartości chlorofilu (H2; H4).

Zastosowanie zabiegu sonikacji i moczenia spowodowało nieznaczny wzrost aktywności wody (0,985-0,990) w porównaniu do tkanki świeżego kiwi (0,983) (H4). Wraz z wydłużeniem czasu odwadniania obserwowano spadek aktywności wody. Najniższą wartość aktywności wody (0,970) uzyskano w przypadku tkanki niepoddanej obróbce wstępnej odwadnianej przez 120 minut. Niewiele wyższą aktywność wody (zmiany nieistotne statystycznie) odnotowano w przypadku odwadnianej tkanki poddanej sonikacji przez 20 i 30 minut. Podobne wyniki aktywności wody zostały uzyskane przez innych badaczy w przypadku traktowania falami dźwiękowymi miechunki (Luchese i in., 2015) i borówek amerykańskich (Stojanovic i Silva, 2007). W celu zabezpieczenia tkanki roślinnej przed rozwojem mikroorganizmów wymagane jest obniżenie aktywności wody poniżej wartości 0,6 (Maltini i in., 2003). Jednak nawet niewielkie zmiany aktywności wody mogą ograniczyć wzrost wybranych mikroorganizmów. W przypadku badań prowadzonych przez Gianotti i in. (2001) stwierdzono ograniczenie wzrostu drobnoustrojów w próbkach kiwi odwadnianych w roztworze sacharozy o stężeniu 65 °Bx, nawet jeśli na koniec procesu uzyskiwano aktywność wody w zakresie 0,99-0,98. Prawdopodobnie związane było to z wnikaniem sacharozy do tkanki owocu, w wyniku czego następował wzrost lepkości fazy ciekłej owocu, jednocześnie wpływając na ograniczenie wzrostu mikroorganizmów. Dodatkowo, zastosowanie zabiegu sonikacji wpływa na zmniejszenie ilości określonych rodzajów mikroorganizmów (Birmpa i in., 2013). Jednakże, w celu zapewnienia stabilności produktów odwadnianych konieczne jest zastosowanie procesu suszenia (Maltini i in., 2003).

Kolejnym parametrem, związanym ze stabilnością tkanki roślinnej, jest zawartość wody zamarzającej, którą oznaczono w tkance kiwi za pomocą skaningowej kalorymetrii różnicowej (DSC) (H4). Tkanka niepoddana zabiegom wstępnym charakteryzowała się największą zawartością wody zamarzającej, przy czym zastosowanie zabiegu sonikacji oraz moczenia nie wpłynęło istotnie

na zmiany zawartości wody zamarzającej. W przypadku zastosowania procesu odwadniania osmotycznego obserwowano zmniejszenie zawartości wody zamarzającej w porównaniu do tkanki świeżej, jednak zmiany te nie były istotne statystycznie. Natomiast w przypadku zastosowania zabiegów wstępnych przed odwadnianiem osmotycznym, odnotowano istotne zmniejszenie ilości wody zamarzającej w tkance odwadnianych owoców kiwi poddanych 20- i 30-minutowej sonikacji oraz moczeniu.

Dodatkowo, po przeprowadzeniu zabiegu sonikacji i procesu odwadniania osmotycznego, określono stan wody w strukturach komórkowych kiwi z wykorzystaniem spektroskopii magnetycznego rezonansu jądrowego o niskiej rozdzielczości TD-NMR (**H2**). Na podstawie intensywności protonów i czasu relaksacji T2 (relaksacja spin-spin) po 1 s, 250 i 10 ms obserwowano zmiany zawartości wody znajdującej się w wakuolach, cytoplazmie i przestrzeni międzykomórkowej oraz w ścianie komórkowej (Panarese i in., 2012). W celu porównania próbek poddanych sonikacji lub moczeniu, a następnie odwadnianiu osmotycznemu, intensywności pola protonowego zostały wyskalowane w taki sposób, aby całkowity sygnał uzyskany ze świeżych próbek wynosił 100%. W przypadku świeżych owoców kiwi stwierdzono, że intensywność protonów stanowiła 63% całkowitego zarejestrowanego sygnału w przypadku wakuoli, 27% w przypadku cytoplazmy i przestrzeni międzykomórkowych oraz 10% w przypadku ściany komórkowej. Inny rozkład intensywności protonów w tkance kiwi (odpowiednio 75, 20 i 5%) odnotowali Panarese i in. (2012), co prawdopodobnie związane było z bioróżnorodnością surowca. W przypadku tkanki poddanej zabiegowi sonikacji, a także moczeniu stwierdzono zwiększenie całkowitego sygnału, co świadczy o tym, iż nastąpiła zmiana rozmieszczenia wody w komórkach tkanki owoców kiwi po zabiegach sonikacji oraz moczenia. W obu tych przypadkach stwierdzono 6-7-procentowy wzrost intensywności protonów w wakuolach, cytoplazmie oraz przestrzeniach międzykomórkowych. Wnikanie wody do wakuoli pozwoliło na niewielkie, ale istotne skrócenie w przypadku obu zabiegów, tj. sonikacji i moczenia, wartości czasu relaksacji T2, który związany jest z ruchem składowych magnetyzacji poprzecznej do pola. Skrócenie czasu T2 było związane prawdopodobnie z uplastycznieniem się struktury komórkowej biopolimerów w wyniku wnikania wody do tkanki. W prowadzonych badaniach sekwencja impulsów wykorzystywana do pomiaru czasu relaksacji poprzecznej nie wykrywała protonów z czasem T2 krótszym niż kilka milisekund, które to powszechnie charakteryzują sztywne części biopolimerów.

Ponadto, zmiany stanu w tkance kiwi oceniano po 30 minutach prowadzenia procesu odwadniania osmotycznego (**H2**). Zastosowanie procesu odwadniania oraz odwadniania poprzedzonego zabiegiem sonikacji lub moczenia spowodowało niewielki, ale znaczący wzrost intensywności protonów w cytoplazmie i przestrzeniach międzykomórkowych oraz spadek intensywności w wakuolach. Wartości intensywności protonów w przypadku zastosowania zabiegów wstępnych, jak również odwadniania osmotycznego poprzedzonego zabiegami wstępnymi były bardzo zbliżone. W celu lepszego zrozumienia zmian zachodzących w komórkach oraz przestrzeniach międzykomórkowych i rozpuszczonych w nich substancjach, określono czasy relaksacji poprzecznej T2 poszczególnych składników komórki. W przypadku tkanki poddanej odwadnianiu osmotycznemu czas relaksacji T2 wakuoli ulegał skróceniu, natomiast dodatkowo zastosowanie sonikacji lub moczenia wpłynęło na jeszcze większe skrócenie czasu T2. Na podstawie tych zmian można stwierdzić, że stosunek substancji rozpuszczonej do zawartości wody w wakuolach wzrastał. Ponadto zaobserwowano, że zastosowanie przed odwadnianiem osmotycznym zabiegu sonikacji trwającego powyżej 10 minut w większym stopniu wpłynęło na zmiany zawartości wody i substancji rozpuszczonych w komórce niż w przypadku zastosowania moczenia.

Dalsze badania dotyczyły analizy tekstury tkanki owoców kiwi poddanych zabiegom wstępnym i odwadnianiu osmotycznemu (**H4**). W badaniach zastosowano test penetracji, określając maksymalną siłę potrzebną do przejścia sondy w głąb tkanki owocu (jędźrość owocu). Tkanka świeża, niepoddana zabiegom wstępnym, charakteryzowała się jędźrością wynoszącą 16 N. Zastosowanie sonikacji spowodowało istotne zmniejszenie jędźrości tkanki i najmniejszą jej wartość, wynoszącą 6,8 N, stwierdzono w przypadku tkanki poddanej 10-minutowej sonikacji.

Podobne wyniki uzyskali inni badacze w przypadku sonikacji ciecierzycy (Yildirim i in., 2013). Związane jest to z rozpuszczaniem się pektyny w ścianach komórkowych na skutek działania fal dźwiękowych i skutkuje zmniejszeniem ich sztywności (Pieczywek i in. 2017). W przypadku materiału poddanego moczeniu również stwierdzono mniejszą maksymalną siłą penetracji w porównaniu do świeżej tkanki i były to wartości porównywalne do tkanki poddanej sonikacji, jednak w tym przypadku zastosowany czas moczenia nie wpływał istotnie na zmiany tekstury materiału.

Zastosowanie procesu odwadniania tkanki kiwi niepoddanej zabiegom wstępnym wpłynęło na obniżenie maksymalnej siły penetracji o 18% w porównaniu do tkanki świeżej (H4), co było prawdopodobnie związane z utratą napięcia ściany komórkowej, spowodowanego skurczem protoplastu i jego oderwaniem się od ściany komórkowej (Nieto i in., 2013). W przypadku tkanki poddanej zabiegowi sonikacji stwierdzono istotne obniżenie maksymalnej siły penetracji, wynoszące od 22 do 39% w odniesieniu do materiału odwadnianego niepoddanego zabiegowi wstępnemu. Spośród odwadnianych próbek traktowanych falami dźwiękowymi, najniższą siłą penetracji charakteryzował się materiał odwadniany, uprzednio poddany 10-minutowemu zabiegowi sonikacji. Natomiast materiał poddany moczeniu przed odwadnianiem osmotycznym uzyskał najniższe wartości maksymalnej siły potrzebnej do przejścia sondy w głąb tkanki owocu.

Ponadto, badanie kinetyki zmian tekstury wykazało różnice pomiędzy świeżą tkanką owoców kiwi i materiałem poddanym zabiegom wstępnym (H4). Jędrność świeżej tkanki poddanej procesowi odwadniania osmotycznego w czasie pierwszej godziny prowadzenia procesu ulegała zmniejszeniu. Natomiast po dwóch godzinach procesu odnotowano wzrost twardości tkanki, co było związane z większą utratą wody z materiału. W przypadku fal dźwiękowych, ich zastosowanie spowodowało zmniejszenie jędrności tkanki, natomiast w czasie procesu odwadniania osmotycznego obserwowano jej wzrost, uzyskując na koniec procesu wartości podobne (sonikacja 20 i 30-minutowa) lub niższe (sonikacja 10-minutowa) od tkanki odwadnianej niepoddanej zabiegom wstępnym.

W dalszych badaniach oceniano barwę materiału po zabiegu sonikacji, a następnie po procesie odwadniania osmotycznego, analizując zmiany jasności L^* , odcienia h° oraz bezwzględnej różnicy barwy ΔE w odniesieniu do świeżej tkanki (H4). Świeża tkanka owocu kiwi charakteryzowała się jasnością wynoszącą 42,4, natomiast po zabiegu sonikacji odnotowano wzrost jasności materiału, co mogło być związane z prowadzeniem zabiegu w medium wodnym. Ponadto, podczas sonikacji mogą powstawać wolne rodniki i inne związki chemiczne (Bermudez -Aguirre i in., 2011), mające wpływ na różne właściwości żywności, m.in. jej barwę. Natomiast w przypadku próbek moczonych nie odnotowano istotnych zmian parametru barwy L^* lub stwierdzono jego wzrost, gdy moczenie trwało 20 minut. Prowadzenie zabiegów wstępnych w środowisku wodnym jest korzystne z uwagi na ograniczony dostęp tlenu do materiału, jednak może dochodzić do migracji składników z surowca do otaczającego roztworu (Wiktor i in., 2016). Poddanie świeżej tkanki kiwi procesowi odwadniania osmotycznego spowodowało zwiększenie jej jasności. Jest to spowodowane zjawiskiem przenoszenia masy, w tym przechodzenia do roztworu osmotycznego związków odpowiedzialnych za barwę, takich jak chlorofile, co potwierdziły badania zmian właściwości chemicznych tkanki kiwi. Natomiast w przypadku tkanki poddanej sonikacji lub moczeniu nie stwierdzono istotnych statystycznie różnic w odniesieniu do tkanki odwadnianej niepoddanej zabiegom wstępnym. W przypadku odcienia barwy tkanki kiwi stwierdzono podobne zależności, przy czym różnice między próbkami były mniej wyraźne. Tkanka poddana zabiegom wstępnym charakteryzowała się podobnymi wartościami h° w porównaniu do tkanki świeżej. Natomiast w przypadku odwadnianej tkanki, jedynie przy zastosowaniu dłuższego zabiegu sonikacji (20 i 30 minut) odnotowano obniżenie wartości h° , co wskazuje na zmianę barwy tych próbek z zielonej na nieco jaśniejszą barwę zieloną. Dodatkowo, na podstawie parametrów barwy L^* , a^* i b^* wyliczono bezwzględną różnicę barwy ΔE , która osiągając wartość powyżej 2 świadczy o widocznej różnicy pomiędzy badaną próbką a materiałem odniesienia (tkanka świeżego kiwi). Tkanka kiwi traktowana ultradźwiękami charakteryzowała się ΔE w zakresie od 1,76 do 5,12. Przy zastosowaniu krótszego czasu sonikacji (10 i 20 minut) następowały wyraźne zmiany barwy,

natomiast dłuższe ich działanie (30 minut) nie spowodowało istotnych zmian barwy tkanki kiwi. Bezwzględna różnica barwy w przypadku tkanki poddanej procesowi odwadniania osmotycznego była równa 5, co wskazuje na istotną zmianę barwy tkanki. Zastosowanie 20 i 30-minutowego zabiegu sonikacji skutkowało lepszym zachowaniem barwy po procesie odwadniania osmotycznego w porównaniu do tkanki niepoddanej zabiegom wstępnym.

Zmiany barwy tkanki kiwi związane były ze zmianami zawartości chlorofilu (H4). Zawartość chlorofilu świeżej tkanki kiwi wynosiła 85,4 mg/kg s.s. Zmiany zawartości chlorofilu w owocach kiwi zależały od czasu sonikacji, wykazując najwyższą wartość przy zastosowaniu zabiegu trwającego 20 minut (wyższa o 15% w porównaniu do tkanki świeżej) oraz nieco niższą, gdy sonikacja trwała 30 minut. Efekt ten może być wynikiem kilku zjawisk zachodzących podczas zabiegu sonikacji, takich jak lepsza ekstrakcja związków bioaktywnych w tkance traktowanej falami dźwiękowymi, wnikanie składników surowca do otaczającego medium oraz powstawanie reaktywnych form tlenu w wyniku zjawiska kawitacji, powodujące degradację związków bioaktywnych (Wiktor i in., 2016; Witrowa-Rajchert i in., 2014; Fonteles i in., 2012). Dłuższe oddziaływanie ultradźwięków na tkankę (30 minut) skutkowało zmniejszeniem zawartości chlorofilu w porównaniu z sonikacją 20-minutową, ale jest to wartość porównywalna z tkanką świeżą. Dodatkowo, reakcje enzymatyczne i nieenzymatyczne mogły powodować powstawanie substancji o brązowym zabarwieniu i rozkład barwników, prowadząc do degradacji chlorofilu (Aadil i in., 2013; Leunda i in., 2000). Przykładowo, degradację związków bioaktywnych po zastosowaniu sonikacji przez dłuższy czas stwierdzono również w przypadku polifenoli w jabłku (Wiktor i in., 2016), karotenu w marchwi (H3) i ogólnej aktywności antyoksydacyjnej soku z melona (Fonteles i in., 2012). Natomiast w przypadku zastosowania krótkiego czasu sonikacji (10 minut) obserwowano obniżenie zawartości chlorofilu o 24% w stosunku do tkanki świeżej. Podobną lub nieco wyższą zawartością chlorofilu charakteryzował się materiał poddany moczeniu.

Świeża tkanka kiwi po procesie odwadniania osmotycznego charakteryzowała się zawartością chlorofilu niższą o 57% w porównaniu z materiałem wyjściowym. W przypadku zastosowania dłuższego czasu sonikacji (20 i 30 minut) przed odwadnianiem osmotycznym uzyskano wyższą o 21-31% zawartość od w porównaniu do odwadnianej tkanki niepoddanej zabiegom wstępnym.

Zastosowanie zabiegu sonikacji, a następnie procesu odwadniania osmotycznego spowodowało zróżnicowanie właściwości fizycznych i chemicznych tkanki kiwi. Nastąpiło zmniejszenie ilości wody zamarzającej w odwadnianej tkance kiwi poddanej 20 i 30-minutowej sonikacji. Dodatkowo, zastosowanie spektroskopii magnetycznego rezonansu jądrowego wykazało niewielkie, ale istotne zmiany stanu wody w poszczególnych strukturach komórkowych owocu kiwi, w zależności od czasu trwania zastosowanego zabiegu sonikacji, co mogło mieć wpływ na zmiany tekstury materiału. Zaobserwowano mięknięcie tekstury tkanki pod wpływem zabiegu sonikacji, a następnie obserwowano wzrost twardości materiału podczas procesu odwadniania osmotycznego. Dodatkowo, zastosowanie zabiegu sonikacji korzystnie wpłynęło na odwadnianą tkankę owocu kiwi, która charakteryzowała się lepiej zachowaną barwą i wyższą zawartością chlorofilu w porównaniu do odwadnianej tkanki niepoddanej zabiegom wstępnym.

4.3.5. Wpływ zastosowania odwadniania osmotycznego wspomaganego sonikacją sonikacji na właściwości fizyczne i chemiczne oraz integralność błony komórkowej owoców żurawiny

W pracy H5, H6 i H7 badano wpływ kombinowanych metod z wykorzystaniem sonikacji do modyfikacji tkanki żurawiny oraz przyspieszenia procesu odwadniania osmotycznego. Prace te stanowiły część badań realizowanych w ramach projektu Iuventus Plus pt. „Zastosowanie innowacyjnych metod do otrzymania przekąsek owocowych”, którego byłam kierownikiem. Celem projektu było uzyskanie przekąski z żurawiny z wykorzystaniem metod tradycyjnych (cięcie i blanszowanie) i innowacyjnych (sonikacji i zastosowania pulsacyjnego pola elektrycznego).

Żurawina jest surowcem trudnym w obróbce ze względu na obecność skórki, która znacznie ogranicza wymianę masy w takich procesach jak odwadnianie czy suszenie. W celu uszkodzenia

skórki owocu zastosowano tradycyjne obróbki wstępne, polegające na cięciu owoców lub ich blanszowaniu, a następnie tak przygotowany materiał poddawany był odwadnianiu osmotycznemu wspomaganemu sonikacją. Jako roztwór osmotyczny zastosowano 61,5% roztwór sacharozy lub 30% roztwór sacharozy z dodatkiem 0,1% glikozydów stewiolowych, który zapewniał porównywalną intensywność słodkiego smaku. Zastosowanie roztworu osmotycznego o obniżonej zawartości sacharozy z dodatkiem naturalnych słodzików miało na celu uzyskanie przekąski, która będzie się wpisywać w obecne trendy, związane z ograniczeniem spożycia cukru. W tabeli 1 przedstawiono zestawienie przeprowadzonych zabiegów technologicznych. Do zabiegu sonikacji zastosowano ultradźwięki o częstotliwości 21 kHz przez 30 i 60 minut, a ich intensywność wynosiła 3,6 W/g materiału. W trakcie traktowania materiału falami ultradźwiękowymi odnotowywano niewielki wzrost temperatury roztworu osmotycznego (do 1°C).

Tabela 1. Zastosowane kombinowane zabiegi wstępne z wykorzystaniem sonikacji do owoców żurawiny

Rodzaj zabiegu	Oznaczenie materiału	
Żurawina niepoddana zabiegom wstępnym	U	
	Zastosowany roztwór osmotyczny	
	61,5% roztwór sacharozy (SA)	30% roztwór sacharozy z dodatkiem 0,1% glikozydów stewiolowych (S+G)
	Całe owoce żurawiny	
Sonikacja trwająca 30 minut (US_30)	US_30 SA	US_30 S+G
Sonikacja trwająca 60 minut (US_60)	US_60 SA	US_60 S+G
	Zastosowanie tradycyjnych zabiegów wstępnych oraz sonikacji	
	Żurawina cięta (C)	
Sonikacja trwająca 30 minut (US_30)	C+US_30 SA	C+US_30 S+G
Sonikacja trwająca 60 minut (US_60)	C+US_60 SA	C+US_60 S+G
	Żurawina blanszowana (BL) (5 min, 90°C)	
Sonikacja trwająca 30 minut (US_30)	BL+US_30 SA	BL+US_30 S+G
Sonikacja trwająca 60 minut (US_60)	BL+US_60 SA	BL+US_60 S+G

4.3.5.1. Wpływ sonikacji prowadzonej podczas odwadniania osmotycznego na właściwości fizyczne żurawiny

Zmiany właściwości fizycznych całych, ciętych i blanszowanych owoców żurawiny poddanych odwadnianiu osmotycznemu wspomaganemu falami ultradźwiękowymi oceniano na podstawie zmian zawartości suchej substancji, zawartości składników rozpuszczalnych w wodzie (ekstraktu), aktywności wody, objętości owoców i ich gęstości, barwy (H7), tekstury i właściwości termicznych (H5).

Owoce żurawiny charakteryzowały się zawartością suchej substancji na poziomie 12,8%, aktywnością wody wynoszącą 0,940, ekstraktem 9,5 °Bx oraz objętością (mierzoną dla 10 owoców) równą 6,3 cm³ i gęstością 0,86 g/cm³ (H7). Zastosowanie sonikacji całych owoców w roztworze osmotycznym w większości przypadków nie spowodowało istotnych zmian zawartości suchej substancji, ekstraktu oraz objętości i gęstości. Jednak, w przypadku połączenia tradycyjnej obróbki mechanicznej (cięcie) lub termicznej (blanszowanie) z sonikacją zastosowaną podczas odwadniania osmotycznego stwierdzono istotny wzrost zawartości suchej substancji i składników

rozpuszczalnych w wodzie, co wskazywało na poprawę intensywności procesów przenoszenia masy, a jednocześnie związane było z uszkodzeniem skórki owocu. Przykładowo, w ciętej i blanszowanej tkance żurawiny poddanej 60-minutowej sonikacji w 61,5% roztworze sacharozy odnotowano wyższą o odpowiednio 20 (C+US_60_SA) i 21% (BL+US_60_SA) zawartość suchej substancji w odniesieniu do tkanki niepoddanej zabiegom wstępnym. Natomiast zawartość ekstraktu wzrosła z 9,5 °Bx (surowiec) do 17,3 °Bx w przypadku tkanki blanszowanej, a następnie poddanej sonikacji przez 60 minut w roztworze sacharozy (BL+US_60_SA). Próbkę odwadnianą w 30-procentowym roztworze sacharozy z dodatkiem glikozydów stewiolowych charakteryzowały się niższą zawartością suchej substancji i ekstraktu w porównaniu do owoców odwadnianych w stężonym roztworze, co było związane z niższą siłą napędową procesu odwadniania osmotycznego. Ponadto stwierdzono, że odwadnianie osmotyczne poprzedzone cięciem lub blanszowaniem powodowało istotne zmniejszenie objętości w porównaniu do tkanki przed odwadnianiem. Zmiany te związane były z usuwaniem wody podczas procesu odwadniania osmotycznego wspomaganego sonikacją.

Kolejnym parametrem, analizowanym w tkance żurawiny poddanej odwadnianiu wspomaganym sonikacją, była aktywność wody (H7). Żurawina niepoddana obróbce charakteryzowała się aktywnością wody wynoszącą 0,94. Istotne zmniejszenie aktywności wody było obserwowane w przypadku tkanki blanszowanej, co mogło być związane z utratą wody podczas tej obróbki, co zostało potwierdzone przez wzrost zawartości suchej substancji. Dlatego też stwierdzono, że blanszowanie może wydłużyć okres przydatności do spożycia owoców w wyniku zarówno inaktywacji enzymów, jak i obniżenia ich aktywności wody. Natomiast pozostałe rodzaje zastosowanych zabiegów wstępnych, nawet jeśli niektóre z nich prowadziły do zwiększenia zawartości suchej substancji, nie spowodowały istotnego obniżenia aktywności wody w porównaniu z owocami niepoddanymi obróbce wstępnej.

Ważna, z punktu widzenia konsumenta, jest barwa produktu, którą analizowano na podstawie parametrów barwy L^* , a^* , b^* i bezwzględnej różnicy barwy ΔE (H7). Zastosowanie odwadniania osmotycznego wspomaganego sonikacją spowodowało zmianę barwy żurawiny. Analiza bezwzględnej różnicy barwy ΔE w przypadku całych owoców wykazała, że proces odwadniania wspomaganego sonikacją nie wpłynął znacząco na zmianę barwy materiału. Jednak w przypadku materiału ciętego i blanszowanego poddanego sonikacji w roztworze osmotycznym obserwowano większe zmiany barwy, co było prawdopodobnie związane z utlenianiem się składników owoców ciętych jeszcze przed procesem odwadniania oraz utratą barwników podczas blanszowania i sonikacji w roztworze osmotycznym. Należy zwrócić uwagę, że barwa żurawiny poddanej cięciu oraz blanszowaniu, a następnie odwadnianiu osmotycznemu z zastosowaniem wspomaganego falami ultradźwiękowymi uzyskiwała wartości bezwzględnej różnicy barwy na podobnym poziomie.

Dodatkowo, analiza skupień przeprowadzona w oparciu o zmiany zawartości suchej substancji, ekstraktu, aktywności wody, objętości owoców, gęstości, barwy i aktywności antyoksydacyjnej (ABTS) wykazała, że całe owoce poddane sonikacji tworzą jedną grupę z tkanką niepoddaną zabiegom wstępnym, natomiast drugą grupę tworzą owoce blanszowane i poddane zabiegom łączonym, tj. cięcie lub blanszowanie z sonikacją prowadzoną w różnych roztworach osmotycznych (H7).

Oceniano również właściwości mechaniczne na podstawie testu ściskania, prowadzonego do 90% odkształcenia materiału (H5). Żurawina niepoddana obróbce technologicznej charakteryzowała się maksymalną siłą przy 15% odkształceniu, wynoszącą 5,4 N oraz pracą niezbędną do wykonania 15% odkształcenia równą 7,2 mJ. Najniższe wartości maksymalnej siły i pracy ściskania odnotowano w przypadku żurawiny ciętej ze względu na uszkodzenie skórki żurawiny. Natomiast w przypadku blanszowanej próbki, pomimo uszkodzenia skórki owocu, obserwowano niewielkie obniżenie maksymalnej siły i pracy w porównaniu do tkanki przed obróbką, co mogło być związane z usunięciem powietrza z przestrzeni międzykomórkowych i zmianami struktury tkanki. Również w przypadku całych owoców żurawiny poddanych sonikacji przez 30 i 60 minut stwierdzono niewielkie, choć istotne statystycznie, obniżenie maksymalnej siły, natomiast praca potrzebna do odkształcenia owocu była najniższa spośród badanych próbek. Było

to związane z wpływem fal dźwiękowych na modyfikację tanki roślinnej, skutkujące zmniejszeniem sztywności komórek roślinnych (Pieczywek i in., 2017). Największe zmiany właściwości mechanicznych żurawiny zaobserwowano, gdy zastosowano metody kombinowane obejmujące cięcie lub blanszowanie, a następnie sonikację w roztworze osmotycznym (C+US_30, C+US_60, BL+US_30, BL+US_60). W tym przypadku na właściwości mechaniczne miało wpływ zarówno zastosowanie fal dźwiękowych, jak i wnikiwanie składników roztworu osmotycznego do tkanki żurawiny. W wyniku zastosowania sonikacji proces odwadniania osmotycznego był bardziej intensywny, w związku z czym prawdopodobnie nastąpiła utrata turgoru komórki i skurcz protoplastu wraz z jego oddzieleniem od ściany komórkowej (Nieto i in., 2013), co spowodowało zmniejszenie maksymalnej siły ściskania oraz wzrost pracy niezbędnej do ściśnięcia próbki.

W dalszej części pracy **H5** oceniono wpływ sonikacji prowadzonej w roztworach osmotycznych na zmiany właściwości termicznych, tj. przewodności cieplnej właściwej, objętościowego ciepła właściwego i dyfuzyjności cieplnej żurawiny. Właściwości termiczne są jednymi z najważniejszych właściwości fizycznych żywności, gdyż odgrywają bardzo ważną rolę w przypadku procesów opartych na wymianie ciepła. W literaturze brak jest tego typu badań w materiale poddanym sonikacji. Przewodność cieplna właściwa tkanki żurawiny wynosiła 0,352 W/mK i była niższa w porównaniu do wartości tego parametru dla innych produktów pochodzenia roślinnego (Komarov, 2012). Objętościowe ciepło właściwe żurawiny niepoddanej żadnym zabiegom wstępnym wynosiło 3,178 MJ/m³K, natomiast dyfuzyjność cieplna - 0,111 mm²/s. W wyniku przecięcia, tj. przerwania ciągłości skórki owocu żurawiny i dostępu do jej miąższu, nastąpiły największe zmiany właściwości termicznych, powodując wzrost przewodności cieplnej właściwej, objętościowego ciepła właściwego i dyfuzyjności cieplnej żurawiny odpowiednio o 31,5; 6,5 i 23,5%. Z kolei blanszowanie nie wpłynęło znacząco na właściwości cieplne materiału, co związane było z ubytkiem wody z tkanki i niską porowatością analizowanego materiału. Właściwości cieplne materiału poddanego tradycyjnym obróbkom wstępnym i sonikacji z odwadnianiem osmotycznym zależały głównie od tego, która tradycyjna obróbka została zastosowana: cięcie czy blanszowanie. Sonikacja w roztworach osmotycznych całych owoców nie była wystarczająca, by wpłynąć na badane właściwości termiczne. Jednak w przypadku uszkodzenia skórki owocu w wyniku cięcia lub blanszowania nastąpiło w większości przypadków zmniejszenie przewodności cieplnej właściwej i objętościowego ciepła właściwego oraz wzrost dyfuzyjności cieplnej żurawiny. Dane te mogą być wykorzystane przy projektowaniu procesów opartych na wymianie ciepła oraz przy wyjaśnianiu zachowania przetwarzanego materiału podczas takich procesów jak zamrażanie, odwadnianie osmotyczne czy suszenie.

Podsumowując, należy stwierdzić, że sonikacja prowadzona w roztworach osmotycznych ciętej i blanszowanej żurawiny powodowała zmiany właściwości fizycznych, tj. zawartości suchej substancji, ekstraktu, aktywności wody, objętości owoców, barwy, tekstury i właściwości termicznych. Uszkodzenie skórki owoców pozwalało na przechodzenie składników roztworu osmotycznego do tkanki żurawiny. Natomiast odwadnianie osmotyczne wspomagane działaniem fal ultradźwiękowych w przypadku całych owoców żurawiny w większości przypadków nie spowodowało znaczących zmian fizycznych tkanki, z wyjątkiem zawartości ekstraktu. Jednocześnie, przeprowadzona analiza skupień potwierdziła, że niezależnie od zastosowanego roztworu osmotycznego, całe owoce poddane sonikacji tworzą jedną grupę z tkanką niepoddaną zabiegom wstępnym, natomiast drugą grupę tworzą owoce blanszowane i poddane zabiegom łączonym, tj. cięciu lub blanszowaniu oraz sonikacji w różnych roztworach osmotycznych. Ponadto stwierdzono, że istnieje możliwość zastosowania roztworu osmotycznego z dodatkiem glikozydów stewiolowych, jednak z uwagi na zastosowanie niższego stężenia sacharozy, co związane jest z niższą siłą napędową procesu, uzyskiwane są nieco inne właściwości fizyczne niż w przypadku materiału odwadnianego w stężonym roztworze osmotycznym.

4.3.5.2. Wpływ sonikacji prowadzonej podczas odwadniania osmotycznego na właściwości chemiczne żurawiny

Sonikacja w roztworze osmotycznym tkanki żurawiny (całej, ciętej i blanszowanej) spowodowała zmiany właściwości chemicznych, które oceniano na podstawie zmian zawartości witaminy C, polifenoli, flawonoidów, antocyjanów (H6) i aktywności przeciwutleniającej (H6; H7).

Żurawina charakteryzuje się bogatym składem związków bioaktywnych (Neto, 2007). Żurawina niepoddana zabiegom wstępnym charakteryzowała się zawartością witaminy C wynoszącą 25,3 mg/100g ś.m., natomiast zawartość polifenoli oraz antocyjanów wynosiła odpowiednio 42,1 mg GAE/100g s.s. i 735 mg C3G/100 g ś.m. (H6). Ponadto, tkanka żurawiny charakteryzowała się zdolnością przeciwutleniającą wynoszącą 24,1 $\mu\text{m}/100\text{mg}$ s.s. w przypadku rodnika ABTS (H7), natomiast w przypadku rodnika DPPH wartość EC50 wyniosła 23,4 mg s.s./100ml (H6). Wszystkie warianty przeprowadzonych zabiegów wstępnych, tj. cięcie lub blanszowanie, sonikacja i kombinacja tych zabiegów, niezależnie od zastosowanego roztworu osmotycznego, miały negatywny wpływ na zawartość witaminy C. Zastosowanie powyższych wariantów spowodowało degradację witaminy C od 7 do nawet 54%, choć niektóre zmiany nie były istotne statystycznie. Tradycyjne zabiegi wstępne, tj. cięcie oraz blanszowanie, nie spowodowały istotnych statystycznie zmian zawartości polifenoli, flawonoidów i antocyjanów. Pomimo wysokiej temperatury procesu blanszowania nie zaobserwowano znacznego spadku zawartości analizowanych związków, prawdopodobnie z powodu lepszej ich ekstrakcyjności. Analogiczną tendencję zaobserwowano, gdy całe owoce żurawiny poddano sonikacji w roztworach osmotycznych. Jak wspomniano wcześniej, podczas sonikacji zachodzą różne zjawiska, które mogą powodować powstawanie reaktywnych form tlenu, degradację związków bioaktywnych, przechodzenie składników z surowca do otaczającego medium lub też wpływać na lepszą ekstrakcję związków bioaktywnych (Wiktor i in., 2016; Witrowa-Rajchert i in., 2014; Fonteles i in., 2012). Końcowa zawartość składników bioaktywnych jest efektem wszystkich powyższych zjawisk.

Po zastosowaniu tradycyjnych zabiegów wstępnych, takich jak cięcie oraz blanszowanie, skórka żurawiny ulegała uszkodzeniu, w związku z czym fale ultradźwiękowe i roztwór osmotyczny miały lepszy dostęp do miąższu materiału, a to powodowało w większości przypadków degradację polifenoli, antocyjanów i flawonoidów (H6). Ponadto, gdy cięte lub blanszowane owoce poddawano odwadnianiu osmotycznemu wspomaganemu sonikacją w roztworze sacharozy z glikozydami stewiolowymi, obserwowano wyższą zawartość związków bioaktywnych niż w owocach odwadnianych w 61,5% roztworze sacharozy.

Aktywność przeciwutleniającą owoców żurawiny badano z wykorzystaniem rodnika DPPH (H6) oraz ABTS (H7). Materiał cięty oraz blanszowany poddany odwadnianiu osmotycznemu wspomaganemu sonikacją, niezależnie od zastosowanego rodnika, charakteryzował się porównywalną lub nieco obniżoną aktywnością antyoksydacyjną w odniesieniu do tkanki niepoddanej obróbce. W przypadku zastosowania sonikacji do całych owoców żurawiny zmiany aktywności niewiele wzrosły w stosunku do tkanki niepoddanej zabiegom wstępnym, jednak zmiany te nie były istotne statystycznie. Należy zaznaczyć, że aktywność przeciwutleniająca jest kształtowana przez zawartość składników bioaktywnych, m.in. witaminy C, polifenoli, flawonoidów, antocyjanów, i ich zmianami zachodzącymi w czasie prowadzonych procesów technologicznych. W przypadku owoców żurawiny szczególny wpływ na aktywność przeciwutleniającą miała zawartość polifenoli i flawonoidów, co potwierdziła analiza głównych składowych PCA. Zastosowanie odwadniania osmotycznego wspomaganego sonikacją żurawiny ciętej oraz blanszowanej spowodowało zmniejszenie aktywności antyoksydacyjnej tylko w przypadku roztworu sacharozy o wyższym stężeniu. Natomiast sonikacja prowadzona w 30-procentowym roztworze sacharozy z dodatkiem glikozydów stewiolowych w przypadku ciętych lub blanszowanych owoców nie powodowała istotnych zmian aktywności przeciwutleniającej.

Ponadto, analiza skupień przeprowadzona w oparciu o zmiany zawartości witaminy C, polifenoli, flawonoidów, antocyjanów i aktywności antyoksydacyjnej (DPPH) wykazała, że zbliżonymi zawartościami składników bioaktywnych charakteryzują się owoce niepoddane

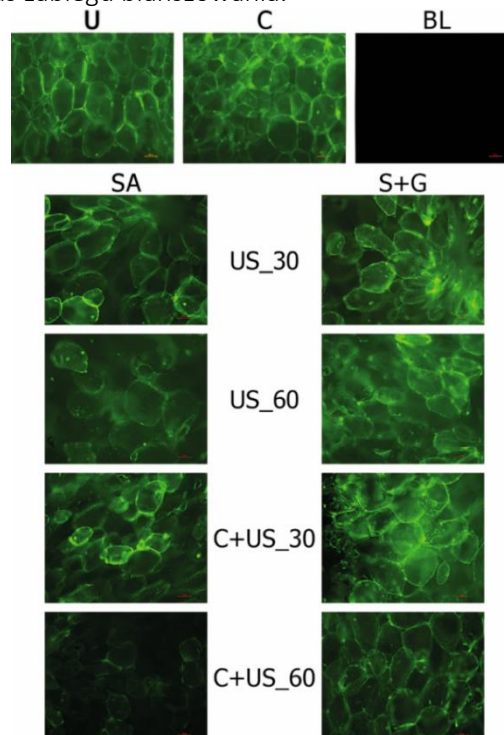
zabiegom wstępnym, całe owoce poddane sonikacji, owoce cięte oraz blanszowane, a także cięte lub blanszowane odwadniane z udziałem ultradźwięków w roztworze sacharozy z dodatkiem glikozydów stewiolowych, tworząc jedną grupę. Natomiast drugą grupę stanowiła żurawina cięta lub blanszowana poddana odwadnianiu osmotycznemu wspomaganemu sonikacją w stężonym roztworze sacharozy (H6).

Reasumując, zastosowanie określonego czasu sonikacji i rodzaju roztworu w przypadku odwadniania osmotycznego wspomaganego falami dźwiękowymi żurawiny ciętej oraz blanszowanej prowadzi do zachowania polifenoli, flawonoidów, antocyjanów czy witaminy C oraz aktywności przeciwutleniającej na poziomie porównywalnym z tkanką niepoddaną zabiegom wstępnym. Ponadto, uzyskane wyniki wskazują, że korzystniejsze pod względem zawartości składników bioaktywnych jest zastosowanie roztworu o obniżonej zawartości sacharozy z dodatkiem glikozydów stewiolowych.

4.3.5.3. Wpływ sonikacji na integralność błony komórkowej tkanki owoców żurawiny

Badanie integralności błony komórkowej żurawiny świeżej, po zastosowaniu zabiegów wstępnych tradycyjnych (cięcia lub blanszowania) oraz z wykorzystaniem sonikacji w roztworach osmotycznych przeprowadzono z wykorzystaniem mikroskopu fluorescencyjnego (H7). Badanie to pozwala na określenie stopnia przeżywalności komórek. W celu wykonania badania tkankę owocu żurawiny zanurzano na 10 minut w izotonicznym roztworze sacharozy z dodatkiem barwnika fluorescencyjnego (dioctan fluoresceiny). Barwnik ten przenika przez protoplast, a następnie ulega hydrolizie w wyniku działania esterazy cytoplazmatycznej, wytwarzając polarny związek fluoresceiny, który jest akumulowany tylko przez żywe komórki (Mauro i in., 2016). Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 1.

Świeża żurawina (U) zawierała żywe komórki, które były widoczne pod mikroskopem fluorescencyjnym jako jasnozielone „świecące” komórki. W przypadku żurawiny poddanej blanszowaniu (BL) nastąpiło całkowite zniszczenie komórek, powodując tym samym ich śmierć. Wszystkie próbki poddane blanszowaniu, a następnie sonikacji również charakteryzowały się brakiem obecności żywych komórek w tkance żurawiny, co związane jest z zastosowaniem wysokiej temperatury podczas zabiegu blanszowania.



Rys. 1. Obraz mikroskopowy tkanki żurawiny, potraktowanej barwnikiem fluorescencyjnym, poddanej zabiegom z wykorzystaniem sonikacji w roztworze osmotycznym

Zastosowanie sonikacji w przypadku całych owoców żurawiny (US_30, US_60) prowadziło do zmian integralności błon komórkowych. W przypadku zastosowania obniżonego stężenia roztworu osmotycznego z dodatkiem glikozydów stewiolowych obserwowano niewielkie zmiany integralności błon komórkowych tkanki żurawiny. Natomiast gdy zastosowano 61,5-procentowy roztwór sacharozy jako medium, w którym prowadzona była sonikacja, stwierdzono, że wraz ze wzrostem czasu zabiegu zmniejszeniu ulegała liczba żywych komórek.

W przypadku zastosowania zabiegów cięcia i sonikacji (C+US_30, C+US_60), stwierdzono większe zmiany żywotności komórek. Wraz ze wzrostem czasu prowadzenia sonikacji w roztworze osmotycznym obserwowano zmniejszenie liczby żywych komórek. Jednocześnie, zastosowanie wyższego stężenia roztworu osmotycznego prowadziło do większych zmian żywotności komórek żurawiny, tak że próbka po 60 minutach sonikacji w 61,5-procentowym roztworze sacharozy charakteryzowała się prawie całkowitą utratą integralności błon komórkowych.

Badanie integralności błony komórkowej żurawiny wykazało, że zastosowanie sonikacji może powodować zmniejszenie żywotności komórek. Jednocześnie należy stwierdzić, że odwadnianie wspomagane falami ultradźwiękowymi spowodowało przyspieszenie procesu odwadniania i skutkowało uszkodzeniami błony komórkowej. Generalnie, wraz ze wzrostem czasu prowadzenia odwadniania osmotycznego wspomaganego sonikacją obserwowano zmniejszenie liczby żywych komórek, przy czym zastosowanie wyższego stężenia roztworu osmotycznego prowadziło do większych zmian żywotności komórek żurawiny.

4.3.6. Wpływ zabiegu sonikacji na zmiany strukturalne tkanek roślinnych

Oddziaływanie ultradźwięków na tkankę roślinną wpływa na zmianę jej struktury, w związku z szeregiem różnych zjawisk zachodzących podczas sonikacji (**H1**; **H2**; **H3**; Fernandes i Rodrigues, 2009; Fernandes i in., 2008). W prowadzonych przez mnie badaniach wykazano powstawanie mikrokanalów oraz zmiany struktury tkanki jabłka (**H1**), kiwi (**H2**) i marchwi (**H3**) pod wpływem przeprowadzonego zabiegu wstępnego z wykorzystaniem sonikacji.

W pracy **H1** przedstawiono strukturę tkanki suszonego konwekcyjnie jabłka, niepoddanego sonikacji, która charakteryzowała się małymi porami i zbitą strukturą, a także stwierdzono uszkodzenia struktury, wynikające z przeprowadzonego procesu suszenia konwekcyjnego w wysokiej temperaturze (Witrowa-Rajchert i Rząca, 2009). Jednak, w przypadku zastosowania sonikacji przed procesem suszenia stwierdzono liczne uszkodzenia komórek i zmiany w strukturze materiału, które były związane z aplikacją ultradźwięków i efektami im towarzyszącymi. Jednocześnie, wraz z dłuższym czasem działania fal dźwiękowych na tkankę jabłka oraz związany z tym wzrost temperatury, w przypadku zastosowania ultradźwięków o częstotliwości 35 kHz, wpłynął na większe uszkodzenia struktury suszonego jabłka. Podobny efekt był obserwowany także przez innych badaczy w przypadku sonikacji ananasa (Fernandes i Rodrigues, 2009), melona (Fernandes i in., 2008) czy jagód (Stojanovic i Silva, 2006).

Podobne zmiany odnotowano w przypadku sonikacji tkanki marchwi (**H3**), która prowadzona była po zapakowaniu materiału w folię pod obniżonym ciśnieniem. Zastosowanie opakowania miało na celu ograniczenie zmian wywołanych oddziaływaniem medium wodnego w trakcie zabiegu sonikacji na tkankę marchwi. Ponadto, w wyniku zastosowania opakowania ograniczono efekt kawitacji i analizowano zmiany wywołane głównie efektem gąbki. Po zastosowaniu zabiegu z wykorzystaniem sonikacji, w celu utrwalenia struktury materiału, tkankę marchwi poddano procesowi liofilizacji (Hammami and René, 1997). Ze względu na budowę marchwi, która składa się z miękiszu tykowego (zewnątrzna tkanka) i części zdrewniałej (środkowa tkanka), wykonano zdjęcia struktury obu rodzajów tkanek, jednak do analizy struktury wybrano tkankę zdrewniałą ze względu na większą jej jednorodność. Dodatkowo przeprowadzono analizę obrazu z wykorzystaniem programu MultiScan.

Tkanka marchwi, niepoddana obróbce z wykorzystaniem fal ultradźwiękowych, charakteryzowała się dużą gęstością oraz niewielkimi porami o nieregularnym kształcie. Zastosowanie sonikacji spowodowało zmiany w strukturze materiału, zależne od zastosowanych

parametrów sonikacji. W wyniku przeprowadzonego zabiegu sonikacji obserwowano tworzenie się mikrokanalów, szczególnie wyraźne przy zastosowaniu krótszego czasu sonikacji, tj. 10 minut. Przeprowadzona analiza obrazu wykazała, że pole przekroju komórek i przestrzeni międzykomórkowych w tkance marchwi poddanej krótszemu czasu sonikacji jest mniejsze w porównaniu z tkanką traktowaną falami dźwiękowymi przez dłuższy czas. Na podstawie przedmiotowych badań stwierdzono, iż mikrokanaly są tworzone na początku procesu sonikacji, a wraz z wydłużającym się czasem zabiegu następuje tworzenie się większych przestrzeni i łączenie się komórek ze sobą. Zastosowanie dłuższej obróbki z wykorzystaniem fal dźwiękowych miało wpływ na zdecydowanie wyraźniejszą zmianę struktury tkanki marchwi. Charakteryzowała się ona zniekształconymi i zniszczonymi komórkami, które łącząc się ze sobą tworzyły duże przestrzenie. Zmiany te szczególnie były zauważalne w marchwi poddanej sonikacji o częstotliwości 21 kHz przez 30 minut oraz o częstotliwości 35 kHz przez 20 oraz 30 minut. Jednocześnie w tych przypadkach, ze względu na znaczne uszkodzenia struktury, w mniejszym stopniu zauważalne było tworzenie się mikroskopijnych kanałów. Należy także zwrócić uwagę, iż zastosowanie sonikacji o częstotliwości 35 kHz powodowało istotny wzrost temperatury wraz z wydłużającym się czasem zabiegu. Ponadto, zmiany struktury w przypadku tkanki marchwi były wywołane głównie bezpośrednim oddziaływaniem ultradźwięków, tj. efektem gąbki, w wyniku ograniczenia możliwości zachodzenia efektu kawitacji poprzez zastosowanie opakowania.

Przeprowadzona analiza obrazu wykazała, iż zastosowanie zabiegu sonikacji powoduje znaczne zmiany wielkości i rozkładu komórek oraz przestrzeni międzykomórkowych. W przypadku tkanki marchwi, niepoddanej obróbce wstępnej, stwierdzono dwie najczęściej występujące wartości pola przekroju komórek, tj. $2\,652\ \mu\text{m}^2$ oraz $4\,084\ \mu\text{m}^2$, a 25% komórek charakteryzowało się powyższymi wartościami pola przekroju. Dodatkowo, na podstawie analizy krzywych skumulowanych stwierdzono, że 50% komórek charakteryzowało się polem przekroju większym lub równym $4\,051\ \mu\text{m}^2$. Porównując rozkład komórek po zastosowaniu zabiegu sonikacji, stwierdzono wyraźne przesunięcie histogramu w prawo, w stronę większych pól powierzchni. W przypadku sonikacji z wykorzystaniem częstotliwości 21 kHz stwierdzono najczęściej występujące pole przekroju komórek wynoszące $5\,945$, $4\,616$ i $30\,047\ \mu\text{m}^2$, gdy sonikację prowadzono przez odpowiednio 10, 20 i 30 minut, co stanowiło odpowiednio 53, 32 i 93% wszystkich komórek. Natomiast zastosowanie sonikacji o częstotliwości 35 kHz spowodowało dalsze przesunięcie histogramu w kierunku jeszcze większych pól powierzchni, uzyskując najczęściej występujące pole przekroju komórek wynoszące $4\,641$, $60\,396$ i $56\,944\ \mu\text{m}^2$ po odpowiednio 10, 20 i 30 minutach sonikacji. W tym przypadku 32, 94 i 95% wszystkich komórek traktowanych falami ultradźwiękowymi o częstotliwości 35 kHz przyjmowało pole przekroju najczęściej występujące. Analiza krzywych skumulowanych wykazała, że 50% komórek tkanki marchwi poddanych sonikacji przyjmowało w przypadku częstotliwości 21 kHz wartości pola przekroju większe niż $5\,626\ \mu\text{m}^2$ (10 minut obróbki), $4\,165\ \mu\text{m}^2$ (20 minut obróbki) oraz $16\,140\ \mu\text{m}^2$ (30 minut sonikacji). Natomiast w przypadku zastosowania fal ultradźwiękowych o częstotliwości 35 kHz uzyskano wartości wynoszące odpowiednio $4\,007$, $16\,169$ i $29\,851\ \mu\text{m}^2$. Analiza obrazu jednoznacznie potwierdziła tworzenie się większych przestrzeni w wyniku zastosowania fal ultradźwiękowych. Stwierdzono także, że zastosowanie określonych parametrów zabiegu sonikacji, tj. czasu i częstotliwości, ma wpływ na zmiany struktury. Większe przestrzenie zaobserwowano przy zastosowaniu częstotliwości 35 kHz w porównaniu z falami o częstotliwości 21 kHz, wraz z wydłużającym się czasem zabiegu.

Podobnie, zastosowanie sonikacji jako zabiegu wstępnego przed procesem odwadniania osmotycznego spowodowało tworzenie się mikrokanalów oraz zmiany struktury tkanki owoców kiwi, co potwierdzone zostało po przeprowadzeniu analizy obrazu w pracy **H2**. W przypadku owoców kiwi zastosowano 10, 20 i 30-minutową sonikację o częstotliwości 35 kHz. Tkanka kiwi została poddana liofilizacji w celu utrwalenia i umożliwienia obserwacji mikrostruktury materiału. Analizowano materiał niepoddany obróbce, odwadniany osmotycznie w 61,5-procentowym roztworze sacharozy przez 30 minut oraz poddany sonikacji przez 10, 20 i 30 minut, a następnie odwadniany osmotycznie przez 30 minut. Dodatkowo, jako próbkę odniesienia oceniano zmiany

w materiale moczonym przez 10, 20 i 30 minut, a następnie odwadnianym osmotycznie przez 30 minut.

W trakcie procesu odwadniania osmotycznego, ze względu na dwukierunkową wymianę masy, może dochodzić do zmian mikrostruktury materiału roślinnego. Przeprowadzone w pracy H2 badania wykazały, że owoce kiwi charakteryzowały się komórkami o przekroju kolistym, natomiast już po 30-minutowym odwadnianiu osmotycznym następowało zniekształcenie komórek i obserwowano ich liczne uszkodzenia. Zastosowanie sonikacji, a następnie odwadniania osmotycznego spowodowało zmiany mikrostruktury kiwi tym większe, im dłużej trwał zabieg wstępny. W przypadku tkanki moczonej, a następnie odwadnianej osmotycznie obserwowano pewne zniekształcenia komórek i niewielkie ich uszkodzenie w porównaniu ze świeżą tkanką kiwi. Przeprowadzona analiza obrazu wykazała, iż moczona i odwadniana tkanka charakteryzowała się istotnie mniejszym polem przekroju komórek w porównaniu do tkanki poddanej sonikacji. To dodatkowo potwierdziło powstawanie podczas sonikacji mikrokanalów w tkance kiwi, przy czym najwyraźniej były one zauważalne przy krótszych czasach sonikacji, podobnie jak w przypadku tkanki marchwi.

Tkanka owoców kiwi, niepoddana zabiegom wstępnym, charakteryzowała się najczęściej występującym polem przekroju komórek wynoszącym $10\ 153\ \mu\text{m}^2$, które stanowiły 41% wszystkich komórek. Po 30 minutach odwadniania osmotycznego następował wzrost najczęściej występującego pola przekroju komórek do $25\ 109\ \mu\text{m}^2$ i 44% wszystkich komórek osiągnęło taką wartość.

W porównaniu do tkanki niepoddanej obróbce wstępnej, zastosowanie sonikacji, a następnie 30-minutowego odwadniania osmotycznego powodowało przesunięcie histogramu w prawo, w stronę większych pól powierzchni. W przypadku zastosowania 10, 20 i 30-minutowej sonikacji uzyskano najczęściej występujące pole przekroju komórek wynoszące odpowiednio $24\ 353$, $21\ 903$ i $35\ 437\ \mu\text{m}^2$, reprezentujące odpowiednio 47, 33 i 38% komórek badanej populacji. Natomiast w przypadku tkanki kiwi moczonej przez 10, 20 i 30 minut, a następnie odwadnianej, obserwowano znacznie niższe wartości najczęściej występujących pól przekroju, które wynosiły odpowiednio $15\ 398$, $11\ 253$ i $23\ 265\ \mu\text{m}^2$, co stanowiło odpowiednio 43, 41 i 46% wszystkich komórek. Dodatkowo, analiza krzywych skumulowanych potwierdziła powyższe ustalenia, wykazując, że 50% komórek kiwi przyjmowało wartości pola przekroju komórek większe niż $13\ 572\ \mu\text{m}^2$, natomiast po procesie odwadniania osmotycznego wartość ta wzrosła do $32\ 230\ \mu\text{m}^2$. W przypadku zastosowania zabiegu sonikacji przed procesem odwadniania połowa badanej populacji komórek przyjmowała wartości większe niż $28\ 020$, $37\ 750$ i $49\ 480\ \mu\text{m}^2$, gdy zabieg trwał odpowiednio 10, 20 i 30 minut. Natomiast po zastosowaniu 10, 20 i 30-minutowego moczenia przed odwadnianiem osmotycznym, 50% komórek przyjmowało pole przekroju większe niż odpowiednio $19\ 910$, $14\ 170$ i $27\ 697\ \mu\text{m}^2$.

Podsumowując, należy stwierdzić, iż zabieg sonikacji, w związku z zachodzącymi zjawiskami, tj. efektem kawitacji, efektem gąbki i zjawiskami im towarzyszącymi, wpływał na zmiany struktury tkanki roślinnej jabłka, kiwi i marchwi. Zastosowanie sonikacji z wykorzystaniem częstotliwości 21 lub 35 kHz zróżnicowało zmiany struktury, powodując większe uszkodzenia tkanki marchwi w przypadku zastosowania częstotliwości 35 kHz. Fale ultradźwiękowe powodowały tworzenie się mikrokanalów, szczególnie na początku oddziaływania fal dźwiękowych, a następnie wraz z wydłużającym się czasem sonikacji prowadziły do uszkodzenia struktury, tworząc większe puste przestrzenie w tkance jabłka, marchwi i kiwi. W przypadku tkanki kiwi w wyniku zwiększonej dwukierunkowej wymiany podczas odwadniania osmotycznego następowały większe zmiany mikrostruktury w porównaniu do odwadnianej tkanki niepoddanej zabiegom wstępnym. W przypadku zastosowania fal dźwiękowych następowało istotne zwiększenie pola przekroju komórek zarówno tkanki marchwi, jak i kiwi, szczególnie przy dłuższym czasie sonikacji (30 minut). Należy podkreślić, iż nieliczne wcześniejsze publikacje ograniczały się jedynie do przedstawienia zdjęć materiału poddanego sonikacji, jednak nie przeprowadzono analizy obrazu, która dodatkowo pozwoliła na liczbowe wyrażenie zmian wymiarów komórek i przestrzeni międzykomórkowych, prowadząc do lepszego zrozumienia zmian zachodzących w mikrostrukturze tkanki roślinnej.

4.3.7. Podsumowanie

Przedstawiony w Osiągnięciu cykl publikacji pozwolił na pogłębienie wiedzy w zakresie zmian mikrostruktury tkanki roślinnej i integralności błony komórkowej pod wpływem zastosowania fal ultradźwiękowych oraz możliwości zastosowania sonikacji w celu modyfikacji przebiegu procesu suszenia oraz odwadniania osmotycznego, a także właściwości fizycznych i chemicznych tkanki roślinnej.

Potraktowanie tkanki roślinnej falami dźwiękowymi prowadzi do powstania szeregu zjawisk, tj. kawitacji, efektu gąbki i zjawisk im towarzyszących, prowadzących do zmian struktury tkanki. W wyniku występowania powyższych zjawisk dochodziło do tworzenia się mikrokanalów, szczególnie na początku trwania zabiegu sonikacji. Wraz z wydłużającym się czasem tego zabiegu następowały większe uszkodzenia tkanki, prowadząc do powstawania pustych przestrzeni. Na podstawie przeprowadzonej analizy obrazu potwierdzono liczbowo zmiany zachodzące w strukturze komórkowej tkanki. Pod wpływem oddziaływania fal dźwiękowych następowało istotne zwiększenie się pól przekroju komórek, szczególnie przy dłuższych czasach prowadzonego zabiegu sonikacji. Dodatkowo wykazano, że zastosowanie różnych częstotliwości ultradźwięków spowodowało zróżnicowanie struktury tkanki marchwi. Dodatkowo wykazano, że zastosowanie zabiegu sonikacji może powodować zmiany w błonie komórkowej tkanki, prowadząc do zmniejszenia żywotności komórek.

Konsekwencją zmian struktury jest intensyfikacja procesów opartych na wymianie masy, w badanym przeze mnie procesie suszenia i odwadniania osmotycznego. Zastosowanie zabiegu sonikacji wpłynęło na skrócenie czasu suszenia tkanki jabłka nawet o 40%, co wskazuje na możliwość zmniejszenia zużycia energii, przy niewielkich nakładach energetycznych zabiegu sonikacji, oraz ograniczenia procesów utleniania, zachodzących podczas suszenia. Jednak należy mieć na uwadze, że w przypadku gdy sonikacja tkanki marchwi odbywała się z ograniczeniem efektu kawitacji, nie odnotowano skrócenia czasu suszenia. W związku z powyższym uznano, że pomimo wywołania, głównie przez efekt gąbki, modyfikacji struktury materiału, zmiany te nie były wystarczające do przyspieszenia procesu suszenia marchwi. W przypadku odwadniania osmotycznego stwierdzono, że zastosowanie sonikacji powyżej 10 minut prowadziło do intensyfikacji procesu odwadniania osmotycznego tkanki kiwi, uzyskując większy ubytek wody i przyrost suchej substancji. Podobnie, gdy zastosowano odwadnianie wspomagane ultradźwiękami w przypadku ciętych i blanszowanych owoców żurawiny stwierdzono intensyfikację procesu odwadniania.

W wyniku zastosowania zabiegu sonikacji przed procesem suszenia czy odwadniania osmotycznego lub w trakcie odwadniania osmotycznego nastąpiły zmiany właściwości fizycznych i chemicznych tkanki roślinnej. W przypadku suszonej tkanki jabłka zastosowanie sonikacji przed procesem suszenia spowodowało większy skurcz materiału, przy czym materiał charakteryzował się niższą gęstością i porowatością, a także nastąpiła modyfikacja właściwości rehydracyjnych. W trakcie odwadniania osmotycznego wspomaganego falami dźwiękowymi następowały również zmiany właściwości fizycznych żurawiny, tj. zawartości suchej substancji, ekstraktu, aktywności wody, objętości owoców, barwy, tekstury i właściwości termicznych. Natomiast w przypadku owoców kiwi zastosowanie 20 i 30-minutowej sonikacji wpłynęło na zmniejszenie ilości wody zamarzającej w odwadnianej tkance oraz na niewielkie, ale istotne zmiany stanu wody w poszczególnych strukturach komórkowych tkanki, co mogło mieć wpływ na zmiany tekstury materiału. I tak w przypadku tkanki kiwi poddanej sonikacji stwierdzono mięknięcie tkanki, a następnie w trakcie procesu odwadniania osmotycznego obserwowano wzrost twardości materiału. Dodatkowo, zastosowanie zabiegu sonikacji korzystnie wpłynęło na odwadnianą tkankę owocu kiwi, która charakteryzowała się lepiej zachowaną barwą, co było związane z wyższą zawartością chlorofilu. Ponadto, przy zastosowaniu odpowiednich parametrów zabiegu sonikacji uzyskano także korzystniejszą barwę oraz wyższą zawartość karotenoidów w marchwi świeżej i suszonej, natomiast w odwadnianych osmotycznie owocach żurawiny ciętej lub blanszowanej

zachowana została zawartość polifenoli, flawonoidów, antocyjanów i aktywność antyoksydacyjna na poziomie porównywalnym z tkanką niepoddaną zabiegom wstępnym.

Wykorzystanie sonikacji do przyspieszenia procesu suszenia i odwadniania osmotycznego oraz w przypadku zastosowania określonych parametrów i warunków zabiegów, pozwala na uzyskanie korzystnych zmian właściwości fizycznych i chemicznych, w tym właściwości bioaktywnych tkanki roślinnej. Zastosowanie sonikacji daje możliwość projektowania produktów, np. przekąsek owocowych, charakteryzujących się innymi, często lepszymi właściwościami niż uzyskiwane metodami tradycyjnymi.

Spis literatury:

1. Aadil R.M., Zeng X.A., Han Z., Sun D.W. 2013. Effects of ultrasound treatments on quality of grapefruit juice. *Food Chemistry*, 141, 3201-3206.
2. Abid M., Jabbar S., Wu T., Hashim M.M., Hu B., Lei S., Zeng X. 2014. Sonication enhances polyphenolic compounds, sugars, carotenoids and mineral elements of apple juice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(1), 93-97.
3. Awad T.S., Moharram H.A., Shaltout O.E., Asker D., Youssef M.M. 2012. Applications of ultrasound in analysis, processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, 48, 410-427.
4. Bermudez-Aguirre D., Mobbs T., Barbosa-Canovas G.V. 2011. Ultrasound applications in food processing. In: Feng H, Barbosa-Canovas GV, Weiss, editors. *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*. Food Engineering Series, New York: Springer, 65-105.
5. Blumberg B.J., Camesano A.T., Cassidy A., Kris-Etherton P., Howell A., Manach C., Ostertag M.L., Sies H., Skulas-Ray A., Vita A.J. 2013. Cranberries and their bioactive constituents in human health. *Advances in Nutrition*, 4(6), 618-632.
6. Bondonno N.P., Bondonno C.P., Ward N.C., Hodgson J.M., Croft K.D. 2017. The cardiovascular health benefits of apples: Whole fruit vs. isolated compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 69, Part B, 243-256.
7. Cao X., Cai C., Wang Y., Zheng X. 2018. The inactivation kinetics of polyphenol oxidase and peroxidase in bayberry juice during thermal and ultrasound treatments. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 45, 169-178.
8. Carcel J.A., García-Pérez J.V., Benedito J., Mulet A. 2012. Food process innovation through new technologies: Use of ultrasound. *Journal of Food Engineering*, 110, 200-207.
9. Chemat F., Rombaut N., Sicaire A-G., Meullemiestre A., Fabiano-Tixier A-S., Abert-Vian M. 2017. Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 540-560.
10. Cheng X., Zhang M., Xu B., Adhikari B., Sun J. 2015. The principles of ultrasound and its application in freezing related processes of food materials: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 27, 576-585.
11. Chua K.J., Chou S.K. 2003. Low-cost drying methods for developing countries. *Trends in Food Science & Technology*, 14(12), 519-528.
12. Dadan M., Rybak K., Nowacka M., Wiktor A., Witrowa-Rajchert D. 2017. Optymalizacja metodą płaszczyzn odpowiedzi suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego liści pietruszki poddanych działaniu ultradźwięków oraz obróbce parą wodną. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 589, 15-25.
13. de São José J.F.B., de Andrade N.J., Ramos A.M., Vanetti M.C.D., Stringheta P.C., Chaves J.B.P. 2014. Decontamination by ultrasound application in fresh fruits and vegetables. *Food Control*, 45, 36-50.
14. El-Aouar A.A., Azoubel P.M., Xidieh Murr F.E. 2003. Drying kinetics of fresh and osmotically pre-treated papaya. *Journal of Food Engineering*, 59(1), 85-91.
15. Fenandes F.A.N., Rodrigues S. 2009. Effect of osmosis and ultrasound on pineapple cell tissue structure during dehydration. *Journal of Food Engineering*, 90, 186-190.
16. Fenandes F.A.N., Gallão M.I., Rodrigues S. 2008. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: Melon dehydration. *LWT – Food Science and Technology*, 41, 604-610
17. Fernandes F.A.N., Rodrigues S. 2007. Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: dehydration of banana. *Journal of Food Engineering*, 82, 261-267.
18. Fonteles T.V., Costa M.G.M., de Jesus A.L.T., de Miranda M.R.A., Fernandes F.A.N., Rodrigues S. 2012. Power ultrasound processing of cantaloupe melon juice: effects on quality parameters. *Food Research International*, 48, 41-48.
19. Garcia-Noguera J., Oliveira F.I.P., Gallão M.I., Weller C.L., Rodrigues S., Fernandes F.A.N. 2010. Ultrasound-Assisted Osmotic Dehydration of Strawberries: Effect of Pretreatment Time and Ultrasonic Frequency. *Drying Technology*, 28, 294-303.
20. García-Pérez J.V., Cárcel J.A., Riera E., Mulet A. 2009. Influence of the applied acoustic energy in the drying of carrots and lemon peel. *Drying Technology*, 27, 281-287.
21. García-Pérez J.V., Cárcel J.A., Benedito J., Mulet A. 2006. Power ultrasound mass transfer enhancement in food drying. *Food and Bioprocesses Processing*, 85(C3), 247-254.
22. Hammami C., René F. 1997. Determination of Freeze-drying Process Variables for Strawberries. *Journal of Food Engineering*, 32, 133-154.

23. Heinonen I.M., Meyer A.S. 2002. Antioxidants in fruits, berries and vegetables. Fruit and vegetable processing - Improving quality (ed. W. Jongen), Woodhead Publishing Ltd and CRC Press, LLC, Cambridge, chapter 3, (<http://www.foodnetbase.com>).
24. Jambrak A.R., Mason T.J., Paniwnyk L., Lelas V. 2007. Accelerated drying of button mushrooms, Brussels sprouts and cauliflower by applying power ultrasound and its rehydration properties. *Journal of Food Engineering*, 81, 88-97.
25. Kek S.P., Chin N.L., Yusof Y.A. 2013. Direct and indirect power ultrasound assisted pre-osmotic treatments in convective drying of guava slices. *Food and Bioproducts Processing*, 91, 495-506.
26. Kentish S., Ashokkumar M. 2011. The physical and chemical effect of ultrasound. W: H. Feng, G.V. Barosa-Canovas, J. Weiss (ed.), *Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing*. LLC, New York, 1-12.
27. Knorr D., Zenker M., Heinz V., Lee D.-U. 2004. Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends Food Science and Technology*, 15, 261-266.
28. Kobuz Z. 2006. Zmiany temperatury miazgi marchwiowej podczas procesu sonifikacji. *Inżynieria Rolnicza*, 7, 255-260.
29. Komarov V.A. 2012. *Handbook of dielectric and thermal properties of materials at microwave frequencies*. Great Britain, Artech House.
30. Leonelli C., Mason T.J. 2010. Microwave and ultrasonic processing: Now a realistic option for industry. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 49, 885-900.
31. Leunda M.A., Guerrero S.N., Alzamora S.M. 2000. Color and chlorophyll content changes of minimally processed kiwifruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, 24(1), 17-38
32. Lewicki P.P. 2006. Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17(4), 153-163.
33. Maskan M. 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48, 177-182.
34. Mason T.J., Riera E., Vercet A.Q., Lopez-Buesa P. 2005. Application of ultrasound. W: *Emerging Technologies for Food Processing* (ed. D.W. Sun), Elsevier Ltd., London 2005, 323-351.
35. Mauro M.A., Dellarosa N., Tylewicz U., Tappi S., Laghi L., Rocculi P., Dalla Rosa M. 2016. Calcium and ascorbic acid affect cellular structure and water mobility in apple tissue during osmotic dehydration in sucrose solutions. *Food Chemistry*, 195, 19-28.
36. McClements D.J. 1995. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing, *Trends in Food Science & Technology*, 6, 293-299.
37. Miano A.C., Ibarz A., Augusto P.E.D. 2016. Mechanisms for improving mass transfer in food with ultrasound technology: Describing the phenomena in two model cases. *Ultrasonics Sonochemistry*, 29, 413-419.
38. Midilli A., Kucuk H., Yapar Z. 2002. A new model for single layer drying. *Drying Technology*, 20, 1503-1513.
39. Monks L.M., Rigo A., Mazutti M.A., Oliveira J. V., Valduga E. 2013. Use of chemical, enzymatic and ultrasound-assisted methods for cell disruption to obtain carotenoids. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2(2), 165-169.
40. Musielak G., Mierzwa D., Kroehnke J. 2016. Food drying enhancement by ultrasound - A review. *Trends in Food Science & Technology*, 56, 126-141.
41. Neto C.C. 2007. Cranberry and blueberry: Evidence for protective effects against cancer and vascular diseases. *Molecular Nutrition & Food Research*, 51, 652-664.
42. Nieto A.B., Vicente S., Hodara K., Castro M.A., Alzamora S.M. 2013. Osmotic dehydration of apple: Influence of sugar and water activity on tissue structure, rheological properties and water mobility. *Journal of Food Engineering*, 119, 104-114.
43. Nowacka M., Witrowa-Rajchert D. 2011. Innowacyjne procesy wstępne stosowane przed suszeniem owoców i warzyw. *Przemysł Spożywczy*, 9, 34-38.
44. Nowacka M., Witrowa-Rajchert D. 2011. Procesy wstępne stosowane przed suszeniem owoców i warzyw. *Przemysł Spożywczy*, 6, 36-38.
45. Ojha K.S., Kerry J.P., Tiwari B.K., O'Donnell C. 2016. Freezing for Food Preservation. *Encyclopedia. Reference Module in Food Science*.
46. Ortuño C., Pérez-Munuera I., Puig A., Riera E., Garcia-Perez J.V. 2010. Influence of power ultrasound application on mass transport and microstructure of orange peel during hot air drying. *Physics Procedia*, 3, 153-159.
47. Panarese V., Laghi L., Pisi A., Tylewicz U., Dalla Rosa M., Rocculi P. 2012. Effect of Osmotic Dehydration on Actinidia Deliciosa kiwifruit: a Combined NMR and Ultrastructural Study. *Food Chemistry*, 132, 1706-1712.
48. Rodrigues S., Fernandes F.A.N. 2007. Use of ultrasound as pretreatment for dehydration of melons. *Drying Technology*, 25, 1791-1796.
49. Rząca M., Witrowa-Rajchert D. 2007. Wpływ parametrów suszenia konwekcyjno-mikrofalowego na aktywność przeciwnadciwną jabłek. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 5(54), 220-228.
50. Rząca M., Witrowa-Rajchert D., Tylewicz U., Dalla Rosa M. 2009. Wymiana masy w procesie odwadniania osmotycznego owoców kiwi. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 6 (67), 140-149.
51. Sharma K.D., Karki S., Thakur N.S., Attri S. 2012. Chemical composition, functional properties and processing of carrot – a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49(1), 22-32.

52. Silvina B.L., Balz F. 2004. The increase in human plasma antioxidant capacity after apple consumption is due to the metabolic effect of fructose on urate, not apple-derived antioxidant flavonoids. *Free Radical Biology & Medicine*, 37(2), 201-203.
53. Sledz M., Wiktor A., Nowacka M., Witrowa-Rajchert D. 2017. Drying kinetics, microstructure and antioxidant properties of basil treated by ultrasound. *Journal of Food Process Engineering*, 40, e1227, 1-13.
54. Stojanovic J., Silva J.L. 2006. Influence of Osmoconcentration, Continuous High-Frequency Ultrasound and Dehydration on Properties and Microstructure of Rabbiteye Blueberries. *Drying Technology*, 24, 165-171.
55. WHO 2003. Diet, nutrition and the prevention of chronic diseases: report of a Joint WHO/FAO Expert Consultation. WHO Technical Report Series, No. 916. Geneva: World Health Organization.
56. WHO 2015. Healthy diet. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs394/en/>
57. Wiktor A., Sledz M., Nowacka M., Rybak K., Witrowa-Rajchert D. 2016. The influence of immersion and contact ultrasound treatment on selected properties of the apple tissue, *Applied Acoustics*, 103, 136-142.
58. Witrowa-Rajchert D., Wiktor A., Sledz M., Nowacka M. 2014. Selected emerging technologies to enhance the drying process: A review. *Drying Technology*, 32, 1386-1396.
59. Witrowa-Rajchert D. 2011. Nietermiczne techniki utrwalania stosowane do produkcji żywności projektowanej. W: *Żywność projektowana, Część 1* (red. M. Walczycka, A. Duda-Chodak, G. Jaworska, T. Tarko), Kraków, Polskie Towarzystwo Technologów Żywności, Oddział Małopolski PTTŻ, 186-205.
60. Witrowa-Rajchert D., Rząca M. 2009. Effect of Drying Method on the Microstructure and Physical Properties of Dried Apples. *Drying Technology*, 27, 903-909.
61. Yildirim A., Öner M.D., Bayram M. 2013. Effect of soaking and ultrasound treatments on texture of chickpea. *Journal of Food Science and Technology*, 50(3), 455-465.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Urodziłam się 10 września 1981 r. w Warszawie. Egzamin maturalny zdałam w 2000 r. w I Liceum Ogólnokształcącym im. Bolesława Limanowskiego w Warszawie. W latach 2000-2005 studiowałam kierunek technologia żywności i żywienie człowieka na Wydziale Technologii Żywności Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Pracę magisterską pt: **„Wpływ metody suszenia i przechowywania na jakość suszu jabłkowego”** realizowałam w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji pod kierunkiem Prof. dr hab. Doroty Witrowej-Rajchert. W 2005 r. ukończyłam również roczne Równoległe Studia Pedagogiczne na Wydziale Ekonomiczno-Rolniczym w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego. Po ukończeniu studiów we wrześniu 2005 r. podjęłam pracę w niepełnym wymiarze godzin w Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej w Warszawie w Oddziale Bezpieczeństwa Żywności, Żywienia i Kosmetyków.

Pracę naukową zajmuję się od października 2005 r., kiedy rozpoczęłam studia doktoranckie o specjalności: Technologia żywności, biotechnologia żywności, chemia żywności, inżynieria żywności i ocena jakości żywności przy Wydziale Technologii Żywności SGGW w Warszawie. Pracę doktorską pt. **„Studia nad wykorzystaniem promieniowania podczerwonego i mikrofalowego do suszenia jabłek”** realizowałam w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji pod kierunkiem Prof. dr hab. Doroty Witrowej-Rajchert. Celem pracy było zbadanie zmian wybranych wskaźników jakości suszu jabłkowego, otrzymanego przy zastosowaniu suszenia konwekcyjnego, konwekcyjnego wspomaganego promieniowaniem podczerwonym oraz mikrofalowym, w czasie przechowywania w temperaturze 4, 25 i 40°C. Jakość suszy oceniano na podstawie właściwości ogólnych (skurcz, gęstość i porowatość), strukturalnych, optycznych (barwa i potencjał brązowienia), rekonstrykcyjnych (zdolność pochłaniania wody i kinetyka rehydracji), higroskopijnych (kinetyka i izotermy adsorpcji), mechanicznych, odżywczych (zawartość polifenoli i zdolność przeciwutleniająca) oraz biologicznej aktywności oddechowej i oceny sensorycznej. Suszenie z wykorzystaniem mikrofal oraz promieni podczerwonych skróciło czas suszenia jabłka odpowiednio o 63 i 30%, w porównaniu do suszenia konwekcyjnego, a otrzymane susze charakteryzowały się lepszymi wyróżnikami jakości. Dodatkowo, metoda suszenia różnicowała zdolność przeciwutleniającą, zawartość polifenoli i potencjał brązowienia suszy jabłkowych w większym stopniu niż warunki przechowywania. Odwrotnie w przypadku właściwości higroskopijnych i rekonstrykcyjnych, na które większy wpływ miały warunki przechowywania niż metoda suszenia. Ponadto stwierdzono, iż susz mikrofalowo-konwekcyjny bezpośrednio po suszeniu charakteryzował się najlepszymi właściwościami fizyko-chemicznymi. W trakcie przechowywania następowały w nim jednak największe zmiany, tak że po 12 miesiącach

przechowywania charakteryzował się właściwościami mniej korzystnymi od pozostałych dwóch suszy. Ponadto stwierdzono, że proces z wykorzystaniem promieni podczerwonych jest korzystną metodą uzyskiwania suszonych jabłek zarówno pod względem jakościowym, ich stabilności w trakcie przechowywania oraz niższych kosztów, wynikających z krótszego czasu procesu suszenia. Część powyższych badań było realizowanych w ramach 2-letniego projektu badawczego – grantu promotorskiego finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Wyniki tych badań zostały opublikowane w pracach oryginalnych (Załącznik 4 pkt 2, publikacje A1, D1, D2, D4, D5, D6, D8, D9, D12, D13, D15), przeglądowych (Załącznik 4 pkt 2, publikacja A3) i monografiach (Załącznik 4 pkt 2, publikacje D3, D11).

Podczas studiów doktoranckich brałam udział w intensywnym programie „Food and health” odbywającym się w Uniwersytecie Nauk Rolniczych i Medycyny Weterynaryjnej w Rumunii oraz odbyłam **3-miesięczny staż naukowy w Uniwersytecie Bolońskim we Włoszech**. W Uniwersytecie w Bolonii we Włoszech prowadziłam doświadczenia dotyczące odwadniania osmotycznego owoców kiwi zielonego i żółtego, uwzględniające analizę wymiany masy w tym procesie oraz badania stanu wody w materiale. Celem tej pracy było porównanie kinetyki odwadniania kiwi zielonego z żółtym oraz zbadanie zmian jakościowych, zachodzących podczas procesu. Zakres badań obejmował wpływ odmiany owocu na zmiany ubytków masy, zawartości wody, ubytków wody, przyrostu masy suchej substancji, zmiany barwy i właściwości mechanicznych w czasie odwadniania osmotycznego. Wyniki powyższych badań zostały opublikowane w pracach oryginalnych (Załącznik 4 pkt 2, publikacje A2, D10) i popularno-naukowych.

Podczas wykonywania pracy doktorskiej zostałam trzykrotnie nagrodzona stypendium Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie za osiągnięcia naukowe. Ponadto, za wyniki badań wykonanych w ramach mojej pracy doktorskiej oraz w ramach stażu naukowego w Uniwersytecie Bolońskim otrzymałam Nagrodę JM Rektora SGGW Zespołową III stopnia. W dniu 12.11.2009 r. **uzyskałam stopień doktora nauk rolniczych** w zakresie technologii żywności i żywienia, a moja praca doktorska została wyróżniona przez Radę Wydziału Nauk o Żywności Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

W grudniu 2009 r. zostałam **zatrudniona w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji** Wydziału Nauk o Żywności SGGW w Warszawie na stanowisku asystenta, a rok później adiunkta. Po rozpoczęciu pracy kontynuowałam tematykę badawczą, związaną z wpływem metody i parametrów suszenia na uzyskane właściwości gotowego suszu, jednocześnie poszukując nowych kierunków własnego rozwoju. W dalszej pracy naukowej skupiłam się na zastosowaniu obróbki wstępnej z wykorzystaniem ultradźwięków oraz pulsacyjnego pola elektrycznego w celu zmian właściwości tkanki roślinnej oraz wspomaganie operacji oraz procesów jednostkowych, opartych na wymianie masy i ciepła.

W obszarze moich zainteresowań naukowych można wyróżnić następujące kierunki badawcze:

- 5.1. Wpływ metody i parametrów suszenia na właściwości fizyczne i chemiczne suszonej tkanki roślinnej oraz stabilność przechowalniczą suszonych produktów
- 5.2. Niekonwencjonalne metody obróbki wstępnej z wykorzystaniem ultradźwięków w celu zmian właściwości tkanki roślinnej oraz wspomaganie operacji oraz procesów jednostkowych
- 5.3. Niekonwencjonalne metody obróbki wstępnej z wykorzystaniem pulsacyjnego pola elektrycznego w celu zmian właściwości tkanki roślinnej oraz wspomaganie operacji oraz procesów jednostkowych
- 5.4. Bezpieczeństwo opakowań przeznaczonych do kontaktu z żywnością oraz nowe trendy w opakownictwie

5.1. Wpływ metody i parametrów suszenia na właściwości fizyczne i chemiczne suszonej tkanki roślinnej oraz stabilność przechowalnicza suszonych produktów

Tematyką związaną z wpływem metody i parametrów suszenia na właściwości fizyczne i chemiczne uzyskanego suszu oraz zmianami produktów zachodzących w trakcie przechowywania zainteresowałam się przy przygotowywaniu pracy magisterskiej, zgłębiając go podczas realizacji pracy doktorskiej i kontynuując prace w tym zakresie po zatrudnieniu na Uczelni.

Jedną z najczęściej stosowanych w przemyśle spożywczym operacji jednostkowych jest suszenie jako metoda utrwalania żywności. Jednak jest to jednocześnie operacja bardzo energochłonna (Lewicki, 2006). Od wielu lat podejmuje się liczne działania, mające na celu zredukowanie energochłonności oraz emisji gazów cieplarnianych, wprowadzając w życie założenia koncepcji zrównoważonego rozwoju. Zastosowanie niekonwencjonalnych lub kombinowanych (hybrydowych) technik suszenia, np. suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego czy promiennikowo-konwekcyjnego pozwala na skrócenie czasu suszenia (Kowalski i Rajewska, 2009; **Zał. 4 pkt 2, publ. D3, D9**). Działania tego typu, poprzez kształtowanie kinetyki procesu oraz właściwości fizykochemicznych produktu, najczęściej pozytywnie wpływają na rachunek ekonomiczny suszenia. Interesującym rozwiązaniem, demonstrującym duży potencjał związany z redukcją czasu suszenia, jest hybrydowe suszenie dwustopniowe. Technologia ta polega na usunięciu wody z materiału do pewnej wilgotności przy użyciu jednej metody (np. konwekcyjnie) a następnie dosuszeniu przy użyciu innej techniki (np. mikrofalowo czy promiennikowo). Działanie tego typu nie tylko może prowadzić do wyeliminowania wad niektórych metod suszenia, ale umożliwia także stworzenie żywności, charakteryzującej się określoną jakością, tzw. żywności projektowanej (Witrowa-Rajchert 2011).

W związku z prowadzeniem w ramach pracy doktorskiej kompleksowych badań, dotyczących wpływu suszenia konwekcyjnego, mikrofalowo-konwekcyjnego oraz konwekcyjnego wspomaganego promieniowaniem podczerwonym na właściwości fizyczne i chemiczne suszu jabłkowego oraz ich zmiany w czasie przechowywania, postanowiłam zbadać wpływ zastosowania kombinowanych metod suszenia na wybrane właściwości tkanki jabłka. Powyższy cel chciałam osiągnąć, opracowując koncepcję dwustopniowego suszenia z zastosowaniem techniki mikrofalowo-konwekcyjnej i konwekcyjnej (**Zał. 4 pkt 2, publ. D25, D29**). Przedmiotowe badania były prowadzone w ramach nadzorowanych przez ze mnie prac magisterskich. Pierwszy stopień suszenia realizowany był konwekcyjnie (70°C, 2,5 m/s) lub mikrofalowo-konwekcyjnie (300 W, 40°C i 3,5 m/s) do osiągnięcia przez materiał zawartości wody 30 lub 50%. Drugi stopień prowadzono odpowiednio techniką mikrofalowo-konwekcyjną lub konwekcyjną. Zastosowanie hybrydowej, dwustopniowej technologii suszenia mięszu jabłka (w badanym zakresie parametrów) umożliwiło skrócenie czasu suszenia od 14 do 29%, w porównaniu z suszeniem konwekcyjnym. Ponadto stwierdzono, iż zastosowanie metody konwekcyjno-mikrofalowej jako pierwszego stopnia suszenia przyspiesza proces suszenia tkanki jabłka w większym stopniu niż odpowiednie zastosowanie suszenia konwekcyjnego. Jednocześnie sposób suszenia dwustopniowego zdecydowanie wpłynął na właściwości mechaniczne oraz sorpcyjne tkanki jabłka. Maksymalna siła cięcia oraz praca cięcia mieściły się w zakresach odpowiednio 159-222 N i 178-290 mJ. Natomiast względny przyrost masy po 72 h adsorpcji pary wodnej w środowisku o $a_w = 0,75$ wyniósł 11-24%, w zależności od metody suszenia.

Kolejnym badanym przeze mnie zagadnieniem był wpływ metody i parametrów suszenia na wybrane właściwości fizyczne i/lub chemiczne tkanki roślinnej o różnej charakterystyce, tj. suszonego jabłka (**Zał. 4 pkt 2, publ. D18**), marchwi i ziemniaka (**Zał. 4 pkt 2, publ. D14**) oraz ziół (**Zał. 4 pkt 2, publ. D23**).

Stwierdzono (**Zał. 4 pkt 2, publ. D14**), iż wybrane właściwości suszu konwekcyjnego i promiennikowo-konwekcyjnego marchwi i ziemniaka, tj. zawartość suchej substancji, skurcz, gęstość, aktywność wody, właściwości higroskopijne, barwa, zawartość witaminy C (ziemniak) oraz karotenoidów (marchew) uległy zmianom, co potwierdza wpływ metody suszenia na

charakterystykę otrzymanego suszu. Przykładowo, aktywność wody suszonego promiennikowo-konwekcyjnie ziemniaka i marchwi była niższa odpowiednio o 5,8 i 13% w stosunku do aktywności wody materiału bezpośrednio po suszeniu konwekcyjnym. Ponadto, podczas suszenia ziemniaka zarówno metodą konwekcyjną, jak i promiennikowo-konwekcyjną, nastąpiło zmniejszenie jasności materiału. Dodatkowo, susze uzyskane przy wykorzystaniu promieni podczerwonych charakteryzowały się znacznie większą zdolnością pochłaniania wody niż susze konwekcyjne, co było związane z ich mniejszym skurczem i mniejszą gęstością. Zawartość witaminy C w ziemniaku suszonym promiennikowo-konwekcyjnie była istotnie wyższa (o 15%) niż zawartość w materiale suszonym konwekcyjnie. Natomiast odnotowano mniejszą o 19% zawartość karotenoidów w suszonej promiennikowo-konwekcyjnie marchwi, w porównaniu z suszem konwekcyjnym, co wskazuje, iż rodzaj suszonego materiału ma wpływ na zmiany właściwości chemicznych, w zależności od zastosowanej metody suszenia.

Powyższe wyniki zostały również potwierdzone przez badania zmian zawartości polifenoli i aktywności przeciwutleniającej w jabłkach suszonych metodą konwekcyjną, mikrofalowo-konwekcyjną, promiennikowo-konwekcyjną i sublimacyjną (Zał. 4 pkt 2, publ. D18) oraz zmian zawartości polifenoli w suszonych liściach ziół przy wykorzystaniu różnych parametrów suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego (Zał. 4 pkt 2, publ. D23). W przypadku jabłek największą stabilność badanych wyróżników jakości stwierdzono wśród produktów suszonych sublimacyjnie. Proces suszenia, przebiegający w warunkach tlenowych, szczególnie zachodzący w podwyższonej temperaturze (suszenie konwekcyjne), powodował znaczny rozpad związków polifenolowych, co miało wpływ na zmniejszenie aktywności przeciwutleniającej. Natomiast w przypadku suszenia ziół stwierdzono, że zawartość polifenoli po suszeniu w przypadku oregano uległa nieznacznemu zmniejszeniu (o 21%) w odniesieniu do surowca świeżego, natomiast dużo większy spadek, wynoszący nawet ponad 70%, zaobserwowano podczas suszenia bazylii. W wyniku zastosowania wyższej mocy mikrofal i wyższej temperatury powietrza zachodziły mniejsze straty zawartości polifenoli ogółem w otrzymanych suszach. Niniejsze badania dowodzą także, że przy odpowiednio dobranych parametrach suszenia konwekcyjno-mikrofalowego można uzyskać suszone produkty o wysokiej zawartości związków fenolowych, a wielkość strat tych związków podczas procesu zależy głównie od rodzaju surowca (Zał. 4 pkt 2, publ. D23). Podobne wnioski uzyskano podczas prowadzenia analizy i modelowania kinetyki procesu suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego przy zastosowaniu mocy mikrofal 300 W i temperatury 40°C do otrzymania suszonej pietruszki, bazylii, oregano, lubczyka i mięty, które oceniano po procesie suszenia pod względem barwy, zawartości polifenoli i właściwości sorpcyjnych. Analiza kinetyki procesu suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego nie wykazała znaczących różnic, natomiast stwierdzono istotny wpływ gatunku ziół na analizowane właściwości. Najlepsze zachowanie związków fenolowych, odporność na degradację związków barwnych oraz najwyższą adsorpcję pary wodnej odnotowano w przypadku rodziny selerowatych (*Apiaceae*) – lubczyk i pietruszka. Natomiast gorsze badane właściwości stwierdzono podczas analizy rodziny *Lamiaceae* (bazylia, oregano, mięta) oraz *Brassicaceae* (pietruszka) (Zał. 4 pkt 2, publ. A7).

Ze względu na wzrost zainteresowania konsumentów suszonymi surowcami roślinnymi oferowanymi w formie przekąsek oraz biorąc pod uwagę to, iż wygląd i smak suszonego produktu ma istotny wpływ na podejmowane decyzje zakupowe (Górecka 2007), przeprowadziłam ocenę jakości suszy, uzyskanych różnymi metodami (konwekcyjną, mikrofalowo-konwekcyjną i promiennikowo-konwekcyjną) z wykorzystaniem analizy sensorycznej (Zał. 4 pkt 2, publ. A5). Analiza sensoryczna przeprowadzana była przez zespół wyszkolonych osób, oceniających barwę, zapach, teksturę, smak i ogólną jakość suszonych jabłek. Badania wykazały, iż najatrakcyjniejsze były susze uzyskane przy zastosowaniu suszenia konwekcyjnego (4,2) i promieniowania podczerwonego (4,1). Susz konwekcyjny był wysoko oceniony ze względu na jego chrupkość i kruchość, natomiast susz promiennikowo-konwekcyjny ze względu na intensywny zapach i smak oraz przyjemny i długotrwały posmak. Nieco niższe oceny uzyskał susz mikrofalowo-konwekcyjny (3,4).

Ponadto, w ramach nawiązanej współpracy z pracownikami Wydziału Chemicznego Politechniki Warszawskiej powyższe wyniki były porównywane z analizą sensoryczną przeprowadzoną za pomocą urządzenia analitycznego tzw. „elektronicznego języka”. Do przeprowadzenia analizy z wykorzystaniem hybrydowego języka elektronicznego niezbędne było wykonanie ekstraktów wodnych z suszy. Język elektroniczny jest systemem opartym na czujnikach potencjometrycznych, woltamperometrycznych, amperometrycznych, konduktometrycznych oraz spektrometrycznych, który pozwala na przeprowadzenie analizy jakościowej i ilościowej próbek. Zastosowanie różnych systemów czujników prowadziło do lepszego różnicowania próbek pod względem zastosowanej metody suszenia. Badania wykazały, iż właściwości suszu tj. barwa, tekstura, a także wyniki smaku i zapachu można określić za pomocą hybrydowego języka elektronicznego z zadowalającą poprawnością. Wyniki niniejszych badań zostały opisane w publikacjach naukowych dostępnych w bazie Web of Science (**Zał. 4 pkt 2, publ. A5**) i na liście B MNiSW (**Zał. 4 pkt 2, publ. D17, D24**).

Zmiany w wyglądzie produktów spożywczych nie tylko wpływają na akceptację konsumencką, ale przede wszystkim są wskaźnikiem przemian chemicznych, które prowadzą do obniżenia wartości sensorycznej i odżywczej. Właściwy dobór warunków przechowywania do określonego rodzaju żywności ma istotne znaczenie i wpływa na bezpieczeństwo żywności oraz jej jakość. Metoda utrwalania żywności, jaką jest suszenie, polega na obniżeniu dostępności wody do przemian chemicznych, fizycznych, a przede wszystkim mikrobiologicznych. Jedną z możliwości zastosowania odpowiednich warunków przetwarzania i przechowywania produktów suszonych jest poznanie właściwości sorpcyjnych suszy, określanych poprzez badanie izoterm adsorpcji pary wodnej. Tego typu badania (**Zał. 4 pkt 2, publ. A4**), polegające na wyznaczeniu izoterm adsorpcji pary wodnej suszy konwekcyjnych, mikrofalowo-konwekcyjnych, promiennikowo-konwekcyjnych i sublimacyjnych marchwi pomarańczowej i purpurowej wykazały, iż susze marchwi purpurowej charakteryzują się większymi równowagowymi zawartościami wody w monowarstwie, w związku z czym potencjalnie są suszami bardziej stabilnymi niż susze marchwi pomarańczowej. Ponadto, wykazano statystycznie istotne różnice równowagowej zawartości wody między suszami otrzymanymi metodą sublimacyjną a pozostałymi. Susze sublimacyjne osiągnęły najwyższe wartości równowagowej zawartości wody, co wskazuje na zwiększone właściwości sorpcyjne marchwi suszonej sublimacyjnie. Natomiast najniższymi wartościami równowagowej zawartości wody charakteryzowały się susze konwekcyjne i promiennikowo-konwekcyjne, co świadczy o ich większej stabilności przechowalniczej, przy ustalonej wilgotności względnej otaczającego powietrza.

Wraz z wydłużeniem czasu przechowywania ilość cennych składników żywności maleje, co zostało potwierdzone w kolejnych prowadzonych przez mnie badaniach (**Zał. 4 pkt 2, publ. A9, D16**). Celem było zbadanie wpływu sposobu dostarczenia ciepła w czasie procesu suszenia na zawartość polifenoli i aktywność przeciwrodnikową tkanki jabłka, na zawartość witaminy C w ziemniaku i karotenoidów w marchwi, oceniane bezpośrednio po suszeniu oraz po określonym czasie przechowywania w różnych temperaturach (4, 25 i 40°C). W przypadku jabłka porównywano 3 metody suszenia, tj. konwekcyjne, mikrofalowo-konwekcyjne i promiennikowo-konwekcyjne, natomiast w przypadku suszenia ziemniaka i marchwi porównywano dwie metody, tj. suszenie konwekcyjne i promiennikowo-konwekcyjne. W trakcie procesu suszenia tkanki jabłka następowało zmniejszenie aktywności antyoksydacyjnej i zawartości polifenoli odpowiednio o 50 i 26% w przypadku suszenia konwekcyjnego, o 33 i 24% w przypadku suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego i o 38 i 20% w przypadku suszenia z wykorzystaniem promieni podczerwonych. Podobnie, suszenie ziemniaka spowodowało istotne zmniejszenie zawartości witaminy C o 55 i 48% w przypadku odpowiednio suszenia konwekcyjnego i promiennikowo-konwekcyjnego. Natomiast suszenie tkanki marchwi nie spowodowało istotnych zmian (suszenie promiennikowo-konwekcyjnego) lub doprowadziło do wzrostu zawartości karotenoidów o 24 % (suszenie konwekcyjne), co związane było prawdopodobnie z rozpadem kompleksów karotenoidów z białkami pod wpływem długotrwałego ogrzewania, w związku z czym są one łatwiejsze w ekstrakcji (Patras i in. 2009).

W trakcie przechowywania składniki bioaktywne, tj. zawartość polifenoli i aktywność antyoksydacyjna w suszonym jabłku, witamina C w suszonym ziemniaku oraz karotenoidy w suszonej tkance marchwi, ulegały dalszemu obniżaniu. Uzyskane wyniki, dotyczące zdolności zmiatania wolnych rodników i zawartości polifenoli, nie pozwalają w sposób jednoznaczny na określenie wpływu temperatury przechowywania na ich zawartość. W czasie przechowywania mogło dochodzić zarówno do powstawania nowych związków o charakterze przeciwutleniaczy, jak również rozkładu związków o właściwościach przeciwutleniających (Kulczak, 2007), co utrudnia zinterpretowanie zależności. Natomiast w przypadku suszonej tkanki ziemniaka i marchwi, wraz ze wzrostem czasu i temperatury przechowywania następowało zwiększenie szybkości rozkładu witaminy C w suszach z ziemniaka i karotenoidów w suszach z marchwi. Jednocześnie zaobserwowano, iż proces degradacji witaminy C oraz karotenoidów zachodził najwolniej w temperaturze przechowywania 4°C. Stwierdzono, iż właściwości produktu w czasie przechowywania zależą w dużym stopniu od zastosowanej metody suszenia, a największą stabilnością składników bioaktywnych w czasie przechowywania charakteryzował się susz promiennikowo-konwekcyjny jabłka oraz ziemniaka, natomiast w przypadku marchwi susz konwekcyjny.

Spis literatury:

1. Górecka D. 2007. Wpływ przetwarzania i przechowywania żywności na jej cechy sensoryczne. W: Zmysły a jakość żywności i żywienia (red. J. Gawęckiego i N. Barytko-Pikielna), Wydawnictwo Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego, Poznań, 75-96.
2. Kowalski S.J., Rajewska K. 2009. Effectiveness of hybrid drying. *Chemical Engineering and Processing*, 48, 2009, 1302–1309.
3. Lewicki P.P. 2006. Design of hot air drying for better foods. *Trends in Food Science & Technology*, 17(4), 153-163.
4. Kulczak M. 2007. Wpływ obróbki termicznej na zawartość przeciwutleniaczy w produktach spożywczych. Obróbka hydrotermiczna suchych nasion strączkowych. W: *Przeciwutleniacze w żywności. Aspekty zdrowotne, technologiczne, molekularne i analityczne* (red. W. Grajek), WNT, Warszawa, 441-452.
5. Patras A., Tiwari B.K., Brunton N.P., Butler F. 2009. Modelling the effect of different sterilization treatments on antioxidant activity and color of carrot slices during storage. *Food Chemistry*, 114, 484-491.
6. Witrowa-Rajchert D. 2011. Nietermiczne techniki utrwalania stosowane do produkcji żywności projektowanej. W: *Żywność projektowana* (red. M. Walczycka, A. Duda-Chodak, G. Jaworska, T. Tarko), Oddział Małopolski PTTŻ, Kraków, 186-205.

5.2. Niekonwencjonalne metody obróbki wstępnej z wykorzystaniem ultradźwięków w celu zmian właściwości tkanki roślinnej oraz wspomaganie operacji oraz procesów jednostkowych

W związku z prowadzeniem w Katedrze na szeroką skalę prac badawczych, dotyczących wpływu innowacyjnej obróbki wstępnej z wykorzystaniem ultradźwięków na zmiany właściwości tkanki roślinnej i jej wpływ na przebieg operacji jednostkowych, takich jak suszenie czy zamrażanie, powstało wiele publikacji o tej tematyce, w których jestem współautorem.

W wyniku dokonania przeglądu literatury powstały publikacje przeglądowe, które charakteryzują różne innowacyjne metody obróbki żywności przed suszeniem, w tym zastosowanie m.in. ultradźwięków (**Zał. 4 pkt 2, publ. A11, D22**). Ponadto, w ramach grantu na zadanie badawcze w ramach wewnętrznego trybu konkursowego w SGGW dla młodego pracownika nauki lub uczestnika studiów doktoranckich (2011 r.) pt. „**Zastosowanie ultradźwięków w celu modyfikacji właściwości tkanki roślinnej**” prowadziłam badania wstępne dotyczące wpływu oddziaływania ultradźwięków na tkankę jabłka, poddawaną procesowi zamrażania, odwadnianiu osmotycznemu, suszeniu i rehydracji. W przypadku procesu suszenia prace te były zbliżone do zakresu badań opublikowanych w artykule H1, z tą różnicą, że surowiec do obróbki przygotowywano w postaci plasterków, a nie jak dotąd w postaci kostek, oraz zastosowano dwie częstotliwości sonikacji. Celem tej pracy było także określenie czy kształt tkanki poddawanej działaniu ultradźwięków będzie miał znaczenie na zmiany kinetyki procesu suszenia i wybrane właściwości tkanki. Jednocześnie, ze względu na zainteresowanie konsumentów

suszonymi przekąskami zastosowanie formy produktu (w postaci plasterków) zbliżonej kształtem do chipsów, uzasadniało podjęcie takich badań.

W ramach prowadzonego grantu wewnętrznego SGGW do badań wykorzystano ultradźwięki o częstotliwości 21 i 35 kHz, które aplikowano przez czas 10, 20 i 30 minut. Analiza tkanki jabłka obejmowała właściwości optyczne (barwa), strukturalne (mikrostruktura, tekstura), analizę zawartości wody i aktywności wody materiału oraz w przypadku suszonej tkanki - właściwości higroskopijne oraz rehydracyjne. Wyniki części tych prac opublikowano w 4 artykułach oryginalnych (**Zał. 4 pkt 2, publ. A16, A19, D30, D33**).

Przeprowadzone badania wykazały, iż zastosowanie ultradźwięków do obróbki plasterków tkanki jabłka spowodowało skrócenie czasu suszenia w zakresie od 5 do 17% i wzrost współczynnika dyfuzji wody podczas procesu suszenia do 6%, w zależności od zastosowanych parametrów obróbki. Większe skrócenie czasu suszenia konwekcyjnego uzyskano po obróbce z wykorzystaniem 21 kHz (skrócenie o 13-17%) niż dla 35 kHz (skrócenie o 5-13%). Jednocześnie, zastosowanie 10 oraz 30-minutowego oddziaływania ultradźwięków było korzystniejsze pod względem skrócenia czasu suszenia niż zastosowanie 20-minutowej obróbki wstępnej (**Zał. 4 pkt 2, publ. A16, A19, D33**). Podobne zależności uzyskano w pracy H1, w której obróbce wstępnej i suszeniu poddawano tkankę jabłka w postaci kostek. W tym przypadku skrócenie czasu suszenia przy zastosowaniu sonikacji o częstotliwości 35 kHz było zdecydowanie większe i wynosiło od 31 do 40% w stosunku do tkanki niepoddanej obróbce wstępnej, a współczynnik dyfuzji wody był większy nawet o 18%.

Ponadto, obróbka ultradźwiękami wpłynęła na właściwości fizyczne, optyczne i rekonstruktoryjne wysuszonej tkanki jabłka. Przeprowadzone badania wykazały, że wszystkie wysuszone próbki charakteryzowały się niską aktywnością wody (poniżej 0,3), co zapewniało bezpieczeństwo mikrobiologiczne żywności. Jednocześnie, dłuższy czas obróbki wstępnej z wykorzystaniem ultradźwięków o częstotliwości 35 kHz powodował spadek twardości wysuszonych plasterków. Jabłka poddane obróbce ultradźwiękami przez 30 minut charakteryzowała mniejsza ilość zaadsorbowanej pary wodnej (**Zał. 4 pkt 2, publ. A19**). Natomiast sonikacja nie miała wpływu na właściwości rehydracyjne w porównaniu z próbą niepoddaną obróbce (**Zał. 4 pkt 2, publ. A16, A19**).

Zastosowanie ultradźwięków o częstotliwości 21 kHz przez 20 lub 30 minut spowodowało istotne zmniejszenie jasności L^* suszy jabłkowych, a także zwiększenie wartości współrzędnych a^* i b^* oraz nasycenia barwy, w porównaniu z suszoną tkanką niepoddaną zabiegom wstępnym. Jednak nie stwierdzono istotnego zróżnicowania wartości bezwzględnej różnicy barwy ΔE pomiędzy suszem poddanym działaniu ultradźwięków i suszem, w którym nie stosowano zabiegów wstępnych (**Zał. 4 pkt 2, publ. D33**). W przypadku zastosowania sonikacji o częstotliwości 35 kHz przez 20 minut także nie stwierdzono różnic w barwie w porównaniu do próbki referencyjnej, jednak zastosowanie obróbki przez 10 i 30 minut powodowało niewielkie zmiany barwy i wzrost bezwzględnej różnicy barwy ΔE do wartości 3,6 (**Zał. 4 pkt 2, publ. A19**).

Ponadto, jabłka traktowane ultradźwiękami przed procesem suszenia konwekcyjnego pod względem właściwości strukturalnych istotnie różniły się od jabłek niepoddanych obróbce wstępnej. Potraktowanie materiału przed suszeniem ultradźwiękami spowodowało zmiany w strukturze morfologicznej tkanki jabłka suszonego, co zostało zaobserwowane podczas analizy zdjęć wykonanych elektronowym mikroskopem skaningowym. Suszona tkanka jabłka niepoddana obróbce wstępnej ultradźwiękami charakteryzowała się małymi porami i dużą gęstością. Natomiast w przypadku zastosowania oddziaływania ultradźwięków na materiał, który następnie poddano suszeniu konwekcyjnemu, stwierdzono większe pory, mniejszą gęstość, a także rozerwanie struktury wewnętrznej tkanki jabłka, co miało prawdopodobnie wpływ na przyspieszenie procesu suszenia (**Zał. 4 pkt 2, publ. A19**).

Biorąc pod uwagę skrócenie czasu procesów technologicznych, związane ze zmniejszeniem nakładów energetycznych, przy nieznacznym zużyciu energii podczas obróbki ultradźwiękowej, a jednocześnie niewielkie zmiany badanych właściwości tkanki jabłka, można stwierdzić, że zastosowanie wstępnej obróbki ultradźwiękowej jest uzasadnione.

W ramach realizacji grantu wewnętrznego SGGW, oceniając wpływ wstępnego oddziaływania ultradźwięków na przebieg procesu zamrażania tkanki jabłka badano zużycie energii elektrycznej, celem określenia ekonomicznych aspektów ich zastosowania (**Zał. 4 pkt 2, publ. D33**). Zastosowanie obróbki wstępnej z wykorzystaniem ultradźwięków wpłynęło na skrócenie czasu zamrażania do temperatury -20°C o 7-25%, w porównaniu z tkanką niepoddaną obróbce. Stwierdzono, iż skrócenie procesu zamrażania i nieznaczne zużycie energii podczas działania ultradźwięków pozwala na zmniejszenie nakładów energetycznych potrzebnych do przeprowadzenia tego procesu. Jednak należy mieć na uwadze, iż obróbka ultradźwiękami nie jest obojętnym procesem i również może wpływać na zmiany właściwości tkanki roślinnej, tj. barwę, teksturę czy zmiany zawartości składników bioaktywnych (**H1**), co należy mieć na uwadze, stosując obróbkę wstępną ultradźwiękami.

W związku z tym, że jestem promotorem pomocniczym pracy doktorskiej mgr inż. Aleksandry Fijałkowskiej pod roboczym tytułem „Zastosowanie ultradźwięków jako metody obróbki wstępnej tkanki roślinnej przed procesem suszenia” i byłam promotorem pomocniczym pracy doktorskiej mgr inż. Magdaleny Dadan pt. „Badanie wpływu ultradźwięków oraz blanszowania parą wodną jako zabiegów wstępnych przed suszeniem mikrofalowo-konwekcyjnym wybranych ziół” (obrona pracy 06.10.2016 r.) oraz jako osoba doświadczona w badaniach nad zastosowaniem ultradźwięków, służąc swoją wiedzą i umiejętnościami, brałam udział w tworzeniu oryginalnych publikacji (**Zał. 4 pkt 2, publ. A7, A15, A18, A20, D42, D43, D46**).

W ramach badań prowadzonych przez mgr inż. Aleksandrę Fijałkowską określono wpływ ultradźwięków jako zabiegu wstępnego na kinetykę suszenia konwekcyjnego tkanki buraka ćwikłowego i zużycie energii w tym procesie. Analizowano również wpływ obróbki wstępnej na zawartość suchej substancji, barwę i zawartość barwników betalainowych. Wykazano, że obróbka wstępna ultradźwiękami o częstotliwości 21 oraz 35 kHz wpłynęła na istotne zmniejszenie zawartości suchej substancji w świeżej tkance buraka, co było spowodowane ubytkiem rozpuszczalnych składników tkanki i wnikaniem wody do wnętrza próbek. Zastosowanie obróbki wstępnej ultradźwiękami wpłynęło na skrócenie czasu suszenia plastrów buraka od 4,5 do 9 %, w porównaniu z tkanką niepoddaną zabiegom wstępnym, co doprowadziło do istotnego zmniejszenia o 11-14 % nakładów energetycznych niezbędnych do wysuszenia materiału (**Zał. 4 pkt 2, publ. D42, D43**). Jednocześnie nieco korzystniejsze wyniki suszenia uzyskano w przypadku tkanki poddanej sonikacji o częstotliwości 21 kHz (**Zał. 4 pkt 2, publ. D43**). Niezależnie od zastosowanych parametrów obróbki wstępnej, fale ultradźwiękowe wpłynęły na istotne zmiany barwy suszu, zwiększając jasność plastrów buraka i zmniejszając udział barwy czerwonej i żółtej. Zmiana barwy związana jest ze zmianami związków barwnych zawartych w buraku. W trakcie procesu obróbki ultradźwiękami barwniki są wypłukiwane z tkanki w wyniku przechodzenia składników rozpuszczalnych w wodzie do otaczającego środowiska, w którym prowadzona jest sonikacja. Z drugiej strony, obróbka ultradźwiękami wpływa na lepszą ekstrakcję składników zawartych w tkance (Tao i in., 2014). Końcowa zawartość betalain jest wypadkową tych dwóch zjawisk. W tkance świeżej poddanej sonikacji o częstotliwości 35 kHz przez 30 minut odnotowano istotnie niższą zawartość betalain, natomiast zastosowanie ultradźwięków o częstotliwości 21 kHz przez 20 minut wpłynęło na istotne zwiększenie ilości barwników żółtych i czerwonych. Pomimo strat barwników betalainowych, związanych z ich degradacją termiczną w procesie suszenia, w suszonej tkance buraka poddanej działaniu ultradźwięków o częstotliwości 35 kHz nie stwierdzono istotnych zmian zawartości barwników betalainowych, a w przypadku zastosowania sonikacji o częstotliwości 21 kHz odnotowano istotnie większą zawartość czerwonego (o 23-27%) i żółtego barwnika (o 24-35 %) w porównaniu z próbką niepoddaną obróbce wstępnej, co może świadczyć, że działanie fal ultradźwiękowych ułatwia ekstrakcję barwników z tkanki (**Zał. 4 pkt 2, publ. D42, D43**).

Badania prowadzone przez dr inż. Magdalenę Dadan dotyczyły wpływu ultradźwięków stosowanych przed suszeniem mikrofalowo-konwekcyjnym liści bazylii i analizy procesu pod względem energochłonności oraz zawartości polifenoli, aktywności antyoksydacyjnej i zmian w strukturze suszonego materiału (**Zał. 4 pkt 2, publ. A18**). W pracy wykorzystano do obróbki dwie

częstotliwości ultradźwięków (21 i 35 kHz) stosowane przez 20 i 30 minut. Aplikacja ultradźwięków skróciła czas suszenia bazylii nawet o 20%, obniżając specyficzne zużycie energii o 26% w przypadku zastosowania sonikacji o częstotliwości 35 kHz przez 20 minut. Ponadto, stwierdzono zmiany struktury wewnętrznej liści bazylii pod wpływem oddziaływania ultradźwięków, objawiające się większymi i wydłużonymi przestrzeniami komórkowymi. Jednocześnie odnotowano wyższą zawartość polifenoli i zachowanie aktywności antyoksydacyjnej w liściach potraktowanych ultradźwiękami o częstotliwości 21 kHz przez 20 min i 35 kHz przez 30 minut, w porównaniu z materiałem niepoddanym obróbce.

W dalszych badaniach, dotyczących wpływu ultradźwięków i blanszowania parą wodną na kinetykę procesu suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego liści pietruszki, skupiono się na analizie procesu pod względem jego energochłonności oraz wybranych właściwości uzyskanego suszu, tj. barwy, zawartości chlorofilu i luteiny (**Zał. 4 pkt 2, publ. A15**). Suszenie mikrofalowo-konwekcyjne prowadzono przy zastosowaniu dwóch mocy mikrofal (100 i 300 W) i przepływie powietrza o prędkości 0,7 m/s oraz o zróżnicowanej temperaturze (20, 30, 40°C). W porównaniu do materiału niepoddanego obróbce, ultradźwięki (21 kHz przez 20 min) przyczyniły się do znacznego skrócenia czasu suszenia o 30%, co wpłynęło na zmniejszenie zużycia energii o prawie 34% w przypadku pietruszki suszonej w temperaturze 30°C i 300 W. W przypadku obróbki liści pietruszki parą wodną przez 3 s największe skrócenie czasu suszenia (o 29%) oraz zmniejszenie specyficznego zużycia energii (o 28%) w odniesieniu do materiału niepoddanego obróbce, odnotowano podczas suszenia z wykorzystaniem mikrofal o mocy 300 W i temperatury 20 °C. Ponadto, blanszowanie i sonikacja przyczyniły się do zwiększenia stabilności barwy, szczególnie przy zastosowaniu wyższej mocy mikrofal. Natomiast zawartość chlorofilu w liściach pietruszki zależała od zastosowanych parametrów suszenia i najwyższą ich zawartość odnotowano, gdy moc mikrofal wynosiła 100 W, a temperatura 30°C. Z kolei luteina wykazała stabilność, niezależnie od zastosowanej obróbki wstępnej i różnych parametrów procesowych suszenia.

Przeprowadzono również optymalizację procesu suszenia liści pietruszki, uwzględniającą rodzaj obróbki wstępnej (blanszowanie, ultradźwięki, moczenie), temperaturę powietrza (20, 30, 40°C) oraz moc mikrofal (100, 200, 300 W) podczas suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego, przy założeniu maksymalnego skrócenia czasu suszenia oraz minimalnego zużycia energii (**Zał. 4 pkt 2, publ. D46**), a także przy założeniu uzyskania produktu charakteryzującego się wysoką zawartością polifenoli, chlorofilu, luteiny i aktywnością antyoksydacyjną (**Zał. 4 pkt 2, publ. A20**). Uzyskane wyniki wskazują, iż energochłonność i czas suszenia były uzależnione od parametrów procesu (moc mikrofal, temperatura powietrza) oraz zastosowanej obróbki wstępnej, przy czym ulegały zmniejszeniu wraz z zastosowaniem większej mocy mikrofal i temperatury powietrza oraz obróbki za pomocą pary wodnej. Zastosowanie ultradźwięków wymaga zastosowania niewielkich nakładów energii, w przeciwieństwie do wysokoenergetycznej obróbki parą wodną, w przypadku której zużycie energii podczas obróbki przekraczało korzyści energetyczne związane ze skróceniem czasu suszenia. Jednocześnie wykazano, iż optymalnymi warunkami przetwarzania liści pietruszki, przy założeniu najmniejszych nakładów energetycznych oraz najmniejszej czasochłonności, jest zastosowanie ultradźwięków oraz suszenie w temperaturze 40°C przy mocy mikrofal wynoszącej 262 W (**Zał. 4 pkt 2, publ. D46**). Natomiast w przypadku optymalizacji procesu suszenia pietruszki ze względu na zawartość wybranych składników chemicznych stwierdzono, iż zastosowanie obróbki parą wodną i suszenia w temperaturze 40°C przy mocy mikrofal 300W jest najkorzystniejsze. Jednocześnie zaobserwowano, że zawartość polifenoli, chlorofilu i aktywność antyoksydacyjna po zastosowaniu obróbki ultradźwiękami oraz parą wodną jest wyższa w porównaniu do próbki referencyjnej, co było prawdopodobnie związane z krótszym czasem suszenia, lepszą ekstrakcją składników zawartych w pietruszce, częściowym inaktywowaniem enzymów i usunięciem powietrza z przestrzeni tkanki (**Zał. 4 pkt 2, publ. A20**).

W związku z moim udziałem jako wykonawca w projekcie LIDER nr 497/L-4/2012 Narodowego Centrum Badań i Rozwoju pt. „Zastosowanie pulsacyjnego pola elektrycznego oraz kombinowanej metody z wykorzystaniem pulsacyjnego pola elektrycznego oraz ultradźwięków do wspomaganego procesu suszenia tkanki roślinnej”, którego kierownikiem w latach 2013-2016 był

dr inż. Artur Wiktor, ukazały się dwie prace, dotyczące wpływu zastosowania sonikacji kontaktowej i immersyjnej na wybrane właściwości tkanki jabłka i marchwi. Analizowano wpływ aplikacji ultradźwięków na barwę, zawartość polifenoli, aktywność antyoksydacyjną oraz konduktywność tkanki jabłka (**Zař. 4 pkt 2, publ. A14**) oraz na właściwości elektryczne i zawartość suchej substancji tkanki marchwi (**Zař. 4 pkt 2, publ. D41**), stosując sonikację kontaktową (24 kHz) i dwie częstotliwości sonikacji immersyjnej (21 i 40 kHz). W przypadku jabłka zastosowano obróbkę ultradźwiękami w zakresie od 5 do 30 minut i wraz z wydłużaniem jej trwania następowały większe zmiany barwy tkanki owocu. Jednocześnie, zastosowanie metody immersyjnej korzystniej wpłynęło na zachowanie barwy produktu w porównaniu z metodą kontaktową, co było związane z brakiem dostępu powietrza. Zastosowanie ultradźwięków, niezależnie od sposobu ich aplikacji, powodowało zwiększenie zawartości polifenoli nawet do 145% oraz aktywności antyoksydacyjnej o 64,5% w porównaniu z tkanką niepoddaną obróbce wstępnej, co było związane z lepszą ekstrakcją składników bioaktywnych z tkanki (Tao i in., 2014). Najwyższą zawartość składników bioaktywnych uzyskano przy zastosowaniu immersyjnej metody obróbki o częstotliwości 40 kHz, niezależnie od czasu sonikacji. Przeprowadzone badania wykazały również, że obie metody sonikacji zasadniczo nie zmieniały przewodności elektrycznej analizowanej tkanki jabłka. Nieco większe zmiany konduktywności elektrycznej odnotowano w przypadku tkanki marchwi poddanej obróbce ultradźwiękami metodą kontaktową, w czasie od 5 do 60 minut (przy czym dla najdłuższego czasu zastosowano 50% współczynnik wypełnienia z ang. duty cycle). Aplikacja ultradźwięków metodą immersyjną nie powodowała na ogół statystycznie istotnych zmian konduktywności elektrycznej. Generalnie należy uznać, iż wpływ ultradźwięków na wartość przewodności elektrycznej nie jest jednoznaczny i zależy od metody ich aplikacji. Podobnie w przypadku zawartości suchej substancji w tkance marchwi charakter zmian zależał od metody aplikacji ultradźwięków. Zastosowanie sonikacji kontaktowej na ogół prowadziło do wzrostu zawartości suchej substancji, co było prawdopodobnie związane z odparowaniem niewielkiej ilości wody podczas obróbki. Natomiast w przypadku zastosowania sonikacji immersyjnej tkanka marchwi charakteryzowała się na ogół mniejszą procentową zawartością suchej substancji, co tłumaczono przenikaniem substancji rozpuszczalnych w wodzie do medium, w którym obróbka była prowadzona.

W ramach współpracy z pracownikami Wydziału Chemicznego Politechniki Warszawskiej oraz kontynuacji badań rozpoczętych w ramach stażu naukowego na Uniwersytecie Bolońskim we Włoszech przeprowadzono analizę sensoryczną soku otrzymanego z owoców kiwi poddanych sonikacji przed procesem odwadniania osmotycznego i próbek moczonych w wodzie (próby referencyjne) (**Zař. 4 pkt 2, publ. D34**). Badania przeprowadzone z wykorzystaniem elektronicznego języka pozwoliły na rozróżnienie próbek soku. Analizy danych uzyskanych za pomocą matryc czujnikowych i wykorzystanie sieci Kohonena umożliwiło rozdzielanie badanych próbek na cztery klasy, tj. kiwi niepoddane obróbce oraz odwadniane (1 klasa), poddane działaniu ultradźwięków (2 klasa), moczone (3 klasa) oraz poddawane moczeniu w wodzie lub obróbce ultradźwiękami, a następnie odwadniane (4 klasa). Wykorzystanie fal ultradźwiękowych wywołuje efekt kawitacji, co powoduje dezintegrację ścian komórkowych i uwalnianie zawartości komórek do środowiska. Jednak ten rodzaj obróbki wstępnej może mieć niekorzystny wpływ na właściwości fizyczne próbek, pojawianie się negatywnych zapachów czy degradację składników odżywczych (Pingret i in., 2013), co zostało potwierdzone przez uzyskane wyniki pomiarów intensywności pól protonowych w cytoplazmie i przestrzeni międzykomórkowej. Ponadto, brak rozróżnienia próbek owoców niepoddawanych obróbce wstępnej oraz odwadnianych osmotycznie może wynikać z niewielkich zmian profilu smakowo-zapachowego ze względu na brak dostępu tlenu w trakcie trwania procesu i zmniejszoną możliwość utleniania próbki (Talens i in., 2003) i/lub w wyniku braku różnic właściwości mierzonych z wykorzystaniem wybranych technik analitycznych. Podobnie było w przypadku próbki poddawanej obróbce wstępnej z wykorzystaniem dwóch technik, tj. ultradźwięków i odwadniania oraz moczenia i odwadniania.

Spis literatury:

1. Talens P., Escriche I., Martinez-Navarrete N., Chiralt A. 2003. Influence of osmotic dehydration and freezing on the volatile profile of kiwi fruit, *Food Research International* 36, 635-642.
2. Pingret D., Fabiano-Tixier A., Chemat F. 2013. Degradation during application of ultrasound in food processing: A review, *Food Control* 31, 593-606.
3. Tao Y., Wu D., Zhang Q.A., Sun D.W. 2014. Ultrasound-assisted extraction of phenolics from wine lees: modeling, optimization and stability of extracts during storage. *Ultrasonic Sonochemistry* 21(2), 706-715.

5.3. Niekonwencjonalne metody obróbki wstępnej z wykorzystaniem pulsacyjnego pola elektrycznego w celu zmian właściwości tkanki roślinnej oraz wspomaganie operacji i procesów jednostkowych

Prace z zakresu wpływu niekonwencjonalnych metod obróbki wstępnej z wykorzystaniem pola elektrycznego (PEF) na tkankę roślinną i operacje jednostkowe prowadziłam głównie jako wykonawca w projekcie LIDER nr 497/L-4/2012 Narodowego Centrum Badań i Rozwoju pt. „Zastosowanie pulsacyjnego pola elektrycznego oraz kombinowanej metody z wykorzystaniem pulsacyjnego pola elektrycznego oraz ultradźwięków do wspomaganie procesu suszenia tkanki roślinnej”. W ramach prowadzonych badań opublikowano prace oryginalne (**Zał. 4 pkt 2, publ. A6, A12, A13, A17, D35, D36, D41**) i przeglądowe (**Zał. 4 pkt 2, publ. A11**).

Wstępne badania, dotyczące wpływu pulsacyjnego pola elektrycznego (PEF) na kinetykę procesu suszenia jabłka, wykazały, iż zastosowanie tego typu obróbki wpłynęło na skrócenie czasu suszenia do 12% w porównaniu do tkanki niepoddanej zabiegowi wstępnemu, co przekładało się na wzrost współczynnika dyfuzji wody nawet o 20%. Aplikacja pulsacyjnego pola elektrycznego o natężeniu w zakresie 5-10 kV/cm oraz liczbie impulsów 10 i 50 powodowała zróżnicowaną dezintegrację komórek, co w konsekwencji wpływało na modyfikację kinetyki procesu (**Zał. 4 pkt 2, publ. A6**). Badania te były podstawą uzyskania ww. grantu. Prowadzone prace w ramach projektu pozwoliły na stwierdzenie, iż aplikacja pulsacyjnego pola elektrycznego prowadzi do wzrostu przewodności elektrycznej i zawartości suchej substancji tkanki marchwi, co prawdopodobnie jest związane z mechanizmem PEF, czyli zjawiskiem elektroporacji (Lebovka i in., 2004). Zniszczenie plazmolemy komórek wiąże się z wyciekaniem substancji wewnątrzkomórkowej, zawierającej zarówno substancje potrafiące przewodzić prąd elektryczny, m.in. sole mineralne (co obserwowane było poprzez wzrost przewodności elektrycznej), jak i wodę (co z kolei wiązało się z większą zawartością suchej substancji próbek poddawanych działaniu PEF) (**Zał. 4 pkt 2, publ. D41**).

Wpływ pulsacyjnego pola elektrycznego, jako innowacyjnej techniki stosowanej przed procesem suszenia, na przyspieszenie procesu suszenia został także scharakteryzowany w pracy przeglądowej (**Zał. 4 pkt 2, publ. A11**).

Kolejne badania, prowadzone w ramach projektu, dotyczyły wpływu PEF na zawartość bioaktywnych składników badanej żywności, jej barwę oraz właściwości mechaniczne i akustyczne (**Zał. 4 pkt 2, publ. A12, A13**). Uzyskane wyniki wskazują, iż zastosowanie określonych parametrów obróbki pulsacyjnym polem elektrycznym (1,85 kV/cm, 10 impulsów) pozwoliło na lepszą ekstrakcję polifenoli z jabłek i karotenoidów z marchwi odpowiednio o 86 i 11%. Aktywność antyoksydacyjna ekstraktów otrzymanych z jabłek niepoddanych obróbce i traktowanych PEF była zbliżona, z wyjątkiem próbek traktowanych 10 impulsami przy natężeniu pola 1,85 kV/cm, w których aktywność wzrosła do 33%. Natomiast zastosowanie wyższego natężenia pola elektrycznego powodowało obniżenie zawartości karotenoidów do 25% (przy zastosowaniu 3 kV/cm i 100 impulsów) i polifenoli oraz aktywności antyoksydacyjnej odpowiednio do 36 i 33% (przy zastosowaniu 5 kV/cm i 100 impulsów). Ponadto, stwierdzono zmiany barwy zarówno tkanki marchwi, jak i jabłka, przy czym wyraźniejsze różnice odnotowano w przypadku jabłka. Bezwzględna różnica barwy po 60 minutach od obróbki PEF mieściła się w zakresie 1,3-3,9 (marchew) i 1,3-21,9 (jabłko) (**Zał. 4 pkt 2, publ. A12**). Dalsze badania wykazały, iż pod wpływem PEF następują zmiany właściwości mechanicznych, elektrycznych i akustycznych jabłek. Siła

ściskania zarejestrowana przy 15% odkształceniu została zmniejszona przez zastosowanie PEF do 72,7% w porównaniu z tkanką niepoddaną obróbce. Liczba zdarzeń akustycznych zarejestrowanych metodą kontaktową była najodpowiedniejszym deskryptorem emisji akustycznej, umożliwiającym odróżnienie materiałów potraktowanych PEF od próbki referencyjnej. Wyniki eksperymentu wskazują, że pomiar emisji akustycznej mierzonej metodą kontaktową może być przydatnym narzędziem do oceny zarówno skuteczności dezintegracji, jak i zmian tekstury spowodowanych zastosowaniem pulsacyjnego pola elektrycznego (**Zał. 4 pkt 2, publ. A13**).

Następnym etapem prac w projekcie była analiza kinetyki procesu suszenia oraz ocena tkanki poddanej suszeniu pod względem zmian właściwości elektrycznych, cieplnych, barwy, i tekstury. W ramach tego zagadnienia na chwilę obecną opublikowano wyniki dotyczące tkanki marchwi. Badania wykazały, iż zastosowanie PEF pozwala na skrócenie czasu suszenia o 8% (5 kV/cm i 10 impulsów) w porównaniu z tkanką marchwi niepoddaną obróbce, co wpływa na wzrost współczynnika dyfuzji wody prawie o 17%. Ponadto stwierdzono, że traktowanie PEF i suszenie wpływa na zmianę barwy, uzyskując niezmiernie lub wyższe wartości parametru barwy L^* i a^* w odniesieniu do tkanki niepoddanej obróbce. Zmiany te są wynikiem mechanizmu pulsacyjnego pola elektrycznego, polegającego na elektroporacji i uwalnianiu treści komórkowych. Dodatkowo bezwzględna różnica barwy świeżej i suszonej marchwi poddanej działaniu PEF potwierdziła, iż obróbka ta powoduje zmiany po ich aplikacji ($\Delta E = 5,4-6,8$) i postępuje w czasie dalszych procesów technologicznych ($\Delta E = 10,7-13,4$). Zdjęcia mikrostruktury suszonego materiału wykazały, iż wstępna obróbka PEF przy zastosowaniu dużego natężenia pola elektrycznego (5 kV/cm, niezależnie od liczby impulsów) spowodowała powstawanie większych przestrzeni w porównaniu do próbki referencyjnej (**Zał. 4 pkt 2, publ. A17, D35, D36**).

Zbadano także wpływ pulsacyjnego pola elektrycznego na proces odwadniania osmotycznego tkanki jabłka. Do obróbki zastosowano różne natężenie pola elektrycznego, wynoszące 5 i 10 kV/cm i liczbę impulsów 10 i 50 (**Zał. 4 pkt 2, publ. A10**). Przeprowadzone badania wskazują, że przeprowadzona obróbka z wykorzystaniem PEF przyspiesza proces odwadniania osmotycznego ze względu na elektroporację błon komórkowych tkanki. Statystycznie istotny wzrost ubytku wody z tkanki jabłka (36-46% w porównaniu do materiału niepoddanego obróbce) poddanej działaniu PEF potwierdza możliwość skrócenia czasu odwadniania osmotycznego, bez konieczności podnoszenia temperatury procesu. W przypadku przyrostu zawartości suchej substancji, wynikającej z wnikania składników roztworu osmotycznego do tkanki, nie stwierdzono istotnych zmian w porównaniu z tkanką niepoddaną obróbce, w związku z czym nie jest możliwe przy zastosowaniu tej metody uzyskanie produktu o niższej zawartości cukrów.

Spis literatury:

1. Lebovka N.I., Praporscic I., Vorobiev E. 2004. Effect of moderate thermal and pulsed electric field treatments on textural properties of carrots, potatoes and apples. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5, 9-16.

5.4. Bezpieczeństwo opakowań przeznaczonych do kontaktu z żywnością oraz nowe trendy w opakownictwie

Kolejnym obszarem moich zainteresowań naukowych jest bezpieczeństwo opakowań przeznaczonych do kontaktu z żywnością. Poszukiwania nowych rozwiązań opakowaniowych w związku z coraz wyższymi wymaganiami konsumentów oraz producentów żywności, a także wymogów środowiskowych powodują, że zagadnienia te zyskują na znaczeniu.

Tematyką związaną z opakowaniami żywności zajmuję się od 2005 r. w związku z rozpoczęciem pracy w Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej w Warszawie. W ramach pracy zawodowej do moich obowiązków należał udział w nadzorze nad produkcją materiałów i wyrobów przeznaczonych do kontaktu z żywnością oraz prowadzenie szkoleń dla powiatowych inspektorów sanitarnych, m.in. w zakresie wymagań prawnych, dotyczących

materiałów i wyrobów przeznaczonych do kontaktu z żywnością. W 2011 r. wzięłam udział w projekcie pn. „Akademia Rozwoju Kard Jednostek Naukowych”, dofinansowanym w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, Priorytet IV Szkolnictwo Wyższe i Nauka, Działanie 4.2. Rozwój kwalifikacji kard systemu B+R i wzrost świadomości roli nauki w rozwoju gospodarczym, w ramach którego odbyłam 6-cio miesięczny staż w Oddziale Laboratoryjnym Higieny Żywności, Żywienia i Przedmiotów Użytku Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej w Warszawie. Pozwoliło mi to zdobyć doświadczenie w pracy badawczej z materiałami i wyrobami opakowaniowymi do żywności. Ponadto, w październiku 2011 r. odbyłam kilkudniowy kurs w zakresie materiałów i wyrobów przeznaczonych do kontaktu z żywnością, organizowany przez Dyрекcję Generalną ds. Zdrowia i Konsumentów Komisji Europejskiej (DG SANTE).

W pracy naukowej dotyczącej opakowań żywności zajmuję się badaniem rynku opakowań w przemyśle spożywczym oraz badaniem właściwości materiałów i wyrobów przeznaczonych do kontaktu z żywnością, w tym określeniem podatności materiałów na zerwanie, pomiarem barwy opakowań, pomiarem przepuszczalności pary wodnej przez opakowania. W ramach współpracy z Katedrą Inżynierii Procesowej Wydziału Inżynierii Produkcji w Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie przeprowadzone zostały badania przepuszczalności pary wodnej folii skrobiowych, wykonanych z różnych mieszanek surowcowych oraz z zastosowaniem zróżnicowanych obrotów ślimaka podczas wytłaczania folii z rozdmuchem (**Zał. 4 pkt 2, publ. D40**). Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że najniższą przepuszczalnością wobec pary wodnej charakteryzowała się folia skrobiowa z 20% zawartością gliceryny oraz 4% dodatkiem alkoholu poliwinylowego, wyprodukowana przy prędkości obrotowej ślimaka 80 obr/min.

Szczególnie ważnym zagadnieniem jest bezpieczeństwo opakowań przeznaczonych do kontaktu z żywnością. Podstawowym zadaniem opakowań jest utrzymanie jakości i zapewnienie bezpieczeństwa produktu spożywczego. Jednak, materiały i wyroby przeznaczone do kontaktu z żywnością stanowią potencjalne źródło substancji, które mogą wpływać szkodliwie na ludzkie zdrowie oraz przyczyniać się do pogorszenia jakości sensorycznej żywności. Innowacyjne opakowania, m.in. opakowania inteligentne i aktywne, niosą wiele nowych możliwości, ale także zagrożeń. Zarówno zagrożenia pochodzące z tradycyjnych opakowań, jak również nowych materiałów

i nowych rozwiązań technologicznych mogą powodować pogorszenie jakości produktu oraz wpływać niekorzystnie na zdrowie człowieka. Dlatego też zajmuję się badaniami migracji składników opakowania do płynów modelowych oraz oceną organoleptyczną opakowań.

Zaangażowanie w tematykę badawczą opakowań do żywności zaowocowało uzyskaniem środków finansowych na realizację w latach 2016-2018 projektu BIOSTRATEG2 (nr BIOSTRATEG2/298537/7/NCBR/2016) pt. „Nowe opakowania z wykorzystaniem surowców odnawialnych i innowacyjnych impregnatów parafinowych”. Jako kierownik jednego z zadań, realizowanego przez Wydział Nauk o Żywności SGGW w Warszawie, jestem odpowiedzialna za przeprowadzenie badań, umożliwiających dopuszczenie nowych opakowań wytworzonych z wykorzystaniem surowców odnawialnych i innowacyjnych impregnatów parafinowych. Powyższe zainteresowania znalazły odzwierciedlenie zarówno w pracach przeglądowych (**Zał. 4 pkt 2, publ. D19, D20, D27, D28, D31, D37, D38, D39, D45**), jak i oryginalnych (**Zał. 4 pkt 2, publ. D40, D44**).

Efektom zainteresowań, związanych z opakowaniem żywności, jest również współpraca z przemysłem i różnymi instytucjami zajmującymi się opakowaniami do żywności.

6. Podsumowanie pracy naukowo-badawczej

Publikacje (oryginalne prace twórcze)	68
w tym:	
publikacje w czasopismach z Web of Science	25
publikacje przeglądowe	21
Cytowania	
według Web of Science	397 (314 bez autoc.)
według Scopus	431
Index Hirsha	11
Sumaryczny Impact Factor	50.485
Suma punktów wg listy MNiSW	1016
Doniesienia konferencyjne	27
Referaty	15
Kierownictwo grantów zewnętrznych	2

Zestawienie oryginalnych prac twórczych

	Liczba	IF	Punkty wg MNiSW	Numer w autoreferacie
Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Web of Science	27	50.485	769	
<i>Przed doktoratem</i>	1	1.048	24	
Drying Technology (2009)	1	1.048	24	A1
<i>Po doktoracie</i>	26	49.437	745	
Applied Acoustics (3x2016)	3	3x1.921 1x1.77	3x30	A14, A15, H3
Drying Technology (2013, 2x2014, 2016)	4	2x1.518 1x1.976	1x35 3x30	A6, A10, A11, A17
Food Biophysics (2011)	1	2.187	30	A2
Food and Bioproducts Processing (2013)	1	2.285	30	A7
Food Chemistry (2014, 2018)	2	1x3.391 1x4.529	2x40	A20, H2
Italian Journal of Food Science (2017)	1	0.556	15	A19
Innovative Food Science & Emerging Technologies (2015, 2016, 2017)	3	1x2.997 1x2.573 1x2.573	3x40	A12, A13, H4
International Journal of Food Engineering (2017)	1	0.685	15	H5
International Journal of Food Properties (2014)	1	0.915	20	A9
Journal of Food Engineering (2012)	1	2.276	35	H1
Journal of Food Process Engineering (2016, 2017)	2	2x1.37	2x20	A16, A18
Ultrasonics (2x2018)	2	2x2.327	2x30	H6, H7
Sensors & Actuators B: Chemical (2013)	1	3.84	40	A5
Żywność. Nauka. Technologia. Jakość (2x2012, 2013)	3	2x0.19 0.311	3x15	A3, A4, A8

	Liczba	IF	Punkty wg MNIŚW	Numer w autoreferacie
Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się na liście B MNIŚW	37		213	
Przed doktoratem	8		32	
Acta Agrophysica (2x2007)	2		2x4	D4, D5
Postępy Techniki Przemysłu Spożywczego (2008)	1		4	D8
Przemysł Spożywczy (2007)	1		4	D7
Żywność. Nauka. Technologia. Jakość (2006, 2007, 2x2009)	4		4x4	D2, D6, D9, D10
Po doktoracie	29		181	
Acta Agrophysica (3x2010, 2011, 2013)	5		3x6 1x5 1x7	D13, D14, D15, D16, D30
Gospodarka Mięsna (2016)	1		7	D45
Nauki Inżynierskie i Technologie (2012)	1		5	D25
Opakowanie (2x2011, 2x2012, 2013, 2014)	6		4x4 2x5	D19, D20, D27, D28, D32, D38
Postępy Techniki Przemysłu Spożywczego (2011, 2013)	2		1x5 1x4	D18, D31
Proceedings of the Fifth International Conference on Sensing Technology (2011)	1		5	D17
Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny (2013, 2x2014)	3		3x5	D34, D39, D40
Przemysł Spożywczy (3x2011, 2012)	4		4x6	D21, D22, D23, D26
TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture (2014)	1		6	D41
Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych (2010, 2014, 2015, 2017)	4		1x6 1x9 2x13	D12, D42, D43, D48
Żywność. Nauka. Technologia. Jakość (2015)	1		13	D44
	Liczba	IF	Punkty wg MNIŚW	Numer w autoreferacie
Monografie	8		34	
Przed doktoratem	2		6	
Future of Food Engineering (2006)	1		3	D1
Właściwości Fizyczne Suszonych Surowców i Produktów Spożywczych (2007)	1		3	D3
Po doktoracie	6		28	
Chemometria w rozwiązywaniu problemów nauki i praktyki (2014)	1		4	D35
IDS 2014 - 19th International Drying Symposium (2x2014)	2		2x5	D36, D37
IMCS 2012 - The 14th International Meeting on Chemical Sensors	1		5	D24
Wpływ procesów technologicznych na właściwości materiałów i surowców roślinnych (2011)	1		4	D11
Współczesne problemy zarządzania i inżynierii produkcji – żywność i środowisko (2017)	1		5	D47

	Liczba	IF	Punkty wg MNIŚW
SUMA	73	50.485	1016
<i>Przed doktoratem</i>	11	1.048	62
<i>Po doktoracie</i>	62	49.437	954

Po wyłączeniu 7 prac stanowiących szczególne osiągnięcie naukowe (IF = 15.5, MNIŚW = 220), wartość mojego pozostałego dorobku naukowego wynosi IF = 34,985 i MNIŚW = 796 pkt.

Pełna lista moich osiągnięć naukowych oraz popularno-naukowych znajduje się w Załączniku 4 do wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego (Wykaz opublikowanych prac naukowych oraz informacje o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy z instytucjami, organizacjami i towarzystwami naukowymi w kraju i zagranicą oraz działalności popularyzującej naukę).

7. Inne osiągnięcia związane z aktywnością dydaktyczną i organizacyjną

7.1. Działalność dydaktyczna

W 2005 r. ukończyłam **Równoległe Studia Pedagogiczne** na Wydziale Ekonomiczno-Rolniczym Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, które pozwoliły mi się zapoznać z wiedzą natury pedagogicznej. Ponadto po rozpoczęciu pracy jako nauczyciel akademicki, w 2010 r. ukończyłam **Studium Doskonalenia Pedagogicznego**, prowadzone na Wydziale Nauk Humanistycznych SGGW w Warszawie.

Mój średni roczny wymiar godzin dydaktycznych w ostatnich latach wynosił około 270 h, w tym wykłady stanowią obecnie około 20%. Zajęcia dydaktyczne prowadzę lub prowadziłam na Wydziale Nauk o Żywności dla studentów następujących kierunków studiów: technologia żywności i żywienie człowieka, bezpieczeństwo żywności oraz towaroznawstwo, a także na Międzywydziałowym Studium Biotechnologii oraz na Wydziale Nauk Ekonomicznych.

Prowadzone przez mnie zajęcia na Wydziale Nauk o Żywności należą do grupy **przedmiotów obligatoryjnych, jak i fakultatywnych**. Są one kierowane:

- do studentów przed wyborem specjalności (*rysunek techniczny z elementami maszynoznawstwa, maszynoznawstwo przemysłu spożywczego, inżynieria i aparatura przemysłu spożywczego, inżynieria procesowa, inżynieria żywności, aparatura i inżynieria procesów produkcyjnych, właściwości fizyczne produktów spożywczych, gospodarka energetyczna, materiałoznawstwo i inżynieria materiałowa, inżynieria procesów biotechnologicznych*),
- do studentów specjalności inżynieria żywności (*współczesne trendy w nauce o żywności i żywieniu, inżynieria układów wielofazowych żywności, inżynieria procesowa II, projektowanie produktu, odwadnianie i suszenie żywności*).

Zajęcia dla studentów kierunku biotechnologia na Międzywydziałowym Studium Biotechnologii były prowadzone w ramach zajęć oferowanych przed wyborem specjalności (inżynieria procesów biotechnologicznych, przemysłowe procesy biotechnologiczne). Natomiast na Wydziale Nauk Ekonomicznych zajęcia były prowadzone na kierunku Logistyka w ramach przedmiotu fakultatywnego (zapewnienie bezpieczeństwa i jakości produktów w łańcuchu dostaw).

Od roku akademickiego 2013/2014 prowadzę **zajęcia w języku angielskim**, zarówno wykłady, jak i ćwiczenia laboratoryjne dla studentów studiów wymiennych Erasmus+, z przedmiotów pt. Food contact materials / Food packaging, Food safety and risk management i Design Thinking. Ponadto od roku akademickiego 2014/2015 prowadzony jest przedmiot fakultatywny w języku angielskim dla studentów z kierunku technologia żywności i żywienie człowieka pt. „Design Thinking in food technology” w wymiarze 15 h wykładów.

Prowadzone wykłady opracowałam w oparciu o najnowszą literaturę, informacje zdobywane na konferencjach naukowych oraz wyniki i spostrzeżenia wynikające z prowadzonych przeze mnie

badania. Ponadto jestem autorem i współautorem wielu instrukcji do prowadzenia ćwiczeń laboratoryjnych oraz jestem koordynatorem przedmiotu odwadnianie i suszenie żywności. W latach 2014-2015 uczestniczyłam w realizowanym przez Wydział Nauk Ekonomicznych SGGW w Warszawie projekcie „Program doskonalenia dydaktyki SGGW w dziedzinie bioekonomii oraz utworzenia kwalifikacji ‘Młodszy menadżer jakości’”, w ramach którego opracowałam autorski program zajęć i materiałów dydaktycznych do przedmiotu „Zapewnienie bezpieczeństwa i jakości produktów w łańcuchu dostaw” realizowanego w ramach specjalności „łańcuchy dostaw” na kierunku Logistyka.

W czasie pracy na Wydziale Nauk o Żywności byłam opiekunem 3 prac magisterskich oraz promotorem 13 prac magisterskich i 14 prac inżynierskich, a także promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim mgr inż. Magdaleny Dadan „Badanie wpływu ultradźwięków oraz blanszowania parą wodną jako zabiegów wstępnych przed suszeniem mikrofalowo-konwekcyjnym wybranych ziół” (postępowanie zakończone w 2016 r.) oraz w przewodzie doktorskim Aleksandry Fijałkowskiej pt. roboczym „Zastosowanie ultradźwięków jako metody obróbki wstępnej tkanki roślinnej przed procesem suszenia” (w trakcie realizacji).

7.2. Działalność organizacyjna

Obok działalności naukowej i dydaktycznej istotnym elementem mojej aktywności zawodowej jest działalność organizacyjna. Za najważniejsze osiągnięcie uważam pozyskanie środków finansowych w ramach projektu badawczego Iuventus Plus IP2014 033173 pt. „Zastosowanie innowacyjnych metod do otrzymania przekąsek owocowych”, w którym jestem kierownikiem oraz projektu BIOSTRATEG II finansowanego przez NCBR w ramach Programu „Środowisko naturalne, rolnictwo i leśnictwo” pt. „Nowe opakowania z wykorzystaniem surowców odnawialnych i innowacyjnych impregnatów parafinowych”, w którym byłam kierownikiem zadania.

W ramach działalności organizacyjnej corocznie biorę aktywny udział w organizacji Dni SGGW, w tym w 2014 r. jako koordynator z ramienia Katedry Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji. Ponadto brałam udział w przygotowywaniu konferencji organizowanej przez zespół Katedry tj. IV Sympozjum Inżynierii Żywności.

W 2015 r. byłam także członkiem Wydziałowej Komisji Jakości Kształcenia i opracowywałam sylabusy wybranych przedmiotów oraz weryfikowałam przygotowane sylabusy zgodnie z Krajowymi Ramami Kwalifikacji.

Ponadto, od roku akademickiego 2010/2011 byłam opiekunem studentów studiów niestacjonarnych, rozpoczynających studia na Wydziale Nauk o Żywności, a także byłam opiekunem merytorycznym badań realizowanych przez studentów z Koła Naukowego Technologów Żywności, WNoŻ, SGGW w Warszawie (10-12.2011, 01-06.2014). Dodatkowo, w latach 2013-2014 prowadziłam merytoryczny nadzór nad zaliczaniem praktyk studenckich WNoŻ.

7.3. Działalność w towarzystwach naukowych i zespołach eksperckich oraz konsorcjach i sieciach badawczych, recenzje grantów

Od 2006 r. jestem członkiem Polskiego Towarzystwa Technologów Żywności – Oddziału Warszawskiego, a od 2008 r. członkiem Polskiego Towarzystwa Agrofizycznego. Od 2012 r. jestem członkiem Stowarzyszenia Top500 Innovators. Ponadto od 2015 r. jestem ekspertem współpracującym z Punktem Kontaktowym Komisji Kodeksu Żywnościowego FAO/WHO, działającym w Głównym Inspektoracie Jakości Handlowej Artykułów Rolno-Spożywczych, a także jestem członkiem Grupy Roboczej OPAKOWANIA Polskiej Platformy Technologicznej Biogospodarki, natomiast od 2016 r. także członkiem Rady Konsorcjum Naukowego w ramach projektu BIOSTRATEG. W 2017 r. roku zostałam członkiem Sekcji Fizyki i Inżynierii Żywności Komitetu Nauk o Żywności i Żywieniu Polskiej Akademii Nauk.

W 2016 r. wykonałam ocenę raportu okresowe i raportu końcowego dotyczącego badań naukowych i prac rozwojowych w skali demonstracyjnej Demonstrator+ INFO-BIO, zleconą przez NCBR.

7.4. Otrzymane nagrody i wyróżnienia

Podczas studiów doktoranckich trzykrotnie otrzymałam stypendium Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie za osiągnięcia naukowe (2006-2008). Jednocześnie moja praca doktorska pt. "Studia nad wykorzystaniem promieniowania podczerwonego i mikrofalowego do suszenia jabłek" została wyróżniona przez Radę Wydziału Nauk o Żywności Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, uzyskując dyplom uznania w dniu 12.11.2009 r.

W czasie pracy na Wydziale Nauk o Żywności SGGW w Warszawie otrzymałam dwukrotnie nagrodę JM Rektora SGGW w Warszawie zespołową stopnia III (2011) i II (2017) za osiągnięcia naukowe oraz nagrodę JM. Rektora Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie indywidualną III stopnia za osiągnięcia naukowe (2016).

W 2012 r. zostałam finalistką programu rządowego „Top 500 Innovators Science - Management - Commercialization”, a także zostało przyznane mi stypendium przez rząd chorwacki w ramach programu CEEPUS. Ponadto w 2016 r. otrzymałam trzyletnie stypendium naukowe dla wybitnych młodych naukowców Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Doniesienia naukowe, które prezentowałam w czasie konferencji krajowych, w formie plakatów lub wystąpień, były pięciokrotnie wyróżniane przez organizatorów konferencji.

7.5. Współpraca z zagranicą, recenzje publikacji

Podczas studiów doktoranckich odbyłam dwutygodniowy staż naukowy (18.02 – 3.03. 2007) w Uniwersytecie Nauk Rolniczych i Medycyny Weterynaryjnej (Universitatea de Ştiinţe Agricole şi Medicină Veterinară Cluj-Napoca), Cluj-Napoca, Rumunia, w ramach Intensywnego Programu „Food and Health” (**program Socrates**), podczas którego zdobywałam wiedzę w zakresie żywności i jej wpływu na organizm. Ponadto w trakcie studiów doktoranckich brałam udział w 3-miesięcznym stażu naukowym (01.04 – 01.07. 2008) w Uniwersytecie Bolońskim we Włoszech, Campus Cesena (program Erasmus), gdzie pod kierownictwem Prof. Marco Dalla Rosa prowadziłam badania, dotyczące analizy kinetyki odwadniania osmotycznego owoców kiwi zielonego i żółtego oraz zmian jakościowych, zachodzących podczas procesu. Wyniki powyższych badań zostały opublikowane w pracach oryginalnych (Zař. 4, pkt. 2 publ. A2, D10) i przeglądowych (Zař. 4, pkt. 2 publ. D29), a także były przedstawiane na konferencji (K6) w formie referatu.

Po zatrudnieniu na stanowisku adiunkta wzięłam udział w **wymianie kadry akademickiej CEEPUS** „For Safe and Healthy Food in Middle-Europe”, przebywając w dniach od 15.04 do 15.05 2011 r. na stypendium w Uniwersytecie J.J. Strossmayer (Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku), Osijek, Chorwacja, jako nauczyciel wizytujący. Prowadziłam tam autorskie wykłady nt. „Physical properties of dried fruits and vegetables” oraz “Smart and active packaging”.

W latach 2011-2013 brałam udział jako nauczyciel w Intensywnym Programie (**program Socrates/Erasmus**) IPARAF Intensive Programme for Advanced Residue Analysis in Food, odbywającym się w Uniwersytecie Medycyny Weterynaryjnej i Nauk Żywnościowych (Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l’Alimentation Nantes Atlantique ONIRIS), Nantes, Francja. Prowadziłam tam autorskie wykłady nt. „Quality Management systems and food safety”.

W okresie od 07.01. do 31.03.2012 r. odbyłam 3-miesięczny staż naukowy w Uniwersytecie Bolońskim na Wydziale Nauk o Żywności (Cesena Campus, Włochy) w ramach otrzymanego **stypendium z Własnego Funduszu Stypendialnego SGGW** na realizację badań naukowych związanych z realizacją pracy habilitacyjnej. Podczas stażu prowadziłam badania pod kierownictwem Prof. Marco Dalla Rosa dotyczące wpływu obróbki wstępnej ultradźwiękami tkanki kiwi przed procesem odwadniania osmotycznego na wydajność procesu i właściwości fizyko-chemiczne tkanki roślinnej. Wyniki przedmiotowych badań zostały opublikowane

w pracach oryginalnych (H2, H4) i przeglądowych (D29), a także były przedstawiane przez mnie na konferencjach krajowych i międzynarodowych (B12, B14).

W roku akademickim 2011/2012 została finalistką drugiej edycji programu rządowego „**Top 500 Innovators Science - Management – Commercialization**”, w wyniku którego odbywałam 2-miesięczny staż (13.10-16.12.2012 r.) na Uniwersytecie Stanforda, zdobywając wiedzę w zakresie komercjalizacji badań naukowych. Jednocześnie, w ramach powyższego programu, uzyskałam możliwość odbywania 2-tygodniowego stażu naukowego (26.11-12.12.2012 r.) w NASA Synthetic Biology (Mountain View, California, USA), realizując projekt pt. „New technologies for food longevity”.

Ponadto, w 2015 r. zakwalifikowałam się na tygodniową (23-26.06.2015 r) Letnią Szkołę Przedsiębiorczości (**TRADEIT - Entrepreneurial Summer Academy**), prowadzoną na Uniwersytecie w Insubrii we Włoszech (University of Insubria, Como, Włochy), gdzie zdobywałam wiedzę z zakresu komercjalizacji wyników badań oraz przedstawiałam plakat pt. „Emerging technologies as ultrasound and pulsed electric field to enhance food industry processes” i możliwości skomercjalizowania prowadzonym przez mnie badań.

W 2016 r. odbyłam 2,5-miesięczny staż naukowy (01.09 – 10.11.2016 r.) w Uniwersytecie Bolońskim na Wydziale Nauk o Żywności (Cesena Campus, Włochy) w ramach **projektu luventus Plus**. Podczas stażu prowadzone były badania integralności błony komórkowej owoców żurawiny poddanych działaniu ultradźwięków oraz pulsacyjnego pola elektrycznego i ich wpływu na zmiany wywołane w tkance owoców w trakcie procesu odwadniania osmotycznego. Wyniki niniejszych badań zostały opublikowane w publikacji (**H7**) będącej jedną ze składowych Osiągnięcia, a także prezentowane w postaci referatu i plakatu na konferencjach międzynarodowych (Zał. 4, pkt. 2 publ. K15, B27).

Wykonałam 52 recenzje publikacji naukowych w następujących czasopismach:

Recenzje w czasopismach zagranicznych, znajdujących się na liście JCR	Liczba recenzji
Drying Technology	5
Food and Bioproducts Processing	2
Food Engineering Review	5
Food Science and Technology International	1
Innovative Food Science and Emerging Technologies	3
International Journal of Food Engineering	4
Italian Journal of Food Science	2
Journal of Food Engineering	1
Journal of Food Process Engineering	3
Journal of Food Processing and Preservation	2
Journal of Food Science	4
Journal of the Science of Food and Agriculture	1
LWT – Food Science and Technology	4
Polish Journal of Food and Nutrition Sciences	1
Suma	38
Recenzje w czasopismach zagranicznych (inne)	
African Journal of Agricultural Research	1
Gavin Journal of Food and Nutritional Science	1
Journal of Applied Microbiological Research	1
Journal of Food Nutrition and Dietetics	2
Journal on Processing and Energy in Agriculture	3
Suma	8
Recenzje w czasopismach krajowych	
<i>Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria</i>	3
<i>Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny</i>	1
<i>Przemysł Spożywczy</i>	1
<i>Stowarzyszenie Studentów Nauk Przyrodniczych</i>	1
Suma	6
SUMA	52

7.6. Osiągnięcia w zakresie popularyzacji nauki

Moje osiągnięcia w zakresie popularyzacji nauki polegają na przekazywaniu wiedzy za pośrednictwem pism branżowych tj. Bezpieczeństwo i Higiena żywności, Ważenie - Dozowanie – Pakowanie, Agropromyśl, Przegląd Mleczarski, Food Forum, w których publikowane są artykuły przybliżające tematykę opakowalnictwa żywności, możliwości zastosowania różnego rodzaju opakowań zarówno tradycyjnych, jak i tych innowacyjnych, a także ich bezpieczeństwa. Ukazało się 13 artykułów popularno-naukowych poświęconych tematyce opakowań. Ponadto, w czasopismach Kierunek Spożywczy, Fruit Processing czy Industrie Alimentari przedstawiałam tematykę związaną z przetwórstwem owoców żurawiny czy kiwi.

Prowadzę także wykłady dla przedsiębiorców i jednostek państwowych w zakresie bezpieczeństwa żywności i przepisów prawa żywnościowego.

Kilkukrotnie brałam udział w lekcjach pokazowych dla grup szkolnych i gimnazjalnych w ramach Festiwalu Nauki, prowadząc zajęcia pt. „Żywność – jak powstaje?” i „Czy wiemy w czym jemy?” oraz udzielałam wywiadu w Radio dla Ciebie .

Dodatkowo, prowadzę swoją stronę internetową www.malgorzata-nowacka.waw.pl, na której podaję informacje na temat prowadzonych projektów, naukowo-dydaktycznych wyjazdów zagranicznych oraz ukazujących się publikacji oryginalnych i popularno-naukowych.

7.7. Konferencje

W trakcie studium doktoranckiego brałam aktywny udział w 10 konferencjach, w tym w 1 konferencji międzynarodowej, przedstawiając wyniki prac w postaci 6 referatów i 4 posterów. Dodatkowo, byłam także współautorem 2 prac prezentowanych w postaci posterów.

W okresie zatrudnienia jako asystent i adiunkt brałam aktywny udział w 22 konferencjach, w tym w 10 konferencjach międzynarodowych, prezentując wyniki prac w postaci 9 referatów i 23 posterów. Jednocześnie, w wyniku współpracy z różnymi ośrodkami naukowymi brałam udział w opracowywaniu 65 prac prezentowanych na konferencjach krajowych i międzynarodowych. Prezentowane przez mnie prace pięciokrotnie zdobywały wyróżnienia i nagrody organizatorów konferencji (Zał. 4, pkt. 2J).

Ponadto byłam również członkiem Komitetu Naukowego dwóch międzynarodowych konferencji pt. International Conference on Food and Biosystem Engineering (Zał. 4, pkt. 3C).

7.8. Współpraca z przemysłem

W ramach współpracy z przemysłem jestem koordynatorem działań, wynikających z porozumienia o współpracy między SGGW w Warszawie a firmą **ARSOPOLAŃSKI Sp. z o.o.**, mających na celu konsultację i doradztwo w zakresie opakowalnictwa żywności, przepisów prawa żywnościowego w powyższym zakresie oraz przeprowadzania badań w zakresie dopuszczenia materiałów i wyrobów przeznaczonych do kontaktu z żywnością. Na podobnych zasadach prowadzona jest współpraca z firmą **JARS Sp. z o.o.** Ponadto dwukrotnie wykonywałam ekspertyzy dla firmy zewnętrznej, dotyczące opakowań papierowych/tekturowych przeznaczonych do kontaktu z żywnością.

W latach 2014-2015 pełniłam funkcję Brokera Wydziałowego w ramach Inkubatora Innowacyjności SGGW w Warszawie. Od 2015 r. jestem członkiem Grupy Roboczej OPAKOWANIA Polskiej Platformy Technologicznej Biogospodarki, a od 2016 r. ekspertem współpracującym z Punktem Kontaktowym Komisji Kodeksu Żywnościowego FAO/WHO, działającym w Głównym Inspektoracie Jakości Handlowej Artykułów Rolno-Spożywczych.

M. Nowacka