

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Instytut Nauk o Żywności

Załącznik 3 do wniosku o przeprowadzenie postępowania
w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie
nauk rolniczych w dyscyplinie technologia żywności i żywienia

AUTOREFERAT

Zastosowanie łączonych metod, opartych na pulsacyjnym polu
elektrycznym oraz ultradźwiękach, do wspomagania przebiegu
suszenia oraz modyfikacji wybranych właściwości tkanki
roślinnej

Dr inż. Artur Wiktor

Warszawa, 2021

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 w jednostkach naukowych	5
4.	Informacja o osiągnięciach naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny	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	9
4.3.1.	Wstęp	9
4.3.2.	Cel badań	12
4.3.3.	Omówienie wyników	13
4.3.3.1.	Wpływ PEF, US oraz połączenia tych metod na wybrane właściwości surowej tkanki roślinnej.	13
4.3.3.2.	Wpływ obróbki wstępnej realizowanej przy wykorzystaniu PEF i US na przebieg suszenia oraz właściwości suszonej tkanki roślinnej	15
4.3.3.3.	Wpływu metod łączonych na przebieg suszenia poprzedzonego odwadnianiem osmotycznym oraz właściwości wysuszonej żurawiny	19
4.3.4.	Podsumowanie	25
4.3.5.	Spis literatury:	26
5.	Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej	29
6.	Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę	33
6.1.	Osiągnięcia dydaktyczne	33
6.2.	Osiągnięcia organizacyjne	33
6.3.	Osiągnięcia popularyzujące naukę	34
7.	Pozostałe informacje dotyczące kariery zawodowej	35
7.1.	Pozostały dorobek publikacyjny	35
7.1.1.	Wpływ PEF na przebieg procesów jednostkowych oraz właściwości żywności	35
7.1.2.	Wpływ US na przebieg procesów jednostkowych oraz właściwości żywności	36
7.1.3.	Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań w suszeniu rozpyłowym	37

7.1.4. Pulsacyjne światło i plazma w przemyśle spożywczym	38
7.1.5. Minikiwi jako surowiec dla przemysłu spożywczego.....	38
7.1.6. Modelowanie matematyczne procesu suszenia oraz właściwości suszonej żywności.....	39
7.1.7. Niekonwencjonalne metody pomiarowe stosowane w technologii żywności	39
7.2. Podsumowanie dorobku naukowego	40
7.3. Nagrody i wyróżnienia	44

1. Dane osobowe

Imiona i nazwisko: Artur Damian Wiktor

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

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

2016 r. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Wydział Nauk o Żywności

doktor nauk rolniczych w zakresie technologii żywności i żywienia (cum laude)

Praca doktorska pt. „Badania wpływu pulsacyjnego pola elektrycznego (PEF) na przebieg suszenia i zamrażania tkanki roślinnej oraz jej wybrane właściwości”, realizowana w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji pod kierunkiem Prof. dr hab. Doroty Witrowej-Rajchert

2011 r. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Wydział Nauk o Żywności
kierunek: Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka

magister inżynier (cum laude)

Praca magisterska pt. „Zastosowanie pulsacyjnego pola elektrycznego (PEF) do modyfikacji przebiegu wybranych procesów wymiany masy i ciepła”, realizowana w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji pod kierunkiem Prof. dr hab. Doroty Witrowej-Rajchert

2010 r. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Wydział Nauk o Żywności
kierunek: Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka

inżynier (cum laude)

Praca inżynierska pt. „Wykorzystanie fal elektrycznych o wysokiej amplitudzie napięcia do przyspieszania procesów usuwania wody”, realizowana w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji pod kierunkiem Prof. dr hab. Doroty Witrowej-Rajchert

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

01.11.2016 – obecnie	adiunkt Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji Wydział Nauk o Żywności (obecnie Instytut Nauk o Żywności) Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
01.11.2013 – 31.10.2016 r.	asystent naukowy Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji Wydział Nauk o Żywności Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
01.10.2011 – 06.10.2016 r.	doktorant Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Nauk o Żywności, Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

4. Informacja o osiągnięciach naukowych stanowiących znaczny wkład w rozwój dyscypliny

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Osiągnięciem naukowym, będącym podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego na podstawie jest monotematyczny cykl składający się z czterech publikacji naukowych oraz jednego patentu pod tytułem:

„Zastosowanie łączonych metod, opartych na pulsacyjnym polu elektrycznym oraz ultradźwiękach, do wspomaganie przebiegu suszenia oraz modyfikacji wybranych właściwości tkanki roślinnej”

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

- I.2.1 Wiktor A., Gondek E., Jakubczyk E., Dadan M., Nowacka M., Rybak K., & Witrowa-Rajchert D. (2018). Acoustic and mechanical properties of carrot tissue treated by pulsed electric field, ultrasound and combination of both. *Journal of Food Engineering*, 238, 12-21.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.06.001>

MNiSW₂₀₁₉ = 140
MNiSW₂₀₁₈ = 40

IF₂₀₁₈ = 3,625

IF_{5-letni} = 4,332

Mój wkład: Określenie koncepcji badań, opracowanie metodyki badań, Nadzór nad wykonywanymi analizami, wykonanie części doświadczeń technologicznych oraz analitycznych, analiza i interpretacja wyników, współudział w sformułowaniu głównych wniosków, przygotowanie manuskryptu artykułu, przygotowanie odpowiedzi na recenzje artykułu, przygotowanie wniosku projektowego, kierowanie projektem.

- I.2.2 Wiktor A., Dadan M., Nowacka M., Rybak K., & Witrowa-Rajchert D. (2019). The impact of combination of pulsed electric field and ultrasound treatment on air drying kinetics and quality of carrot tissue. *LWT - Food Science and Technology*, 110, 71-79
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.060>

MNiSW₂₀₁₉ = 100

IF₂₀₁₉ = 4,006

IF_{5-letni} = 4,385

Mój wkład: Określenie koncepcji badań, opracowanie metodyki badań, nadzór nad częścią technologiczną i analityczną, wykonanie części doświadczeń technologicznych oraz analitycznych, analiza i interpretacja wyników, sformułowanie głównych wniosków, przygotowanie manuskryptu artykułu jako autor korespondencyjny, przygotowanie wniosku projektowego, kierowanie projektem.

- I.2.3 Wiktor A., & Witrowa-Rajchert D. (2020). Drying kinetics and quality of carrots subjected to microwave-assisted drying preceded by combined pulsed electric field and ultrasound treatment. *Drying Technology*, 38, 176-188.
DOI: <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1642347>

MNiSW₂₀₁₉ = 100

IF₂₀₁₉ = 2,988

IF_{5-letni} = 2,250

Mój wkład: Określenie koncepcji badań, opracowanie metodyki badań, przeprowadzenie i nadzór nad wykonywanymi analizami, analiza i interpretacja wyników, współudział w sformułowaniu głównych wniosków, przygotowanie manuskryptu artykułu jako autor korespondencyjny, przygotowanie odpowiedzi na recenzje artykułu, przygotowanie wniosku projektowego, kierowanie projektem.

- I.2.4 Wiktor A., Nowacka M., Anuszevska A., Rybak K., Dadan M., & Witrowa-Rajchert D. (2019). Drying Kinetics and Quality of Dehydrated Cranberries Pretreated by Traditional and Innovative Techniques. *Journal of Food Science*, 84, 1820-1828
DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14651>

MNiSW₂₀₁₉ = 70

IF₂₀₁₉ = 2,478

IF_{5-letni} = 2,000

Mój wkład: Współudział w określenie koncepcji badań, współudział w opracowaniu metodyki badań, wykonanie części doświadczeń technologicznych oraz analitycznych, wiodący udział w analizie i interpretacji wyników, sformułowanie głównych wniosków, współudział w przygotowanie manuskryptu artykułu, współudział w przygotowaniu odpowiedzi na recenzje artykułu.

- I.2.5 Nowacka M., Wiktor A., Anuszevska A., Dadan M., Rybak K., & Witrowa-Rajchert D. (2019). The application of unconventional technologies as pulsed electric field, ultrasound and microwave-vacuum drying in the production of dried cranberry snacks. *Ultrasonics Sonochemistry*, 56, 1-13.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.03.023>

MNiSW₂₀₁₉ = 140

IF₂₀₁₉ = 6,513

IF_{5-letni} = 6,140

Mój wkład: Współudział w określenie koncepcji badań, współudział w opracowaniu metodyki badań, wykonanie części doświadczeń technologicznych oraz analitycznych, wiodący udział w analizie i interpretacji wyników, współudział w sformułowaniu głównych wniosków, przygotowanie manuskryptu artykułu jako autor korespondencyjny, przygotowanie odpowiedzi na recenzje artykułu.

- I.2.6 Wiktor A., Nowacka M., Dadan M., Rybak K., Witrowa-Rajchert (2020). Sposób obróbki wstępnej surowców roślinnych przed procesem suszenia. Patent P.421709, Biuletyn Urzędu Patentowego RP 25/2018, data zgłoszenia 25.05.2017, data decyzji 14.10.2020.

MNiSW ₂₀₁₉ = 75	IF ₂₀₁₉ = nd.	IF _{5-letni} = nd.
----------------------------	--------------------------	-----------------------------

Mój wkład: Współudział w określeniu koncepcji badań, współudział w opracowaniu metodyki badań, wykonanie części doświadczeń technologicznych oraz analitycznych, wiodący udział w analizie i interpretacji wyników, sformułowanie głównych założeń patentowych, przygotowanie merytorycznej treści zgłoszenia patentowego

Podsumowanie

Sumaryczna liczba IF oraz punktów MNiSW dla prac stanowiących osiągnięcie naukowe, o którym mowa w art. 219 ust. 1. pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce:

Suma MNiSW = 525	IF = 19,61	IF _{5-letni} = 19,107
Suma MNiSW ₂₀₁₉ = 625		

MNiSW₂₀₁₈ – punkty MNiSW zgodnie z komunikatem MNiSW z dnia 25.01.2017, MNiSW₂₀₁₉ – punkty MNiSW zgodnie z komunikatem MNiSW z dnia 18.12.2019, MNiSW – suma punktów MNiSW liczona zgodnie z komunikatem obowiązującym w roku opublikowania pracy, Suma MNiSW₂₀₁₉ – suma punktów MNiSW liczona zgodnie z komunikatem MNiSW z dnia 18.12.2019

Oświadczenia Współautorów prac wchodzących w cykl będący osiągnięciem naukowym, potwierdzające mój udział oraz określające ich udział w powstaniu tych prac stanowi załącznik 6. Liczby porządkowe przyporządkowane poszczególnym publikacjom będą stanowiły odnośniki w dalszej części pracy.

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

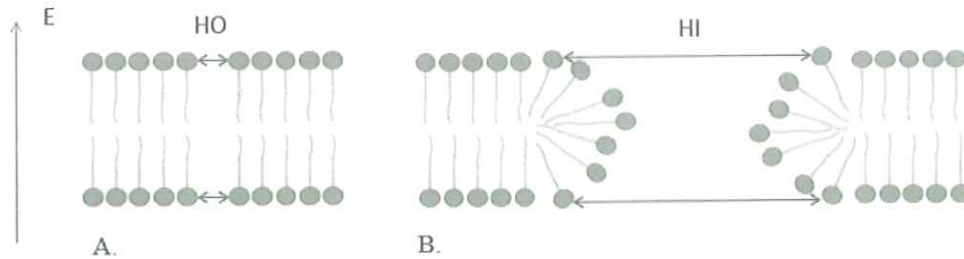
Tytuł osiągnięcia naukowego:

„Zastosowanie łączonych metod, opartych na pulsacyjnym polu elektrycznym oraz ultradźwiękach, do wspomaganie przebiegu suszenia oraz modyfikacji wybranych właściwości tkanki roślinnej”

4.3.1. Wstęp

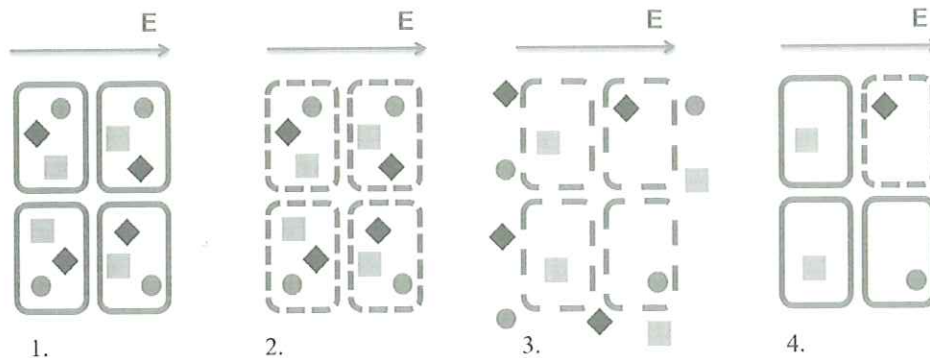
Pulsacyjne pole elektryczne (ang. pulsed electric field, PEF) oraz ultradźwięki (ang. ultrasounds, US) to nowoczesne metody obróbki żywności, które znajdują coraz szersze zastosowanie w przemyśle spożywczym. Techniki te umożliwiają osiągnięcie wielu zbieżnych celów technologicznych pomimo tego, że mechanizm ich oddziaływania na matryce żywnościowe jest odmienny. Zarówno pulsacyjne pole elektryczne, jak i ultradźwięki budzą olbrzymie zainteresowanie naukowców oraz inżynierów. Co więcej, techniki te są wykorzystywane w przemyśle spożywczym, choć w ograniczonym zakresie (Arvanitoyannis et al., 2017; Barba et al., 2015).

Aplikacja PEF polega na oddziaływaniu na układ biologiczny krótkimi impulsami, które charakteryzują się wysokim natężeniem pola elektrycznego. Zewnętrzne pole elektryczne wywołuje zmianę wartości natywnego potencjału transmembranowego, co związane jest z asymetrią rozmieszczenia ładunków po obu stronach błony komórkowej oraz niską przewodnością elektryczną błony w porównaniu do pozostałych struktur komórkowych, będących w rzeczywistości elektrolitem (Galindo, 2017; Wiktor & Witrowa-Rajchert, 2017). Zmiana potencjału błonowego powyżej pewnej krytycznej wartości, która jest charakterystyczna dla danego rodzaju materiału, skutkuje utratą półprzepuszczalnego charakteru błony komórkowej poprzez wzrost istniejących porów komórkowych lub powstawanie nowych. Ta elektrycznie indukowana „perforacja” błony komórkowej nosi nazwę elektroporacji i może mieć charakter odwracalny – dzieje się tak, gdy zastosowane parametry obróbki elektrycznej prowadzą do osiągnięcia potencjału transmembranowego, który jest zbliżony lub niewiele wyższy od wartości krytycznej – lub nieodwracalny, gdy wzbudzony zewnętrznym polem elektrycznym potencjał błonowy znacznie przekroczy wartość progową (Teissie, 2017). W przypadku elektroporacji odwracalnej komórki biologiczne są w stanie przywrócić swoje funkcje życiowe – powstające pory mają niewielkie średnice, są metastabilne i noszą nazwę porów hydrofobowych. Natomiast elektroporacja nieodwracalna prowadzi do permanentego przerwania ciągłości błony komórkowej poprzez zamianę porów hydrofobowych w hydrofilowe, których wymiary stabilizują ich trwałość (rysunek 1). Wskutek elektroporacji nieodwracalnej komórka obumiera. Warto dodać, że elektroporacja powinna być rozpatrywana nie tylko jako zjawisko, ale także jako wieloetapowy proces, który został opisany powyżej i przedstawiony, w pewnym uproszczeniu, na rysunku 2. Co więcej, poddanie działaniu PEF struktur tkankowych może skutkować tym, że pewna część komórek pozostanie nienaruszona, podczas gdy pozostałe ulegną elektroporacji nieodwracalnej lub odwracalnej (Kanduser & Miklavcic, 2009).



Rysunek 1. Schematyczne przedstawienie różnicy pomiędzy porami A) hydrofobowymi (HO) obecnymi w tkance niepoddanej działaniu PEF oraz poddanej elektroporacji odwracalnej, B) hydrofilowymi, które są charakterystyczne dla tkanki poddanej elektroporacji nieodwracalnej. Opracowanie własne na podstawie Toepfl et al., 2014.

Z technologicznego punktu widzenia, zniszczenie błony komórkowej wskutek elektroporacji poprzez aplikację PEF, może być wykorzystane do utrwalania żywności lub do intensyfikacji procesów, których przebieg jest limitowany komórkową strukturą układu (Barba et al., 2015). Do takich procesów należy z pewnością zaliczyć te, które są oparte na wymianie masy i/lub ciepła.

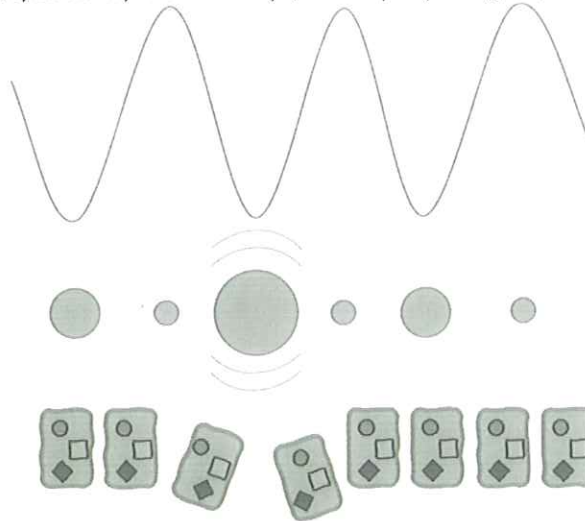


Rysunek 2. Uproszczony przebieg elektroporacji. 1. Komórka w stanie natywnym; 2. Powstawanie porów komórkowych; 3. Wzrost średnicy powstałych porów; 4. Przywracanie ciągłości błony komórkowej. Opracowanie własne.

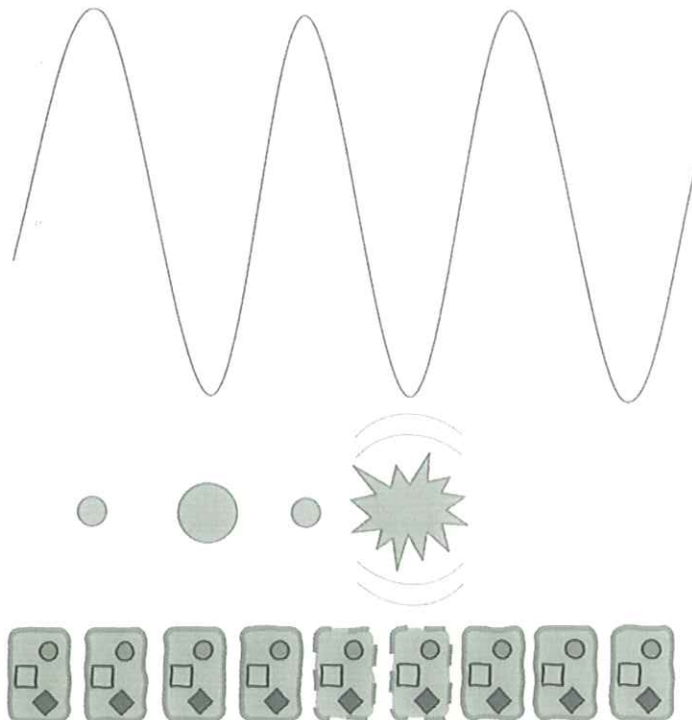
Ultradźwiękami nazywamy fale dźwiękowe, których drgania mają częstotliwość w zakresie niesłyszalnym dla człowieka. Wykorzystanie ultradźwięków w naukach o żywności można podzielić na analityczne oraz technologiczne. Ultradźwięki wykorzystywane do celów analitycznych charakteryzują się na ogół wysoką częstotliwością drgania fal (> 100 kHz), ale niskim natężeniem - < 1 W/cm². Z kolei te wykorzystywane do celów technologicznych mają wysokie natężenie - > 1 W/cm² - i częstotliwość w zakresie 18-100 kHz (Ojha et al., 2017). Fale ultradźwiękowe mogą docierać do poddawanego obróbce układu poprzez ciekłe medium (Zhang et al., 2018) lub poprzez bezpośredni kontakt układu z elementem drgającym w odpowiedniej częstotliwości (Wiktor et al., 2016b). Aplikacja ultradźwięków może wywoływać różne zmiany w strukturze komórkowej układów biologicznych wskutek szeregu różnych zjawisk, takich jak kawitacja (oraz zjawiska jej towarzyszące), „efekt gąbki” czy pochłanianie energii akustycznej (Miano et al., 2016). Kawitacja ultradźwiękowa może mieć charakter inercyjny lub nieinercyjny (rysunek 3). W przypadku gdy kawitacja ma charakter nieinercyjny, pęcherzyki gazowe pulsują bez nagłego zapadania się – poprzez cykliczną zmianę swoich wymiarów mogą wpływać na rozmieszczenie komórek tkanki poddawanej sonikacji. Do nagłego i gwałtownego zapadania się pęcherzyków dochodzi w przypadku zjawiska inercyjnego (zwanego także przejściowym). Wówczas implodujące pęcherzyki kawitacyjne mogą powodować trwałe uszkodzenia struktur komórkowych wskutek powstającej podczas implozji pęcherzyka fali uderzeniowej. Podobnie jak w przypadku elektroporacji, kawitacja ultradźwiękowa najprawdopodobniej ma charakter progowy (Wu & Nyborg, 2008). Wibrujące fale, przechodząc przez materiał, prowadzą także do jego kurczenia się i rozprężania – zjawisko to nasi nazwę „efektu gąbki”, gdyż przypomina jej ściskanie (Miano et al., 2017).

Konsekwencją efektu gąbki może być modyfikowanie lub zniszczenie struktur wewnątrzkomórkowych, choć nie musi do tego dojść. Jak podaje literatura przedmiotu, seria następujących po sobie naprężeń i rozprężeń materiału może prowadzić do formowania się mikrokanalów pomiędzy komórkami biologicznymi tworzącymi tkankę, bez ich uszkodzenia, co może być wykorzystywane do intensyfikacji wymiany masy (Alberto Claudio Miano et al., 2016). Ultradźwięki mogą także prowadzić do zjawiska zbliżonego w swoich konsekwencjach do elektroporacji. Zjawisko to nazywane jest sonoporacją i polega na przerwaniu ciągłości błony komórkowej wskutek przyłożonego ciśnienia akustycznego. Podobnie jak w przypadku elektroporacji, dokładny mechanizm indukowanej akustycznie permeabilizacji błony komórkowej nie jest do końca jasny. Potencjalnych przyczyn upatruje się w oddziaływaniu fali uderzeniowej, microstreamingu i micro-jetingu związanego z zapadaniem się pęcherzyków kawitacyjnych (Ohl et al., 2006). Ultradźwięki są również wykorzystywane do odpowietrzania i usuwania gazów z różnych materiałów, co także może przyczyniać się do intensyfikacji procesów opartych na wymianie masy i/lub ciepła (Yanagida, 2008).

A)



B)



Rysunek 3. Schematyczne przedstawienie ultradźwiękowej kavitacji A) nieinercyjnej i B) inercyjnej oraz ich wpływu na komórki. Opracowanie własne na podstawie (Peruzzi et al., 2018).

Warto dodać, że zarówno PEF, jak i US mogą prowadzić do zjawisk uważanych powszechnie za niekorzystne w przemyśle spożywczym. Istnieją doniesienia, które wskazują, że aplikacji PEF i US towarzyszy powstawanie wolnych rodników oraz reaktywnych form tlenu (Giuntini et al., 2018; Ruzgys et al., 2019). Częsteczki te mogą powodować degradację cennych z żywieniowego i technologicznego punktu widzenia składników bioaktywnych i barwników. Dodatkowo, generowaniu PEF oraz US towarzyszy także erozja materiału, z którego wykonane są odpowiednio elektrody i sonotrody (Pataro et al., 2014; Tian et al., 2018). Jony metali pochodzące z tych elementów mogą reagować z żywnością i negatywnie wpływać na jej jakość – także na utlenianie bioaktywnych składników żywności czy nienasyconych tłuszczów (Fereidoon & Ying, 2010; Sakihama et al., 2002). Oczywiście, należy nadmienić, że wada ta może być bardzo łatwo kontrolowana poprzez regularną i cykliczną obserwację i wymianę elektrod i sonotrod, wobec czego w praktyce przemysłowej nie musi stanowić poważnego problemu.

Pomimo faktu i poprzez fakt, że mechanizm oddziaływania PEF i US na komórki układów biologicznych jest odmienny, należy spodziewać się, że połączenie tych metod ze sobą może okazać się korzystne pod względem wpływu na przebieg procesów jednostkowych oraz jakość żywności. W literaturze przedmiotu można znaleźć opracowania, które wskazują, że kombinacja PEF oraz US wpływa m.in. na dystrybucję wody w tkance grzybów, wpływa na właściwości reologiczne puree z owoców jagodowych czy też ekstrakcję związków bioaktywnych z różnych matryc roślinnych (Dellarosa et al., 2017; Manzoor et al., 2019; Medina-Meza et al., 2016; Siddeeg et al., 2019). Badania te nie dotyczyły jednak analizy kombinacji PEF i US na przebieg procesów jednostkowych innych niż ekstrakcja, np. operacji polegających na usuwaniu wody. Aplikacja US poprzedzająca wykorzystanie PEF wydaje się celowa także ze względu na zdolność ultradźwięków do usuwania gazów, przez co obróbka elektryczna może być skuteczniejsza. Z kolei tkanka poddana najpierw działaniu PEF, ze względu na zniszczoną strukturę wewnętrzną i wypełnione płynem wewnątrzkomórkowym przestrzenie międzykomórkowe może być bardziej wrażliwa na zjawiska i procesy wywołane przez US, tj. „efekt gąbki” oraz kawitację. Można zatem wnioskować, że technologie te połączone ze sobą, niezależnie od sekwencji kombinacji, nie tylko zintensyfikują przebieg operacji jednostkowych opartych na wymianie masy i/lub ciepła, ale także zadziałają w sposób synergistyczny.

4.3.2. Cel badań

Głównym celem osiągnięcia będącego podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego jest analiza mechanizmu oddziaływania oraz wpływu metod opartych na połączonym działaniu pulsacyjnego pola elektrycznego (PEF) oraz ultradźwięków (US) na przebieg procesów usuwania wody oraz właściwości świeżej i przetworzonej tkanki roślinnej.

Zakres badawczy osiągnięcia naukowego obejmował trzy etapy. W pierwszym etapie, na podstawie pomiaru wybranych właściwości tkanki marchwi, określono efektywność zmian zachodzących w tkance roślinnej wskutek zastosowania PEF, US oraz połączenia tych metod. W etapie drugim określono w jaki sposób aplikacja PEF, US oraz kombinacji tych technik wpływa na proces suszenia konwekcyjnego oraz mikrofalowo-konwekcyjnego oraz na właściwości otrzymanych suszy, stosując jako przykład tkankę marchwi. W trzecim etapie sprawdzono w jaki sposób zastosowanie PEF, US oraz metod kombinowanych może kształtować przebieg procesu technologicznego, którego celem było wyprodukowanie suszonej przekąski na bazie żurawiny, a który w swoim reżimie uwzględniał zarówno suszenie, jak i odwadnianie osmotyczne. Warto podkreślić, że tematyka badań podjęta w ramach prezentowanego osiągnięcia nie była wcześniej analizowana i publikowana przez innych badaczy.

Podsumowując, cykl publikacji, stanowiący osiągnięcie naukowe, obejmuje zatem wyniki badań dotyczące:

- Wpływu PEF, US oraz metod łączonych opartych na działaniu PEF i US na właściwości elektryczne, mechaniczne oraz akustyczne tkanki marchwi (Praca I.2.1);
- Wpływu metod łączonych opartych na działaniu PEF i US na przebieg suszenia oraz właściwości wysuszonej tkanki marchwi (Prace I.2.2, I.2.3 i I.2.6);

- Wpływu metod łączonych na przebieg suszenia poprzedzonego odwadnianiem osmotycznym oraz właściwości wysuszonej żurawiny (Prace I.2.4 i I.2.5).

Badania, których wyniki zostały opisane poniżej zrealizowano w ramach kierowanego przeze mnie projektu pt. „Zastosowanie pulsacyjnego pola elektrycznego oraz kombinowanej metody z wykorzystaniem pulsacyjnego pola elektrycznego oraz ultradźwięków do wspomagania procesu suszenia tkanki roślinnej” (nr 497/L-4/2012; 2013-2016) w ramach Programu NCBiR LIDER (Prace: I.2.1., I.2.2., I.2.6.), oraz w ramach projektu pt. „Zastosowanie innowacyjnych metod do otrzymania przekąsek owocowych” (nr IP2014 033173; 2015-2018) w ramach programu MNiSW IUVETUS PLUS, w którym uczestniczyłem jako wykonawca (Prace: I.2.4., I.2.5.).

4.3.3. Omówienie wyników

4.3.3.1. Wpływ PEF, US oraz połączenia tych metod na wybrane właściwości surowej tkanki roślinnej

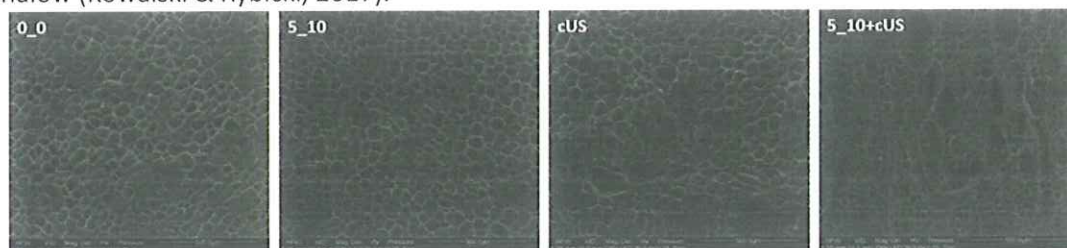
Efektywność oddziaływania PEF oraz US na komórki układów biologicznych zależy od bardzo wielu czynników. Czynniki te można powiązać albo z parametrami procesowymi albo z właściwościami materiału poddawanego obróbce technologicznej. W przypadku PEF do najważniejszych czynników procesowych, które decydują o przebiegu elektroporacji, należy zaliczyć m.in. natężenie pola elektrycznego, energię dostarczoną do próbki (ang. specific energy input), liczbę impulsów, geometrię sygnału, czas trwania impulsu, częstość aplikacji czy konstrukcję komory obróbki elektrycznej, której rodzaj będzie determinował homogenność pola elektrycznego. Z kolei właściwości materiału, które w największym stopniu będą wpływały na efektywność elektroporacji, to wielkość i geometria komórek, skład chemiczny, przewodność elektryczna właściwa czy porowatość (Wiktor & Witrowa-Rajchert, 2017). W przypadku US najważniejsze czynniki procesowe to częstotliwość, moc, amplituda oraz czas działania. Do najważniejszych właściwości materiału, które mogą determinować efektywność sonikacji zdaje się należeć gęstość materiału, która determinuje jego impedancję akustyczną (Carrillo-Lopez et al., 2017). Wydaje się także, że grubość materiału poddawanego obróbce akustycznej w dużym stopniu będzie wpływała na jej przebieg, gdyż obróbka US, w przeciwieństwie do PEF, nie ma charakteru wolumetrycznego (Schössler et al., 2012). Warto także zauważyć, że w przypadku zastosowania PEF, istnieją powszechnie uznawane i akceptowane metody, pozwalające ocenić w sposób pośredni efekty wywołane obróbką elektryczną. Do najpowszechniejszych należy pomiar właściwości elektrycznych tkanki przed i po poddaniu jej działaniu PEF (Lebovka et al., 2002). Ocena efektywności sonikacji wydaje się być dużo bardziej skomplikowanym zadaniem niż w przypadku analizy efektywności elektroporacji. Jest to spowodowane tym, że zmiany w budowie komórkowej i mikrostrukturze wywołane na ogół przez US są – w porównaniu do efektów wywołanych PEF – subtelne. Niemniej jednak, w literaturze istnieją doniesienia naukowe, dotyczące oceny właściwości elektrycznych tkanki (lub jej ekstraktów) poddanej sonikacji czy też obserwacji np. ścian komórkowych technikami mikroskopowymi (Wang et al., 2019; Wiktor et al., 2016).

Mając na uwadze powyższe zależności i uwarunkowania, w pracy I.2.1. [Wiktor A., Gondek E., Jakubczyk E., Dadan M., Nowacka M., Rybak K., & Witrowa-Rajchert D. (2018). Acoustic and mechanical properties of carrot tissue treated by pulsed electric field, ultrasound and combination of both. *Journal of Food Engineering*, 238, 12-21.] przedstawiono właściwości elektryczne, mechaniczne oraz akustyczne tkanki marchwi poddanej działaniu PEF, US oraz kombinacji tych dwóch metod w różnej sekwencji. Dodatkowo, zaprezentowano także wyniki obrazowania skaningowym mikroskopem elektronowym poddanych obróbce technologicznej próbek marchwi. Wykorzystano dwa warianty obróbki elektrycznej (5_10 i 5_100), realizowane przy natężeniu pola elektrycznego 5 kV/cm, różniące się liczbą impulsów (10 i 100), a przez to energią dostarczoną do próbki (1,6 oraz 16 kJ/kg) i dwie metody sonikacji: immersyjną oraz kontaktową (iUS oraz cUS). Czas działania US wynosił 20 min i wiązał się ze zużyciem energii wynoszącym 42,3 oraz 830,3 kJ/kg, odpowiednio w przypadku iUS oraz

cUS. Obróbkę polegającą na wykorzystaniu obu technik prowadzono rozpoczynając od PEF, a następnie stosując US (PEF+US) lub w sekwencji odwrotnej – najpierw US a następnie PEF (US+PEF).

Przeprowadzone badania wykazały, że poddanie tkanki marchwi działaniu PEF spowodowało dużo większe zmiany przewodności elektrycznej właściwej niż zastosowanie wyłącznie US, niezależnie od metody ich aplikacji. Przewodność elektryczna tkanki marchwi poddanej działaniu 10 i 100 impulsów o natężeniu 5 kV/cm wynosiła 259 i 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$, natomiast w przypadku próbek sonikowanych mieściła się w zakresie 34-46 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Dla porównania, wartość tej wielkości fizycznej surowej marchwi, niepoddanej żadnej obróbce, wynosiła 33 $\mu\text{S}/\text{cm}$ i nie różniła się istotnie od wyników otrzymanych w przypadku próbek poddanych działaniu US. Także zastosowanie połączenia PEF i US doprowadziło do zwiększenia przewodności elektrycznej w porównaniu do materiału referencyjnego, lecz nieróżniące się statystycznie istotnie od wartości uzyskanej w sytuacji, gdy zastosowano wyłącznie PEF. Porównanie użytych sekwencji (PEF i US oraz US i PEF) wskazało, że sonikacja poprzedzająca aplikację PEF (US+PEF) prowadziła do większych zmian niż zastosowanie sekwencji odwrotnej (PEF+US). Co więcej, różnice miały charakter istotny statystycznie ($p < 0,05$), gdy aplikowano 100 impulsów (16 kJ/kg), niezależnie od metody sonikacji. Przyczyn takich rezultatów należy upatrywać w odgazowaniu próbki, co korzystnie wpływało na przebieg elektroporacji, gdyż usunęło z przestrzeni międzykomórkowej powietrze działające jak izolator (Eskin, 1995). Dodatkowo, można przypuszczać, że zjawiska towarzyszące sonikacji i kawitacji ultradźwiękowej, takie jak cykliczne zmiany rozmiarów pęcherzyków kawitacyjnych, mogły doprowadzić do zmian w budowie błony komórkowej – np. zwiększając grubość dwuwarstwy lipidowej, co *per se* obniża zdolność do przewodzenia prądu elektrycznego (zwiększa impedancję), ale może także zwiększyć wrażliwość na działanie PEF. O tego typu zmianach świadczą także obecnie trwające badania, które dotyczą analizy impedancji, rezystancji oraz pojemności elektrycznej różnych tkanek roślinnych, poddanych działaniu zarówno PEF, US jak i pulsacyjnego światła, a prowadzone są przez mnie w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji SGGW w Warszawie. Gdy w metodzie kombinowanej stosowano sonikację kontaktową, przewodność elektryczna właściwa była niższa niż w przypadku zastosowania metody immersyjnej lub gdy stosowano wyłącznie PEF. Efekt ten był najbardziej widoczny, gdy obróbkę prowadzono według sekwencji PEF+US. Te pozornie przeczące powyższemu wyniki, są w rzeczywistości związane z odparowaniem wody podczas działania cUS, które było dodatkowo zintensyfikowane wyciekaniem substancji wewnątrzkomórkowej wskutek elektroporacji. Otrzymane rezultaty wskazują, że zarówno kolejność stosowania metod, jak i technika aplikowania US wpływają na efektywność obróbki technologicznej. Stwierdzenie to znalazło potwierdzenie w wynikach dwuczynnikowej analizy wariacji. Porównanie wartości η^2 wskazało jednak, że to parametry obróbki w większym stopniu wpływały na zmienność właściwości elektrycznych niż sekwencja stosowanych metod.

Na podstawie analizy fotografii SEM (rysunek 4) można stwierdzić, że tkanka poddana działaniu PEF charakteryzowała się nieregularną mikrostrukturą, a wiele ze ścian komórkowych było uszkodzonych. W mikrostrukturze marchwi wystawionej na działanie US widoczne były duże puste przestrzenie, które wyglądały jakby powstały poprzez zmianę lokalizacji, poprzesuwanie się i zbliżenie do siebie otaczających te przestrzenie komórek. Przestrzenie te mogły powstać w wyniku kawitacji nieinercyjnej oraz „efektu gąbki” – zjawiska te mogą bowiem prowadzić do powstawania mikrokanalów (Kowalski & Rybicki, 2017).



Rysunek 4. Fotografie SEM przedstawiające tkankę marchwi: świeżą (0_0), poddaną działaniu 10 impulsów o natężeniu 5 kV/cm (5_10), sonikacji kontaktowej (cUS) oraz metody kombinowanej (5_10+cUS) opartej na działaniu kolejno PEF (10 impulsów, 5 kV/cm) i sonikacji kontaktowej (cUS).

W przypadku próbek poddanych działaniu cUS przyczyną powstawania tych przestrzeni może być także odparowanie i migracja wody, na co pośrednio wskazują także wyniki otrzymane przez innych badaczy w przypadku sonikacji kontaktowej ziemniaka (Schössler et al., 2012). W obrazie mikrostruktury próbek poddanych działaniu metod łączonych wyraźnie widać dominującą rolę PEF. Niemniej jednak, w przypadku, gdy aplikacja US następowała po PEF, na fotografiach SEM można zauważyć liczne puste przestrzenie, będące najprawdopodobniej mikrokanalami. Warto także dodać, że są one szczególnie widoczne w przypadku tkanki, która po elektroporacji została poddana sonikacji kontaktowej, co związane jest najpewniej z intensywnym odparowaniem wody z tkanki, której błony komórkowe uległy zniszczeniu wskutek elektroporacji.

PEF okazało się także w największym stopniu wpływać na właściwości mechaniczne tkanki marchwi, wyrażone jako siła i praca ściskania do 30% odkształcenia próbki oraz siła w pikie. Próbki potraktowane PEF charakteryzowały się istotnie niższymi wartościami wszystkich wyznaczonych wielkości mechanicznych określających teksturę produktu, co potwierdziło dane już dostępne w literaturze przedmiotu (Asavasanti et al., 2010; Wiktor et al., 2016). Z kolei właściwości mechaniczne tkanki wystawionej na działanie energii akustycznej, niezależnie od zastosowanej techniki, nie różniły się istotnie od próbki referencyjnej. Siła oraz praca ściskania nie pozwoliły także zróżnicować, w ujęciu statystycznym, materiałów poddanych kombinowanej obróbce technologicznej łączącej PEF i US. Nieznaczące, choć niekiedy istotne różnice pomiędzy poszczególnymi próbkami stwierdzono natomiast w przypadku siły w pikie. W większości przypadków, marchew poddana działaniu technik łączonych odznaczała się siłą w pikie taką samą bądź wyższą niż próbki poddane wyłącznie obróbce elektrycznej i jednocześnie niższą niż tkanka poddana wyłącznie sonikacji. Zależności te były szczególnie widoczne, gdy US aplikowano immersyjnie przed obróbką PEF. W wynikach tych można upatrywać potencjalnych korzyści przemysłowych w przypadku, gdy obniżenie wytrzymałości mechanicznej tkanki jest pożądane wyłącznie na danym i konkretnym etapie technologicznym, a sam produkt końcowy powinien charakteryzować się teksturą jak najbardziej zbliżoną do surowca. Podobne wnioski i obserwacje należy wysunąć na podstawie analizy właściwości akustycznych, także w znaczącym stopniu kształtujących teksturę produktu. Aplikacja PEF doprowadziła do obniżenia zarówno średniej energii zdarzenia akustycznego, jak i całkowitej liczby zdarzeń akustycznych. Podobnej zależności nie stwierdzono jednak w przypadku, gdy zastosowano wyłącznie US, bez względu na technikę aplikacji. Z kolei tkanka marchwi potraktowana połączeniem PEF i US, bez względu na sekwencję, charakteryzowała się właściwościami akustycznymi zbliżonymi do właściwości tkanki poddanej wyłącznie działaniu PEF, co ponownie świadczy o dominującej roli elektroporacji w przypadku stosowania obróbki kombinowanej.

Na podstawie przeprowadzonych badań, zaprezentowanych w publikacji I.2.1., należy stwierdzić, że zastosowanie metod opartych na połączeniu PEF i US prowadzi do zmian w strukturze komórkowej tkanki roślinnej. Wydaje się również, że to PEF a nie US pełni dominującą rolę w kształtowaniu zmian budowy komórkowej tkanki roślinnej. US należy raczej traktować jako technikę wspomagającą elektroporację lub uwypuklającą jej konsekwencje. Charakter tych zmian wskazuje na możliwość wykorzystania kombinacji PEF i US, w dowolnej sekwencji, do wspomagania procesów, których przebieg limitowany jest komórkową budową materiału, tj. procesów opartych na wymianie masy i/lub ciepła. Otrzymane wyniki wskazują jednocześnie, że pomiar przewodności elektrycznej właściwej oraz właściwości mechanicznych i akustycznych może posłużyć do oceny zmian wywołanych działaniem PEF lub metody łączonej. Natomiast ocena oddziaływania US na tkankę roślinną wymaga zastosowania innych metod, np. obrazowania mikroskopowego.

4.3.3.2. Wpływ obróbki wstępnej realizowanej przy wykorzystaniu PEF i US na przebieg suszenia oraz właściwości suszonej tkanki roślinnej

Wyniki badań prowadzonych w ramach kolejnego etapu zostały przedstawione w publikacji I.2.2 [Wiktor A., Dadan M., Nowacka M., Rybak K., & Witrowa-Rajchert D. (2019). The impact of combination of pulsed electric field and ultrasound treatment on air drying kinetics and quality of carrot tissue. *LWT - Food Science and Technology*, 110, 71-79] oraz I.2.3 [Wiktor A., & Witrowa-Rajchert D. (2020). Drying kinetics and quality of carrots subjected to microwave-assisted drying

preceded by combined pulsed electric field and ultrasound treatment. *Drying Technology*, 38, 176-188]. Prace przewidziane w tym etapie obejmowały zbadanie wpływu połączenia aplikacji PEF i US, w dowolnej sekwencji, na przebieg procesu i właściwości tkanki marchwi suszonej konwekcyjnie (I.2.2) i mikrofalowo-konwekcyjnie (I.2.3). Badania prowadzone w tym etapie były także podstawą w procedurze zastrzegającej wynalazek pt. „Sposób obróbki wstępnej surowców roślinnych przed procesem suszenia”, która zakończyła się zastrzeżeniem patentu (I.2.6). W przypadku obróbki PEF aplikowano 10 impulsów o natężeniu pola elektrycznego 5 kV/cm, natomiast sonikacja trwała 20 minut i realizowana była metodą kontaktową i immersyjną. Przebieg suszenia oceniano na podstawie krzywych suszenia, obrazujących zmianę względnej zawartości wody w czasie suszenia, szybkości suszenia oraz efektywnego współczynnika dyfuzji wody, wyznaczonych na podstawie analizy regresji z wykorzystaniem uproszczonego modelu Ficka. Do oceny jakości otrzymanych suszy posłużono się właściwościami rehydracyjnymi, higroskopijnymi, zawartością karotenoidów ogółem i barwą. Dodatkowo, wykonano także zdjęcia SEM, obrazujące mikrostrukturę otrzymanych produktów.

Zastosowanie łączonej metody, opartej na działaniu PEF i US, doprowadziło do skrócenia czasu zarówno suszenia konwekcyjnego, jak i mikrofalowo-konwekcyjnego marchwi. W przypadku suszenia konwekcyjnego, zastosowanie immersyjnych US poprzedzonych działaniem PEF (PEF+iUS) skróciło czas suszenia o 40% w porównaniu z procesem referencyjnym (I.2.2). Ten sam wariant obróbki wstępnej zredukował czas suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego o 26%, natomiast najbardziej efektywny okazała się sekwencja odwrotna, czyli polegająca na sonikacji immersyjnej, po której nastąpiła aplikacja PEF (iUS+PEF). Wówczas suszenie ulegało skróceniu o 50% w porównaniu z suszeniem tkanki niepoddanej obróbce wstępnej (I.2.3). Różnice najpewniej wynikają z odmiennych mechanizmów ogrzewania (i w rezultacie usuwania wody) w przypadku suszenia konwekcyjnego i mikrofalowo-konwekcyjnego oraz z pochłaniania lub ubytku wody z próbki w wyniku obróbki wstępnej. Masa marchwi wzrosła o 3,5% wskutek zastosowania immersyjnej sonikacji, po której nastąpiła aplikacja PEF (iUS+PEF), natomiast gdy sekwencja była odwrotna (PEF+iUS) obserwowano ubytek masy, który wynosił 2,5% w porównaniu do masy początkowej. Niewiele większa zawartość wody może, paradoksalnie, zwiększyć intensywność jej odparowania wskutek ogrzewania mikrofalowego, a tym samym skrócić czas procesu, gdyż wpływa pozytywnie na stałą dielektryczną materiału. Oznacza to, że materiały charakteryzujące się większą zawartością wody wykazują także większe wartości stałej dielektrycznej, co z kolei wpływa na zdolność do absorbowania i konwersji energii mikrofal na ciepło wskutek drgania dipoli wody (Das et al., 2013; Kol, 2009). Warto także dodać, że chłonięcie wody przez próbki poddane działaniu PEF, a następnie sonikacji, najprawdopodobniej wiązało się z fizycznym wiązaniem wody, przez zniszczoną strukturę wewnętrzną. Teorię tę pośrednio potwierdzają także wyniki otrzymane przez innych naukowców, którzy w tkance poddanej działaniu PEF badali zawartość wody wolnej oraz niewymarzającej, stosując metody rezonansu magnetycznego TD-NMR (Tylewicz et al., 2016), a także badania dotyczące impregnacji kapilarnej (Parniakov et al., 2016). Gdy ultradźwięki aplikowano metodą kontaktową, nie stwierdzono istotnej różnicy w czasie suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego pomiędzy wariantami różniącymi się sekwencją. Natomiast gdy suszenie odbywało się metodą konwekcyjną, to wariant o sekwencji PEF+cUS okazał się bardziej efektywny, podobnie jak miało to miejsce przy wykorzystaniu techniki immersyjnej. Jak już wspomniano, związane jest to z wyciekaniem substancji wewnątrzkomórkowej wskutek elektroproacji do medium w przypadku metody iUS i odparowaniem wody w przypadku cUS. Także krzywe szybkości suszenia wskazują na intensyfikację przebiegu usuwania wody w wyniku zastosowania połączenia PEF i US, niezależnie od metody prowadzenia procesu. Wyznaczone na podstawie modelowania matematycznego wartości efektywnego współczynnika dyfuzji wody (tabela 1) były istotnie większe w porównaniu do materiału kontrolnego zarówno w przypadku suszenia gorącym powietrzem (I.2.2), jak i gdy dodatkowo zastosowano ogrzewanie mikrofalowe (I.2.3).

Tabela 1. Wartości efektywnego współczynnika dyfuzji wody próbek niepoddanych (0_0) obróbce wstępnej oraz poddanych działaniu metody łączonej (iUS+PEF, PEF+iUS, cUS+PEF, PEF+cUS) suszonych konwekcyjnie (publikacja I.2.2) i mikrofalowo-konwekcyjnie (publikacja I.2.3)

Próbka	Efektywny współczynnik dyfuzji wody [$\cdot 10^{-10}$ m ² /s]	
	Suszenie konwekcyjne	Suszenie mikrofalowo-konwekcyjne
0_0	7,00	20,9
iUS+PEF	8,78	29,7
PEF+iUS	11,51	32,7
cUS+PEF	9,11	33,8
PEF+cUS	10,51	29,4

Właściwości rekonstrykcyjne suszy poddanych łączonej obróbce wstępnej badano poprzez zanurzenie ich w gorącej wodzie (80°C) na określony czas, imitując w ten sposób jedno z ważniejszych praktycznych zastosowań suszonej marchwi. Zdolność do pochłaniania wody w przypadku suszy otrzymanych metodą mikrofalowo-konwekcyjną była zbliżona bez względu na fakt zastosowania obróbki wstępnej. Wszystkie z badanych materiałów charakteryzowały się także podobną, ze statystycznego punktu widzenia, utratą składników suchej substancji rozpuszczalnej w wodzie w trakcie rehydracji. Istotne różnice stwierdzono wyłącznie pomiędzy próbką oznaczoną jako iUS+PEF a PEF+cUS (I.2.3). Analiza statystyczna nie wykazała także istotnych różnic we właściwościach rekonstrykcyjnych suszy konwekcyjnych pomiędzy poszczególnymi wariantami obróbki w porównaniu do materiału referencyjnego (I.2.2). Co ciekawe, pomimo braku różnic we właściwościach rehydracyjnych, próbki poddane działaniu PEF i US wykazywały, w większości przypadków, istotnie niższą zdolność do pochłaniania pary wodnej. Gorsze właściwości higroskopijne materiałów poddanych obróbce wstępnej są związane ze stanem struktury wewnętrznej materiału suszonego – im bardziej zniszczona struktura wewnętrzna tym mniejsze zdolności materiału do pochłaniania pary wodnej. Zmiany mikrostruktury zostały także potwierdzone przez wykonanie fotografii SEM – materiał referencyjny odznaczał się większą populacją dużych porów i pustych przestrzeni, natomiast marchew potraktowana przed suszeniem PEF i US wykazywała bardziej zbitą strukturę, w której znajdowały się pory o mniejszych wymiarach. Bardziej zwarta struktura próbek poddanych obróbce wstępnej wiązała się z większym skurczem suszarniczym, który z kolei wynikał ze zniszczenia struktury komórkowej w trakcie aplikacji PEF i US. Podobnych zależności nie zaobserwowano, gdy marchew suszona była mikrofalowo-konwekcyjnie (I.2.3). Mianowicie, większość próbek poddanych działaniu obróbki wstępnej charakteryzowała się większą zdolnością adsorpcji pary wodnej niż materiał referencyjny. Istnieje kilka możliwych wytłumaczeń takich wyników. Istnieją doniesienia, które wskazują, że PEF i US mogą prowadzić do zmian w strukturze biopolimerów tworzących ścianę komórkową (Giteru et al., 2018; W. Wang et al., 2018) oraz w samej budowie ścian komórkowych (Li et al., 2016; Pillet et al., 2016). W połączeniu z wyciekami substancji polarnych może to doprowadzić do zmiany właściwości higroskopijnych, jako że te zależą m.in. od składu chemicznego i właściwości chemicznych warstw powierzchniowych materiału, które przede wszystkim biorą udział w wiązaniu wody (Ciużyńska et al., 2019). Na takie wytłumaczenie wskazuje także higroskopijność próbek, które pozostawały w bezpośrednim kontakcie z sitem sprężonym z sonotrodą – cUS. Materiał ten charakteryzował się najwyższą zdolnością pochłaniania pary wodnej spośród wszystkich badanych wariantów. Wyjaśnienia różnych właściwości higroskopijnych materiałów poddanych obróbce wstępnej przy wykorzystaniu PEF i US, ale wysuszonych różnymi metodami należy szukać także w właściwościach mikrostrukturalnych. W przeciwieństwie do suszy konwekcyjnych, próbki poddane działaniu PEF i US i wysuszone mikrofalowo-konwekcyjnie charakteryzowały się mniej zbitą strukturą oraz obecnością licznych porów i pustych przestrzeni o zróżnicowanych wymiarach. Największą liczebnością tych struktur odznaczała się marchew potraktowana kombinacją PEF z sonikacją kontaktową, niezależnie od zastosowanej sekwencji (I.2.3).

Zastosowanie aplikacji PEF w połączeniu z US doprowadziło także do zmian niektórych z właściwości optycznych, przy czym kierunek tych zmian w dużym stopniu zależał od metody suszenia.

Jasność suszy konwekcyjnych nie różniła się istotnie od jasności tkanki referencyjnej (I.2.2). Natomiast, w przypadku próbek suszonych mikrofalowo-konwekcyjnie istotnie wyższą wartość parametru L^* , w odniesieniu do suszonej marchwi niepoddanej żadnej obróbce wstępnej, stwierdzono w przypadku próbek potraktowanych kombinacją sonikacji kontaktowej z PEF, niezależnie od sekwencji (I.2.3). Wartości współrzędnych chromatycznych a^* i b^* próbek poddanych obróbce wstępnej przed suszeniem były w ujęciu statystycznym takie same lub niższe w porównaniu do tkanki kontrolnej (I.2.2, I.2.3). Co interesujące, na ogół materiał, który przed sonikacją, zwłaszcza gdy ta realizowana była techniką kontaktową, poddawany był działaniu PEF, wykazywał niższe wartości udziału barwy czerwonej i żółtej. Różnice te były zdecydowanie bardziej widoczne w przypadku, gdy marchew suszona była metodą mikrofalowo-konwekcyjną. Przyczyn takich wyników należy upatrywać w omówionych wcześniej właściwościach mikrostrukturalnych, a nie w degradacji karotenoidów, która to wydawałaby się najpewniejszym wytłumaczeniem. Jak pokazały przeprowadzone badania, materiał poddany przed suszeniem obróbce wstępnej przy wykorzystaniu PEF i US charakteryzował się taką samą lub większą retencją karotenoidów ogółem niż próbki referencyjne. Względna zawartość karotenoidów ogółem (liczona w odniesieniu do zawartości karotenoidów ogółem w surowej marchwi przed suszeniem) w przypadku suszy konwekcyjnych wynosiła 60-81% oraz 53%, odpowiednio w przypadku próbek poddanych i niepoddanych obróbce wstępnej (I.2.2). Susze mikrofalowo-konwekcyjne, które wystawiono na ekspozycję PEF i US przed suszeniem charakteryzowały się wartościami w przedziale 64-94% - w przypadku próbek poddanych obróbce wstępnej i 60%, gdy materiał stanowiła próba kontrolna (I.2.3). Istnieje wiele możliwych wyjaśnień takiego stanu rzeczy. Struktura wewnętrzna próbek, w których przed suszeniem doszło do elektroporacji i które zostały poddane sonikacji, była zniszczona, wobec czego ekstrakcyjność tych składników była większa. Kolejnym wytłumaczeniem był krótszy czas suszenia, a zatem i ekspozycji na czynniki sprzyjające utlenianiu tj. wysoką temperaturę oraz dostęp powietrza. Dodatkowo, bardziej intensywne odparowanie wody wiązało się także z szybszym obniżeniem aktywności wody przez próbki poddane przed suszeniem obróbce wstępnej. Karotenoidy bowiem są najbardziej stabilne w systemach o aktywności wody 0,5-0,6 (Lavelli et al., 2007). Warto także podkreślić, że zarówno w przypadku suszenia konwekcyjnego, jak i mikrofalowo-konwekcyjnego, na ogół większą względną zawartość karotenoidów ogółem stwierdzano w próbkach, które były najpierw poddawane działaniu PEF i następnie sonikacji. Co więcej, było to szczególnie widoczne w przypadku, gdy stosowano metodę kontaktową. Jak podają Nowacka & Wędzik (2016) ultradźwięki mogą prowadzić do zniszczenia chromoplastów, które są strukturalnie powiązane ze ścianą komórkową, a przez to zwiększać ekstrakcyjność karotenoidów. Otrzymane przeze mnie wyniki, wskazują, że elektroporacja może ułatwiać ten proces.

Jak wykazałem w opublikowanych pracach zastosowanie obróbki wstępnej wykorzystującej PEF i US, w dowolnej sekwencji, przyspiesza wymianę masy i w rezultacie prowadzi do skrócenia czasu suszenia konwekcyjnego i mikrofalowo-konwekcyjnego. Skrócony czas suszenia przy niskim zużyciu energii, związanym z aplikacją obróbki wstępnej, wpływa na obniżenie całkowitej energochłonności usuwania wody. Krótszy czas suszenia oraz zjawiska związane z mechanizmem oddziaływania PEF i US na komórki biologiczne, wpływają korzystnie na zawartość karotenoidów ogółem w suszach otrzymanych obiema technikami. Zmiany w budowie komórkowej tkanki marchwi na etapie obróbki wstępnej nie wpływały na przebieg uwadniania marchwi w gorącej wodzie. Miały jednak wpływ na mikrostrukturę i w konsekwencji na zdolność pochłaniania pary wodnej, przy czym charakter tych zmian uzależniony był od zastosowanej metody usuwania wody – mógł wiązać się zarówno ze wzrostem, jak i zmniejszeniem higroskopijności. Zastosowanie połączenia obu badanych metod a zwłaszcza sonikacji poprzedzonej aplikacją PEF korzystnie wpływało na zawartość karotenoidów w suszach marchwiowych niezależnie od zastosowanej metody usuwania wody. Pomimo tego kierunek zmiany barwy badanych próbek była raczej uwarunkowana zastosowaną techniką suszenia niż obecności i parametrami obróbki wstępnej.

4.3.3.3. Wpływu metod łączonych na przebieg suszenia poprzedzonego odwadnianiem osmotycznym oraz właściwości wysuszonej żurawiny

Trzeci etap badań dotyczył możliwości wykorzystania obróbki wstępnej łączącej US oraz PEF do wspomagania przebiegu procesu technologicznego przetwarzania żurawiny, który zawierał w swoim ciągu odwadnianie osmotyczne i suszenie. Eksperymenty te miały także wymiar praktyczny, gdyż ukierunkowane były na opracowanie technologii produkcji suszonej przekąski z krajowego gatunku żurawiny błotnej (*Vaccinium oxycoccos*), której zawartość cukru byłaby obniżona, a pozostałe właściwości poprawione w porównaniu z produktami obecnie dostępnymi na rynku. Należy dodać, że większość produktów dostępnych na rynku pochodzi z przerobu żurawiny wielkoowocowej, zwanej także amerykańską (*Vaccinium macrocarpon*), która przed procesem suszenia jest odwadniana w syropach cukrowych.

Wyniki badań zaprezentowano w dwóch artykułach: I.2.4 [Wiktor A., Nowacka M., Anuszewska A., Rybak K., Dadan M., & Witrowa-Rajchert D. (2019). Drying Kinetics and Quality of Dehydrated Cranberries Pretreated by Traditional and Innovative Techniques. *Journal of Food Science*, 84, 1820-1828] oraz I.2.5 [Nowacka M., Wiktor A., Anuszewska A., Dadan M., Rybak K., & Witrowa-Rajchert D. (2019). The application of unconventional technologies as pulsed electric field, ultrasound and microwave-vacuum drying in the production of dried cranberry snacks. *Ultrasonics Sonochemistry*, 56, 1-13]. W badaniach tych metody nietermiczne, tj. US i PEF, połączono dodatkowo z blanszowaniem. US aplikowano przez 30 min, stosując roztwory osmotyczne jako medium. Odwadnianie prowadzone było w roztworach sacharozy lub mieszaniny sacharozy z dodatkiem glikozydów stewiolowych przez 72 h. Z kolei blanszowanie stosowano przed aplikacją PEF w celu inaktywacji enzymów zawartych w żurawinie, gdyż wpływ PEF na aktywność enzymatyczną jest niejednoznaczny (Ohshima et al., 2007). Dodatkowym celem kombinacji PEF i blanszowania było usunięcie gazów z próbki w celu poprawy efektywności oddziaływania PEF (Chauhan et al., 2018). Za odwoławczą metodę obróbki wstępnej żurawiny posłużyło jej cięcie, które jest operacją powszechnie wykorzystywaną przez branżę. Warto dodać, że większość dostępnego na rynku asortymentu suszonej żurawiny to cięte owoce. W pracy I.2.4 przedstawiono wyniki, dotyczące kinetyki suszenia konwekcyjnego żurawiny poddanej opisanej powyżej obróbce wstępnej oraz następujące właściwości otrzymanych suszy: barwę, zawartość polifenoli ogółem, zawartość antocyjanów, zawartość flawonoidów, zawartość witaminy C, zawartość sacharozy, aktywność wody. Z kolei w publikacji I.2.5 zaprezentowano rezultaty badań nad wykorzystaniem suszenia mikrofalowo-próżniowego poddanych obróbce wstępnej owoców żurawiny. Jakość otrzymanych suszy oceniono na podstawie zmian barwy, zawartości polifenoli ogółem, zawartości antocyjanów, zawartości flawonoidów, zawartości witaminy C, właściwości przeciwutleniających, zawartości cukrów (sacharozy, glukozy i fruktozy), aktywności wody oraz oceny sensorycznej. W badaniach, będących podstawą w obu w/w pracach, obróbka US trwała 30 min, a aplikacja PEF polegała na zastosowaniu 10 impulsów o natężeniu 5,5 kV/cm (2 kJ/kg).

Czas suszenia konwekcyjnego po zastosowaniu obróbki wstępnej – polegającej na zastosowaniu kolejno: blanszowania, aplikacji PEF i sonikacji w roztworach osmotycznych – uległ skróceniu o 51,3 oraz 55,5%, gdy odwadnianie prowadzono w roztworze odpowiednio sacharozy oraz mieszaniny sacharozy z glikozydami stewiolowymi, w porównaniu z próbami referencyjnymi, tj. żurawiną ciętą (I.2.4). O intensyfikacji kinetyki usuwania wody świadczą także wartości efektywnego współczynnika dyfuzji wody. Gdy proces odwadniania osmotycznego prowadzono w roztworze sacharozy, wartość tego parametru wynosiła $1,35 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ w przypadku materiału ciętego przed usuwaniem wody oraz $2,00 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$, gdy żurawinę poddawano łączonej obróbce wstępnej. W przypadku próbek, które były odwadniane w roztworze trójskładnikowym, który zawierał poza sacharozą i wodą także glikozydy stewiolowe, efektywny współczynnik dyfuzji wody wynosił $2,08 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ i był ponad dwukrotnie wyższy w porównaniu z procesem kontrolnym (parametr ten przyjmował wartość $0,91 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$). Warto zauważyć, że efektywny współczynnik dyfuzji wody w przypadku wariantów, których przebieg wspomagany był wyłącznie blanszowaniem, był niższy niż wariantów wspomaganych kombinacją metod nietermicznych i blanszowania. Były to jednak różnice nieistotne ze statystycznego punktu widzenia. Analogiczne spostrzeżenia można wysunąć, porównując czasy suszenia próbek poddanych

działaniu wyłącznie blanszowania i jego połączenia z PEF i US (I.2.4). Porównując mechanizmy oddziaływania blanszowania, PEF i US należy wskazać, że zastosowanie wysokiej temperatury wpływa bardzo niszcząco na strukturę komórkową (Voda et al., 2012), co może „zasłaniać” oddziaływanie technik nietermicznych. Zastosowanie techniki mikrofalowo-próżniowej spowodowało skrócenie czasu suszenia o kilkadziesiąt razy w porównaniu z suszeniem gorącym powietrzem (I.2.5). Przykładowo, czas suszenia próbek referencyjnych, tj. ciętych przed odwadnianiem, wynosił 25 i 35 minut, gdy odwadnianie prowadzono w roztworach odpowiednio sacharozy i mieszaniny sacharozy z glikozydami stewiolowymi. Co ciekawe, czas suszenia próbek poddanych działaniu blanszowania, PEF i US nie różnił się istotnie od czasu procesu referencyjnego. Warto jednak podkreślić, że proces wspomagany obróbką wstępną trwał 31,5 oraz 38 minut, gdy odwadnianie prowadzono stosując odpowiednio stężony roztwór sacharozy i roztwór sacharozy z dodatkiem glikozydów stewiolowych. Bardzo podobne czasy suszenia otrzymano, gdy proces wspomagano wyłącznie blanszowaniem lub blanszowaniem łączonym z US. Istotnych, ze statystycznego punktu widzenia, różnic nie stwierdzono także w wartościach efektywnego współczynnika dyfuzji wody w przypadku wykorzystania roztworu trójskładnikowego. Gdy proces odwadniania osmotycznego prowadzono w sacharozie, to suszenie żurawiny ciętej charakteryzowało się efektywnym współczynnikiem dyfuzji wody, który wynosił $2,82 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Z kolei wartość tego parametru w przypadku owoców poddanych działaniu kombinacji blanszowania z metodami nietermicznymi i odwadnianych w tym samym medium była istotnie niższa i wynosiła $2,04 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$. Warto podkreślić, że suszenie mikrofalowo-konwekcyjne charakteryzowało się dyfuzyjnością, która była większa o dwa rzędy wielkości. Tak intensywne odparowanie wody może tłumaczyć brak efektu związanego z aplikacją metod, będących kombinacją blanszowania, PEF i US w porównaniu do żurawiny ciętej. Istnieją publikacje, które wskazują, że efekt np. obróbki wstępnej prowadzonej przy pomocy PEF jest wyraźniejszy, gdy suszenie przebiega w niskiej temperaturze, a więc charakteryzuje się mniejszą dynamiką zmian zawartości wody (Alam et al., 2018). Wartym odnotowania jest fakt, że nie stwierdzono dużych różnic pomiędzy przebiegiem suszenia próbek poddanych odwadnianiu w roztworze sacharozy a próbek odwadnianych w mieszaninie sacharozy i glikozydów stewiolowych, mimo wyraźnych różnic w stężeniu tych roztworów. Wyniki te mają bardzo duże znaczenie praktyczne, gdyż świadczą o tym, że w przypadku badanych warunków technologicznych, skład medium osmotycznego nie wpływał na kinetykę procesu suszenia. Tak samo efektywnie przebiega proces, w którym suszy się owoce żurawiny poddane obróbce wstępnej i odwadniane w 61,5% roztworze sacharozy jak i w roztworze o stężeniu 30% z 0,1% dodatkiem glikozydów stewiolowych. Należy zaznaczyć, że obserwacja ta dotyczy zarówno przebiegu suszenia konwekcyjnego, jak i mikrofalowo-próżniowego (I.2.4 i I.2.5). Warto także dodać, że zarówno próbki suszone konwekcyjnie, jak i mikrofalowo-konwekcyjnie charakteryzowały się aktywnością wody wynoszącą $\leq 0,6$, co gwarantowało ich mikrobiologiczną stabilność podczas przechowywania. Aktywność wody suszy konwekcyjnych (I.2.4) była jednocześnie niższa niż suszy mikrofalowo-próżniowych (I.2.5). Warto także zauważyć, że w przypadku, gdy przed suszeniem mikrofalowo-próżniowym stosowano obróbkę wstępną, polegającą na zastosowaniu blanszowania, PEF i US, otrzymywano produkt o wyższej aktywności wody (I.2.5). Przyczyną takich rezultatów może być wpływ PEF na zmianę dystrybucji wody w tkance świeżej (Dellarosa et al., 2017), co może wpływać na dostępność wody w suszu. Innym wytłumaczeniem może być przyspieszenie krystalizacji cukrów, które podnosi wartości aktywności wody (Zamora & Chirife, 2006) wskutek działania PEF i US (Hu et al., 2015; Zhang et al., 2015).

Nie odnotowano istotnych różnic pomiędzy współrzędnymi chromatycznymi badanych próbek suszonych gorącym powietrzem (I.2.4). Dotyczy to zarówno jasności, udziału barwy czerwonej-zielonej i udziału barwy żółtej-niebieskiej. Niemniej jednak, można stwierdzić, że próbki, które przed suszeniem odwadniane były w 61,5% roztworze sacharozy charakteryzowały się wyższą jasnością i niższymi wartościami parametru a^* i b^* . Biorąc jako materiał odniesienia materiał cięty i odwadniany w roztworze sacharozy, największą całkowitą zmianę barwy ($\Delta E = 4,6$) zanotowano w przypadku próbki ciętej i odwadnianej w 30% sacharozie, zawierającej dodatek glikozydów stewiolowych. Spośród wszystkich badanych wariantów próbka ta charakteryzowała się największym udziałem barwy czerwonej i żółtej. Natomiast warianty suszonych owoców otrzymane w procesach, w których

wykorzystano kombinację blanszowania, PEF i US charakteryzowały się całkowitą zmianą barwy, która wynosiła 3,4-3,6 w zależności od składu roztworu osmoaktywnego. Według niektórych badaczy wartości całkowitej zmiany barwy, które są większe niż 2 wskazują na to, że zmiana barwy jest widoczna gołym okiem przez niedoświadczonego obserwatora (Choi et al., 2002). Na wyraźną zmianę barwy wskazują jednak dopiero wartości powyżej ΔE w zakresie 3,5-5,0 (Mokrzycki & Tatoł, 2011). Susze otrzymane przy wykorzystaniu metody mikrofalowo-konwekcyjnej charakteryzowały się wyższymi wartościami współrzędnej L^* w porównaniu z materiałami suszonymi gorącym powietrzem, niezależnie od zastosowanych parametrów technologicznych (I.2.5). Co więcej, jasność próbek odwadnianych w bardziej stężonym roztworze sacharozy była większa, co związane było z większym udziałem cukru w suchej substancji suszu. Wartości a^* i b^* mieściły się w zakresie odpowiednio 8,3-16,4 i 2,7-8,2. Podobnie jak w przypadku parametru L^* , także udział barwy czerwonej był na ogół wyższy w przypadku suszy mikrofalowo-próżniowych niż w konwekcyjnych. Analiza statystyczna również w tym przypadku wykazała, że właściwości optyczne próbek poddanych przed suszeniem blanszowaniu, działaniu PEF i US nie różniły się istotnie od właściwości materiałów, które były cięte lub blanszowane przed odwadnianiem osmotycznym. Określono także całkowitą zmianę barwy w stosunku do materiału świeżego. Wszystkie spośród badanych próbek wykazywały wartości $\Delta E > 30$. Warto jednak odnotować, że materiał, który przed suszeniem mikrofalowo-konwekcyjnym był poddany działaniu kombinacji blanszowania, PEF i US a następnie odwadniany w roztworze zawierającym dodatek glikozydy stewiolowego, odznaczał się całkowitą zmianą barwy, która wynosiła $\Delta E = 39,3$, co było drugą najniższą wartością spośród wszystkich otrzymanych. Mniejszą zmianę barwy ($\Delta E = 36,3$) stwierdzono tylko, gdy materiał był blanszowany i sonikowany, lecz niepoddany działaniu PEF przed odwadnianiem w tym samym roztworze. Na brak wyraźnych zmian właściwości optycznych pomiędzy poszczególnymi wariantami technologicznymi suszonej objęta badanymi metodami żurawiny wpłynęły z pewnością charakter matrycy oraz stopień skomplikowania zastosowanego procesu technologicznego.

Sposób prowadzenia obróbki wstępnej żurawiny przed jej odwadnianiem i suszeniem gorącym powietrzem wpłynął na właściwości chemiczne suszy (I.2.4). Najwyższą zawartość polifenoli ogółem stwierdzono w żurawinie, która przed usuwaniem wody była blanszowana, a odwadnianie osmotyczne odbywało się w stężonym roztworze sacharozy. Z kolei najniższą zawartością tych substancji bioaktywnych odznaczała się próbka żurawiny, która przed odwadnianiem w tym samym roztworze była cięta. Nie zaobserwowano korzystnego i synergistycznego efektu, gdy blanszowanie połączono z aplikacją PEF i US – co więcej analiza statystyczna wykazała, że zawartość polifenoli ogółem tych próbek jest taka sama w ujęciu statystycznym jak w materiale ciętym. Takie wyniki mogą być początkowo traktowane jako odmienne od spodziewanych. Zniszczenie struktury wewnętrznej powinno bowiem korzystnie wpływać na ekstrakcyjność polifenoli. Jednakże należy pamiętać, że aplikacja US i PEF jest związana z generowaniem reaktywnych molekuł chemicznych, które mogą utleniać polifenole. Dodatkowo, zniszczona struktura wewnętrzna będzie intensyfikowała wymianę masy, co wpłynie na wyciek polarnych polifenoli do otoczenia i w konsekwencji obniży ich zawartość w materiale po procesie suszenia. Jest zatem zasadne stwierdzenie, że zawartość składników bioaktywnych w materiale poddanym działaniu metod nietermicznych jest „superpozycją” zjawisk, które ich aplikacja powoduje, a które to mogą ze sobą „konkurować” i których konsekwencje mogą być odmienne. Nie wydaje się, aby możliwym wytłumaczeniem była też zwiększona aktywność oksydaz, gdyż próbki przed zastosowaniem PEF i US były blanszowane. Na oksydacyjny charakter obróbki PEF oraz US wskazuje także niska zawartość witaminy C w próbkach, które były blanszowane, poddane działaniu PEF i US, a następnie odwadniane w roztworze sacharozy i glikozydów stewiolowych. Interesująco, zwłaszcza w odniesieniu do zawartości polifenoli ogółem i witaminy C, prezentują się wyniki dotyczące antocyjanów oraz flawonoidów. W przypadku flawonoidów nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy analizowanymi wariantami obróbki technologicznej. Z kolei w przypadku antocyjanów, żurawina poddana działaniu blanszowania, PEF i US charakteryzowała się istotnie wyższą ich zawartością w porównaniu z materiałem ciętym i istotnie niższą w porównaniu z materiałem wyłącznie blanszowanym. Na tej podstawie można wysunąć wniosek na temat wrażliwości i kolejności degradacji poszczególnych grup przeciwutleniaczy wskutek aplikacji PEF i US. Co więcej, istotna wydaje

się także rozpuszczalność w wodzie, która jest czynnikiem wspierającym ubytek danych substancji wskutek ich wycieku do otoczenia. Przykładowo, część flawonoidów, które znajdują się w matrycach roślinnych, występuje w komórkach w postaci aglikonów charakteryzujących się słabą rozpuszczalnością w wodzie (Kanaze et al., 2006). Innym czynnikiem, który może mieć znaczenie jest także miejsce w komórce, w którym przechowywane są dane substancje bioaktywne – mogą się one znajdować w wakuoli jak i być rozproszone w soku komórkowym. Największą zawartość witaminy C w badanych suszach z owoców żurawiny stwierdzono w przypadku materiału poddanego blanszowaniu i odwadnianego w roztworze zawierającym dodatek glikozydów stewiolowych. Połączenie blanszowania z metodami nietermicznymi skutkowało istotnym, w ujęciu statystycznym, obniżeniem zawartości witaminy C w porównaniu do próbki wyłącznie blanszowanej i odwadnianej w roztworze o niższym stężeniu sacharozy i dodatku glikozydów stewiolowych. Co ciekawe, gdy odwadnianie osmotyczne prowadzone było w 61,5% roztworze sacharozy zawartość witaminy C w próbkach poddanych obróbce technologicznej z wykorzystaniem blanszowania, sonikacji i PEF, nie różniła się statystycznie istotnie w porównaniu z materiałem blanszowanym i ciętym. Podobną zależność zaobserwowano w przypadku antocyjanów ogółem. Próbki, które były odwadniane w stężonym roztworze sacharozy charakteryzowały się większą zawartością antocyjanów ogółem niż próbki odwadniane w roztworze trójskładnikowym, w którym stężenie sacharozy było dwukrotnie niższe. Wyniki te pozostają w zgodzie z danymi literaturowymi, które potwierdzają ochronną rolę cukrów w stosunku do degradacji antocyjanów, na przykładzie układu modelowego zawierającego ketmię szczawiovą (zwaną hibiskusem) (Tsai et al., 2004) czy też dzemu truskawkowego (Watanabe et al., 2011). Podobne zależności uzyskano w przypadku badania właściwości chemicznych suszy mikrofalowo-próżniowych (1.2.5). Susze otrzymane w wyniku procesu technologicznego, uwzględniającego odwadnianie osmotyczne prowadzone w 61,5% roztworze sacharozy, blanszowanie, sonikację i oddziaływanie PEF, charakteryzowały się zbliżoną zawartością flawonoidów, antocyjanów oraz witaminy C w porównaniu z próbką wyłącznie blanszowaną. Zawierały natomiast większą ilość polifenoli ogółem niż suszona blanszowana żurawina. Warto także dodać, że aktywność przeciwutleniająca, badana z wykorzystaniem wolnego rodnika DPPH i wyrażana jako EC50, materiałów poddanych wyłącznie blanszowaniu jak i kombinacji blanszowania z metodami nietermicznymi była zbliżona i nie różniła się ze statystycznego punktu widzenia. Należy jednak podkreślić, że aktywność antyoksydacyjna obu tych próbek była wyższa zarówno w porównaniu do żurawiny dostępnej na rynku, jak i żurawiny referencyjnej otrzymanej w laboratorium tradycyjną metodą, tj. ciętą, odwadnianą w 61,5% roztworze sacharozy i suszoną konwekcyjnie. W przypadku suszy otrzymanych w reżimie technologicznym, w którego skład wchodziło działanie US, PEF i blanszowanie, zwiększenie aktywności przeciwutleniającej w stosunku do materiału referencyjnego wynosiła 37% i była istotna statystycznie. Co ciekawe, gdy odwadnianie prowadzone było w roztworze o obniżonej zawartości sacharozy i z dodatkiem glikozydów stewiolowych wzrost aktywności przeciwutleniającej materiału blanszowanego, sonikowanego oraz potraktowanego PEF w stosunku do materiału kontrolnego wynosił 43% i również miała charakter istotny statystycznie. Co więcej, aktywność antyoksydacyjna tych próbek była istotnie wyższa niż żurawiny poddanej wyłącznie blanszowaniu. Wyniki te są szczególnie interesujące, zwłaszcza że próbki odwadniane w roztworze trójskładnikowym, blanszowane, sonikowane i poddane działaniu PEF charakteryzowały się istotnie niższą zawartością polifenoli ogółem, witaminy C i antocyjanów ogółem w porównaniu z żurawiną, która przed usuwaniem wody była wyłącznie blanszowana. Przyczyny występowania różnic w zawartości omawianych składników bioaktywnych w suszach mikrofalowo-próżniowym są analogiczne do tych przywołanych dla suszy konwekcyjnych.

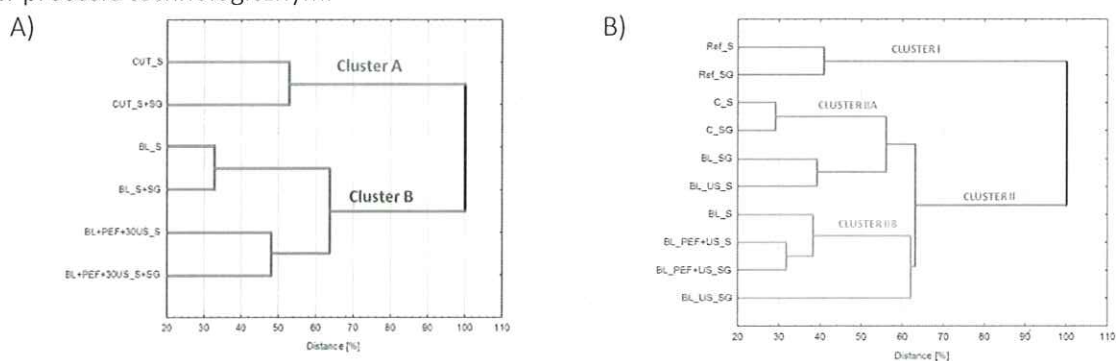
Zawartość cukrów prostych w żurawinie suszonej, otrzymywanej przy wykorzystaniu tradycyjnych technologii, jest bardzo wysoka i wynosi zazwyczaj > 60%. Tak wysoka zawartość cukrów prostych związana jest koniecznością stosowania odwadniania osmotycznego prowadzonego w roztworach cukrów w celu wyeliminowania cierpkiego i kwaśnego smaku żurawiny. Można zatem stwierdzić, że dostępna na rynku suszona żurawina, jako przekąska, nie wpisuje się w obecnie dominujące megatrendy i rekomendacje żywieniowe, wskazujące na konieczność ograniczania spożycia cukru w diecie (World Health Organization, 2015). Jak wykazano w opublikowanych przeze mnie pracach naukowych,

rozwiązaniem tego problemu może być wykorzystanie innej niż cięcie obróbki wstępnej owoców przed ich dalszym przetwarzaniem i/lub roztworu osmotycznego o obniżonej do 30% zawartości sacharozy i dodatku glikozydów stewiolowych, zapewniających pożądaną słodkość owoców. Zawartość sacharozy w suszonych gorącym powietrzem i odwadnianych w 61,5% roztworze sacharozy owocach żurawiny, która przed usuwaniem wody była cięta na połówki wynosiła 44,9% (I.2.4). Z kolei próbki, które zostały przygotowane z zastosowaniem blanszowania lub blanszowania połączonego z działaniem US i PEF, charakteryzowały się zawartością sacharozy wynoszącą odpowiednio 23,2 i 30,8%. Analiza statystyczna wykazała, że wyniki te nie różniły się istotnie od siebie, natomiast były istotnie niższe w porównaniu z ciętą próbką referencyjną, odwadnianą przed suszeniem w stężonym roztworze sacharozy. Co ciekawe, zawartość sacharozy w tych próbkach nie różniła się istotnie od jej zawartości w materiale, który przed suszeniem był cięty lub blanszowany, a następnie odwadniany w 30% roztworze sacharozy z dodatkiem glikozydów. Z kolei istotnie niższą zawartość sacharozy w porównaniu do próbki referencyjnej odnotowano w owocach odwadnianych w roztworze trójskładnikowym, ale powstałych w procesie uwzględniającym blanszowanie, sonikację oraz aplikację PEF. Materiał ten zawierał aż 2,3-krotnie mniej tego cukru niż próbki referencyjne, tj. cięte i odwadniane w 61,5% roztworze sacharozy. Warto w tym miejscu ponownie podkreślić, że rodzaj medium odwadniającego nie wpływał istotnie na przebieg suszenia konwekcyjnego żurawiny, a próbki poddane obróbce łączącej blanszowanie z metodami nietermicznymi charakteryzowały się najkrótszym czasem suszenia. Wskazuje to jednoznacznie na możliwość wykorzystania roztworu osmotycznego o niższym stężeniu w połączeniu z glikozydami stewiolowymi w celu obniżenia zawartości cukru w suszonych owocach żurawiny, bez negatywnego wpływu na kinetykę procesu. Podobne wyniki otrzymano w przypadku żurawiny suszonej metodą mikrofalowo-próżniową (I.2.5). Także i w tym przypadku najniższą zawartością sacharozy (24,2%) odznaczał się materiał odwadniany w roztworze z dodatkiem glikozydów stewiolowych, który był blanszowany, sonikowany i poddany działaniu PEF. Próbki te zawierały 1,8-krotnie mniej sacharozy niż cięta żurawina odwadniana w 61,5% roztworze sacharozy, a następnie wysuszona gorącym powietrzem oraz 1,6-krotnie mniej sacharozy niż cięte owoce odwadniane w stężonym syropie, ale wysuszone mikrofalowo-próżniowo. Nie stwierdzono istotnych różnic w zawartości glukozy oraz fruktozy w badanych suszach żurawinowych. Wyniki te mogą wydawać się zaskakujące na pierwszy „rzut oka”, zwłaszcza znając konsekwencje jakie wywołuje blanszowanie czy aplikacja PEF w budowie komórkowej układów biologicznych. Jednakże, pewnych analogii można dopatrzeć się w literaturze przedmiotu. Przykładowo, istnieją doniesienia naukowe wskazujące, że tkanka potraktowana przed odwadnianiem osmotycznym PEF charakteryzowała się istotnie wyższym ubytkiem wody, natomiast przyrost suchej substancji (a zatem zawartości cukrów) nie różnił się istotnie w porównaniu z materiałem niepoddanym żadnej obróbce wstępnej (Amami et al., 2007; Wiktor et al., 2014). Może być to związane z rozmiarami powstałych w membranach porów, które umożliwiają transport cząsteczek wody, natomiast uniemożliwiają dyfuzję dużych i sferycznych cząsteczek cukrów prostych. Istotnym, i prawdopodobnie dominującym czynnikiem jest także fakt, że żurawina poddawana tradycyjnej obróbce jest cięta przed usuwaniem wody, co otwiera jej strukturą oraz zwiększa powierzchnię kontaktu międzyfazowego.

Susze wyprodukowane techniką mikrofalowo-próżniową poddano także analizie sensorycznej, przeprowadzonej przez 15 osób z wykluczonym daltonizmem smakowym (I.2.5). W analizie tej oceniono barwę, kwaśność, słodkość, wyczuwalność obcych posmaków, teksturę, kształt oraz ogólną jakość suszonych owoców żurawiny. Prototypowe susze wyprodukowane w laboratorium porównano także z produktem komercyjnym dostępnym na lokalnym rynku. Susze otrzymane metodą mikrofalowo-konwekcyjną, bez względu na skład zastosowanego roztworu odwadniającego charakteryzowały się lepszą ogólną jakością niż produkt komercyjny czy też owoce suszone gorącym powietrzem. Próbki odwadniane w stężonym syropie sacharozowym wykazywały większą twardość niż pozostałe analizowane próbki, bez względu na rodzaj technologii zastosowanej do produkcji prototypów. Jednakże, oceniający wskazali, że susze mikrofalowo-próżniowe miały mniej słodki smak w porównaniu do próbki komercyjnej, co związane było z jej wyższą zawartością cukru. Dokonujący oceny sensorycznej wskazali również, że barwa próbek odwadnianych w stężonym roztworze sacharozy, poddanych blanszowaniu, sonikacji i oddziaływania PEF i wysuszonych mikrofalowo-

konwekcyjnie była lepsza niż pozostałych próbek wysuszonych tą samą metodą oraz próbki komercyjnej, ale gorsza niż żurawiny wysuszonej metodą konwekcyjną. Właściwości sensoryczne materiału powstałego przy zastosowaniu roztworu o obniżonej zawartości sacharozy, ale z dodatkiem glikozydów stewiolowych były zbliżone do tych, które posiadały próbki odwadniane w 61,5% roztworze sacharozy. Jedyną zauważalną różnicą była mniejsza twardość żurawiny wysuszonej mikrofalowo-próżniowo w porównaniu do próbki rynkowej. Ciekawe było także spostrzeżenie oceniających, dotyczące kształtu badanych próbek. Wskazali oni, że produkt komercyjny wykazywał najbardziej okrągły kształt ze wszystkich badanych materiałów, pomimo tego, że także występował w postaci ciętej. Było to najprawdopodobniej spowodowane różnicami gatunkowymi. W badaniach wykorzystano krajową żurawinę błotną (*Vaccinium oxycoccus*), natomiast susze dostępne w handlu najczęściej powstają z żurawiny wielkoowocowej, zwanej także amerykańską (*Vaccinium macrocarpon*).

Ze względu na mnogość zbadanych właściwości oraz w celu kompleksowej analizy i porównania próbek żurawiny suszonej obiema metodami przeprowadzono analizę skupień metodą aglomeracyjną. W analizę hierarchicznej zastosowano odległość euklidesową oraz grupowanie metodą Warda (rysunek 5). Metoda ta pozwala pogrupować analizowane warianty w stosunkowo jednorodne klastry, stosując funkcje podobieństwa pomiędzy poszczególnymi elementami, umożliwiając tym samym uogólnianie. W przypadku suszenia konwekcyjnego próbki otrzymane w procesie tradycyjnym, tj. usuwanie wody poprzedzone cięciem żurawiny na połówki, zostały sklasyfikowane w jednym, dwuelementowym klastrze (rysunek 5A). Oznacza to, że bez względu na rodzaj zastosowanego roztworu osmotycznego ich właściwości były zbliżone do siebie, a odległość pomiędzy nimi wynosiła ok. 53%. Pozostałe warianty technologiczne, które uwzględniały zastosowanie blanszowania lub blanszowania w kombinacji z sonikacją i działaniem PEF, znalazły się w osobnej grupie. W tym przypadku tendencja była taka sama, tj. rodzaj medium osmotycznego w mniejszym stopniu wpływał na zróżnicowanie próbek niż wykorzystane techniki procesowe, przy czym to próbki wyłącznie blanszowane były bardziej podobne do siebie. Do podobnych stwierdzeń można dojść, analizując dendrogram, będący graficzną interpretacją analizy skupień, przeprowadzonej dla próbek otrzymanych metodą mikrofalowo-próżniową (rysunek 5B). W tym przypadku w porównaniu uwzględniono także materiał otrzymany poprzez suszenie gorącym powietrzem – został on zgrupowany w osobnym dwuelementowym klastrze. Z kolei próbki cięte przed usuwaniem wody i suszeniem mikrofalowo-próżniowym odwadniane w obu badanych roztworach zostały sklasyfikowane jako bardzo podobne do siebie i utworzyły podgrupę klastra, który zawierał wszystkie warianty suszone mikrofalowo-próżniowo. Oba warianty żurawiny poddanej działaniu blanszowania, sonikacji i PEF charakteryzowały się podobnymi właściwościami i także utworzyły osobną podgrupę. Uogólniając, można stwierdzić, że wykorzystanie w procesie produkcji roztworu o obniżonej zawartości sacharozy i z dodatkiem glikozydów stewiolowych umożliwia otrzymanie produktu o podobnej jakości. Sama jakość produktów jest natomiast kształtowana przez techniki zastosowane w procesie technologicznym.



Rysunek 5. Dendrogramy analizy skupień przeprowadzonej dla żurawiny wysuszonej metodą A) konwekcyjną (I.2.4), B) mikrofalowo-próżniową (I.2.5).

Opublikowane prace wskazują, że zastosowanie kombinacji metod nietermicznych (PEF i US) z metodą termiczną, jaką jest blanszowanie, wspomaga przebieg procesu produkcji suszonej żurawiny zarówno, gdy suszenie realizowane jest metodą konwekcyjną, jak i mikrofalowo-próżniową. Szczególnie widoczny jest efekt tak prowadzonej obróbki na skrócenie czasu suszenia gorącym powietrzem w porównaniu z obróbką mechaniczną owoców, polegającą na ich cięciu. Zastosowanie w procesie technologicznym połączenia blanszowania z US oraz PEF pozwala w większym stopniu niż tradycyjna obróbka (tj. cięcie owoców na połówki) zachować wybrane właściwości chemiczne. Należy wskazać jednocześnie, że pomimo tego, że blanszowanie stosowane samodzielnie prowadzi do osiągnięcia zbliżonych korzyści w zakresie retencji związków bioaktywnych, to kombinacja blanszowania z metodami nietermicznymi i suszeniem mikrofalowo-próżniowym prowadzi do otrzymania produktów o lepszych właściwościach przeciwutleniających. Co więcej, zastosowanie technologii wykorzystującej kombinację blanszowania, sonikacji i działania PEF oraz odwadniania realizowanego w roztworze o obniżonej zawartości sacharozy i zawierającym dodatek glikozydów stewiolowych umożliwia istotnie obniżyć zawartość sacharozy w suszonych owocach, bez względu na zastosowaną technikę suszenia, w porównaniu do próbek referencyjnych.

4.3.4. Podsumowanie

Przedstawione w Osiągnięciu stanowiącym cykl publikacji wyniki pogłębiają, a w niektórych aspektach dostarczają zupełnie nowej wiedzy na temat wpływu kombinacji nietermicznych metod na przebieg suszenia tkanki roślinnej i właściwości suszy. Dodatkowo, zaprezentowane wyniki mają znaczenie zarówno w obszarze nauk podstawowych – dostarczają bowiem nowych informacji w zakresie mechanizmu oddziaływania US, PEF i ich kombinacji na roślinne układy komórkowe – jak i w obszarze nauk stosowanych – wskazują na możliwość wykorzystania konsekwencji i efektów spowodowanych oddziaływaniem kombinacji metod nietermicznych i/lub termicznych w stosunkowo prostych procesach technologicznych suszenia konwekcyjnego i mikrofalowo-konwekcyjnego tkanki marchwi i bardziej złożonych procesach usuwania wody z żurawiny błotnej.

Na podstawie przeprowadzonych badań można zatem sformułować następujące szczegółowe wnioski:

- W metodzie obróbki tkanki pochodzenia roślinnego, polegającej na sekwencyjnej aplikacji PEF i US, sonikację należy traktować jako etap wspomagający przebieg elektroporacji.
- Pomiar właściwości mechanicznych i akustycznych może służyć jako narzędzie, pozwalające ocenić efektywność aplikacji PEF oraz metody kombinowanej opartej na działaniu PEF i US. Określenie tych właściwości stanowi uzupełnienie technik opartych na wyznaczeniu wielkości elektrycznych. Jednakże, to analizę wielkości elektrycznych tkanki roślinnej należy uznać za podstawową metodę do pośredniej oceny integralności struktury wewnętrznej (komórkowej) materiału poddanego obróbce z wykorzystaniem PEF i US.
- Zastosowanie metody łączonej, opartej na działaniu PEF i US, skraca czas suszenia konwekcyjnego oraz mikrofalowo-konwekcyjnego tkanki marchwi, co, uwzględniając niskie zużycie energii towarzyszące obróbce wstępnej, obniża energochłonność procesu suszenia o maksymalnie 40 i 50%, w przypadku odpowiednio suszenia konwekcyjnego oraz mikrofalowo-konwekcyjnego.
- Obróbka wstępna realizowana metodą opartą na działaniu PEF i US przed suszeniem marchwi korzystnie wpływa na zawartość karotenoidów w suszach, otrzymanych przy zastosowaniu techniki konwekcyjnej oraz mikrofalowo-konwekcyjnej.
- Wybór kolejności stosowania poszczególnych technik oraz sposobu sonikacji powinien być podyktowany celem technologicznym oraz następującym po obróbce procesem jednostkowym, a także sposobem jego realizacji. Przykładowo, jeżeli głównym celem stosowania obróbki jest skrócenie czasu suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego marchwi,

sonikacją immersyjną powinna poprzedzać oddziaływanie PEF. Natomiast w przypadku suszenia konwekcyjnego ta sekwencja powinna być odwrotna. Z kolei, gdy celem jest jak największa zawartość karotenoidów w suszu, to US powinny być aplikowane dopiero po PEF, przy czym w przypadku suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego wskazane jest zastosowanie sonikacji kontaktowej, natomiast w suszeniu konwekcyjnym, metody immersyjnej. Biorąc powyższe pod uwagę, należy stwierdzić, że nie jest możliwe uogólnienie wpływu łącznia badanych technik na przebieg procesów jednostkowych oraz jakość bez przeprowadzanie szczegółowych i ukierunkowanych badań.

- Kombinacja metod nietermicznych PEF i US z blanszowaniem pozwala skrócić czas suszenia konwekcyjnego owoców żurawiny błotnej odwadnianej osmotycznie o maksymalnie 55% w porównaniu z tradycyjną techniką, polegającą na cięciu owoców. Należy jednak zauważyć, że redukcja czasu suszenia wskutek zastosowania metody łączonej jest niewiele wyższa (3-5 p.p., w zależności od składu roztworu osmotycznego) w porównaniu do procesu wspomaganego wyłącznie blanszowaniem. Sformułowanie definitywnego wniosku w tym zakresie wymaga prowadzenia dalszych badań, zwłaszcza, że energochłonność obróbki wstępnej prowadzonej metodami nietermicznymi jest niewielka w porównaniu do blanszowania czy suszenia.
- Nie obserwuje się skrócenia czasu suszenia mikrofalowo-próżniowego odwadnianych owoców żurawiny błotnej wskutek zastosowania obróbki łączącej PEF, US i blanszowanie czy też polegającej na samym blanszowaniu w porównaniu do procesu referencyjnego, tj. poprzedzonego cięciem owoców na połówki.
- Zastosowanie kombinacji PEF, US i blanszowania pozwala otrzymać przekąskę z suszonych mikrofalowo-próżniowo owoców żurawiny, odwadnianych w roztworze sacharozy i glikozydów stewiolowych, o istotnie zredukowanej zawartości sacharozy. Wartością dodaną tak przetworzonych owoców jest ich większa aktywność przeciwutleniająca w porównaniu z suszami otrzymanymi tradycyjnie lub przy wspomaganianiu wyłącznie blanszowaniem.

4.3.5. Spis literatury:

- Alam, M. R., Lyng, J. G., Frontuto, D., Marra, F., & Cinquanta, L. (2018). Effect of Pulsed Electric Field Pretreatment on Drying Kinetics, Color, and Texture of Parsnip and Carrot. *Journal of Food Science*, 83(8), 2159–2166. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14216>
- Amami, E., Fersi, A., Vorobiev, E., & Kechaou, N. (2007). Osmotic dehydration of carrot tissue enhanced by pulsed electric field, salt and centrifugal force. *Journal of Food Engineering*, 83, 605-613. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.04.021>
- Arvanitoyannis, I. S., Kotsanopoulos, K. V., & Savva, A. G. (2017). Use of ultrasounds in the food industry—Methods and effects on quality, safety, and organoleptic characteristics of foods: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57, 109-128. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.860514>
- Asavasanti, S., Ersus, S., Ristenpart, W., Stroeve, P., & Barrett, D. M. (2010). Critical electric field strengths of onion tissues treated by pulsed electric fields. *Journal of Food Science*, 75, E433. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01768.x>
- Barba, F. J., Parniakov, O., Pereira, S. A., Wiktor, A., Grimi, N., Boussetta, N., Saraiva, J. A., Raso, J., Martin-Belloso, O., Witrowa-Rajchert, D., Lebovka, N., & Vorobiev, E. (2015). Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. *Food Research International*, 77, 773–798. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.09.015>
- Carrillo-Lopez, L. M., Alarcon-Rojo, A. D., Luna-Rodriguez, L., & Reyes-Villagrana, R. (2017). Modification of food systems by ultrasound. *Journal of Food Quality*, 2017, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2017/5794931>
- Chauhan, O. P., Sayanfar, S., & Toepfl, S. (2018). Effect of pulsed electric field on texture and drying time of apple slices. *Journal of Food Science and Technology*, 55(6), 2251–2258. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3142-x>
- Choi, M. H., Kim, G. H., & Lee, H. S. (2002). Effects of ascorbic acid retention on juice color and pigment stability in blood orange (*Citrus sinensis*) juice during refrigerated storage. *Food Research International*, 35, 753-759. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(02\)00071-6](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(02)00071-6)
- Ciurzyńska, A., Jasiorowska, A., Ostrowska-Ligeża, E., & Lenart, A. (2019). The influence of the structure on the sorption properties and phase transition temperatures of freeze-dried gels. *Journal of Food Engineering*, 252, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.008>
- Das, I., Kumar, G., & Shah, N. G. (2013). Microwave heating as an alternative quarantine method for disinfection of stored food grains. *International Journal of Food Science*, 2013, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2013/926468>

- Dellarosa, N., Frontuto, D., Laghi, L., Dalla Rosa, M., & Lyng, J. G. (2017). The impact of pulsed electric fields and ultrasound on water distribution and loss in mushrooms stalks. *Food Chemistry*, 236, 94–100. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.105>
- Eskin, G. I. (1995). Cavitation mechanism of ultrasonic melt degassing. *Ultrasonics - Sonochemistry*, 2, 137-141. [https://doi.org/10.1016/1350-4177\(95\)00020-7](https://doi.org/10.1016/1350-4177(95)00020-7)
- Fereidoon, S., & Ying, Z. (2010). Lipid oxidation and improving the oxidative stability. *Chemical Society Reviews*, 39, 4067-4079. <https://doi.org/10.1039/b922183m>
- Galindo, F. G. (2017). Responses of plant cells and tissues to pulsed electric field treatments. In *Handbook of Electroporation* (Ed. D. Miklavčič, pp. 2621–2635). Springer International Publishing.
- Giteru, S. G., Oey, I., & Ali, M. A. (2018). Feasibility of using pulsed electric fields to modify biomacromolecules: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 72, 91–113. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.009>
- Giuntini, F., Foglietta, F., Marucco, A. M., Troia, A., Dezhkunov, N. V., Pozzoli, A., Durando, G., Fenoglio, I., Serpe, L., & Canaparo, R. (2018). Insight into ultrasound-mediated reactive oxygen species generation by various metal-porphyrin complexes. *Free Radical Biology and Medicine*, 121, 190-201. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2018.05.002>
- Hu, B., Huang, K., Zhang, P., Zeng, X. A., Han, Z., & Yu, S. (2015). Pulsed Electric Field Effects on Sucrose Nucleation at Low Supersaturation. *Sugar Tech*, 17, 77-84. <https://doi.org/10.1007/s12355-014-0331-4>
- Kanaze, F. I., Kokkalou, E., Niopas, I., Georgarakis, M., Stergiou, A., & Bikiaris, D. (2006). Thermal analysis study of flavonoid solid dispersions having enhanced solubility. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 83, 283-290. <https://doi.org/10.1007/s10973-005-6989-9>
- Kanduser, M., & Miklavcic, D. (2009). Electroporation in Biological Cell and Tissue: An Overview. In E. Vorobiev & N. Lebovka (Eds.), *Electrotechnologies for Extraction from Food Plants and Biomaterials* (pp. 1–37). Springer Science+Business Media, LLC.
- Kol, H. Ş. (2009). Thermal and dielectric properties of pine wood in the transverse direction. *BioResources*, 4, 1663-1669. <https://doi.org/10.15376/biores.4.4.1663-1669>
- Kowalski, S. J., & Rybicki, A. (2017). Ultrasound in wet biological materials subjected to drying. *Journal of Food Engineering*, 212, 271-282. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.032>
- Lavelli, V., Zanoni, B., & Zaniboni, A. (2007). Effect of water activity on carotenoid degradation in dehydrated carrots. *Food Chemistry*, 104(4), 1705–1711. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.033>
- Lebovka, N. I., Bazhal, M. I., & Vorobiev, E. (2002). Estimation of characteristic damage time of food materials in pulsed-electric fields. *Journal of Food Engineering*, 54, 337-346. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00220-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00220-5)
- Li, J., Ahn, J., Liu, D., Chen, S., Ye, X., & Ding, T. (2016). Evaluation of ultrasoundinduced damage to *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* by flow cytometry and transmission electron microscopy. *Applied and Environmental Microbiology*, 82, 1828-1837. <https://doi.org/10.1128/AEM.03080-15>
- Manzoor, M. F., Zeng, X. A., Rahaman, A., Siddeeg, A., Aadil, R. M., Ahmed, Z., Li, J., & Niu, D. (2019). Combined impact of pulsed electric field and ultrasound on bioactive compounds and FT-IR analysis of almond extract. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 2355-2364. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03627-7>
- Medina-Meza, I. G., Boioli, P., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2016). Assessment of the Effects of Ultrasonics and Pulsed Electric Fields on Nutritional and Rheological Properties of Raspberry and Blueberry Purees. *Food and Bioprocess Technology*, 9(3), 520–531. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1642-5>
- Miano, Alberto C., Rojas, M. L., & Augusto, P. E. D. (2017). Other Mass Transfer Unit Operations Enhanced by Ultrasound. In *Ultrasound: Advances in Food Processing and Preservation* (pp. 369-389), Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804581-7.00015-4>
- Miano, Alberto Claudio, 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. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.10.020>
- Mokrzycki, W., & Tatol, M. (2011). Colour difference ΔE —a survey. *Machine Graphics Vision*, 20, 383–411.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.06.011>
- Ohl, C. D., Arora, M., Ikin, R., De Jong, N., Versluis, M., Delius, M., & Lohse, D. (2006). Sonoporation from jetting cavitation bubbles. *Biophysical Journal*, 91, 4285-4295. <https://doi.org/10.1529/biophysj.105.075366>
- Ohshima, T., Tamura, T., & Sato, M. (2007). Influence of pulsed electric field on various enzyme activities. *Journal of Electrostatics*, 65, 156–161. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2006.07.005>
- Ojha, K. S., Mason, T. J., O'Donnell, C. P., Kerry, J. P., & Tiwari, B. K. (2017). Ultrasound technology for food fermentation applications. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 410-417. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.001>
- Parniakov, O., Bals, O., Lebovka, N., & Vorobiev, E. (2016). Pulsed electric field assisted vacuum freeze-drying of apple tissue. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 35, 52–57. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.04.002>
- Pataro, G., Falcone, M., Donsì, G., & Ferrari, G. (2014). Metal release from stainless steel electrodes of a PEF treatment chamber: Effects of electrical parameters and food composition. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 21, 58-65. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.10.005>
- Peruzzi, G., Sinibaldi, G., Silvani, G., Ruocco, G., & Casciola, C. M. (2018). Perspectives on cavitation enhanced endothelial layer permeability. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 168, 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2018.02.027>
- Pillet, F., Formosa-Dague, C., Baaziz, H., Dague, E., & Rols, M. P. (2016). Cell wall as a target for bacteria inactivation by pulsed electric fields. *Scientific Reports*, 6, 19778. <https://doi.org/10.1038/srep19778>

- Ruzgys, P., Novickij, V., Novickij, J., & Šatkauskas, S. (2019). Influence of the electrode material on ROS generation and electroporation efficiency in low and high frequency nanosecond pulse range. *Bioelectrochemistry*, 127, 87-93. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2019.02.002>
- Sakihama, Y., Cohen, M. F., Grace, S. C., & Yamasaki, H. (2002). Plant phenolic antioxidant and prooxidant activities: Phenolics-induced oxidative damage mediated by metals in plants. *Toxicology*, 177, 67-89. [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(02\)00196-8](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(02)00196-8)
- Schössler, K., Thomas, T., & Knorr, D. (2012). Modification of cell structure and mass transfer in potato tissue by contact ultrasound. *Food Research International*, 49(1), 425-431. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.027>
- Siddeeg, A., Zeng, X. A., Rahaman, A., Manzoor, M. F., Ahmed, Z., & Ammar, A. F. (2019). Quality characteristics of the processed dates vinegar under influence of ultrasound and pulsed electric field treatments. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 4380-4389. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03906-3>
- Teissie, J. (2017). Critical Electric Field and Transmembrane Voltage for Lipid Pore Formation in Experiments. In *Handbook of Electroporation* (Ed. D. Miklavčič, pp. 25-43), Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-26779-1_77-1
- Tian, Y., Liu, Z., Li, X., Zhang, L., Li, R., Jiang, R., & Dong, F. (2018). The cavitation erosion of ultrasonic sonotrode during large-scale metallic casting: Experiment and simulation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 43, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2017.12.053>
- Toepfl, S., Siemer, C., Saldaña-Navarro, G., & Heinz, V. (2014). Overview of Pulsed Electric Fields Processing for Food. In *Emerging Technologies for Food Processing* (Ed. D-W. Sun, pp. 93-114), Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-411479-1.00006-1>
- Tsai, P. J., Hsieh, Y. Y., & Huang, T. C. (2004). Effect of Sugar on Anthocyanin Degradation and Water Mobility in a Roselle Anthocyanin Model System Using ¹⁷O NMR. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 3097-3099. <https://doi.org/10.1021/jf0306587>
- Tylewicz, U., Aganovic, K., Vannini, M., Toepfl, S., Bortolotti, V., Dalla Rosa, M., Oey, I., & Heinz, V. (2016). Effect of pulsed electric field treatment on water distribution of freeze-dried apple tissue evaluated with DSC and TD-NMR techniques. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 37, 352-358. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.06.012>
- Voda, A., Homan, N., Witek, M., Duijster, A., van Dalen, G., van der Sman, R., Nijse, J., van Vliet, L., Van As, H., & van Duynhoven, J. (2012). The impact of freeze-drying on microstructure and rehydration properties of carrot. *Food Research International*, 49(2), 687-693. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.08.019>
- Wang, L., Boussetta, N., Lebovka, N., Lefebvre, C., & Vorobiev, E. (2019). Correlations between disintegration degree of fruit skin cells induced by ultrasound and efficiency of bio-compounds extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 52, 280-285. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.11.026>
- Wang, W., Chen, W., Zou, M., Lv, R., Wang, D., Hou, F., Feng, H., Ma, X., Zhong, J., Ding, T., Ye, X., & Liu, D. (2018). Applications of power ultrasound in oriented modification and degradation of pectin: A review. *Journal of Food Engineering*, 234, 98-107. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.04.016>
- Watanabe, Y., Yoshimoto, K., Okada, Y., & Nomura, M. (2011). Effect of impregnation using sucrose solution on stability of anthocyanin in strawberry jam. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 891-895. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.003>
- Wiktor, A., Gondek, E., Jakubczyk, E., Nowacka, M., Dadan, M., Fijalkowska, A., & Witrowa-Rajchert, D. (2016a). Acoustic emission as a tool to assess the changes induced by pulsed electric field in apple tissue. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 37, 375-383. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.04.008>
- Wiktor, A., Sledz, M., Nowacka, M., Rybak, K., & Witrowa-Rajchert, D. (2016b). The influence of immersion and contact ultrasound treatment on selected properties of the apple tissue. *Applied Acoustics*, 103, 136-142. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.05.001>
- Wiktor, A., & Witrowa-Rajchert, D. (2017). Pulsed electric fields as pretreatment for subsequent food process operations. In *Handbook of Electroporation* (Ed. D. Miklavčič, pp. 2439-2454), Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-32886-7_178
- Wiktor, A., Śledź, M., Nowacka, M., Chudoba, T., & Witrowa-Rajchert, D. (2014). Pulsed Electric Field Pretreatment for Osmotic Dehydration of Apple Tissue: Experimental and Mathematical Modeling Studies. *Drying Technology*, 32, 408-417. <https://doi.org/10.1080/07373937.2013.834926>
- World Health Organization. (2015). WHO Guideline: Sugars intake for adults and children. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data.
- Wu, J., & Nyborg, W. L. (2008). Ultrasound, cavitation bubbles and their interaction with cells. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 60, 1103-1116. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2008.03.009>
- Yanagida, H. (2008). The effect of dissolve gas concentration in the initial growth stage of multi cavitation bubbles. Differences between vacuum degassing and ultrasound degassing. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15(4), 492-496. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2007.06.008>
- Zamora, M. C., & Chirife, J. (2006). Determination of water activity change due to crystallization in honeys from Argentina. *Food Control*, 17, 59-64. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2004.09.003>
- Zhang, M., Haili, N., Chen, Q., Xia, X., & Kong, B. (2018). Influence of ultrasound-assisted immersion freezing on the freezing rate and quality of porcine longissimus muscles. *Meat Science*, 136, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.10.005>
- Zhang, Z., Sun, D. W., Zhu, Z., & Cheng, L. (2015). Enhancement of Crystallization Processes by Power Ultrasound: Current State-of-the-Art and Research Advances. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14, 303-316.

<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12132>

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

W ramach swojej aktywności zawodowej współpracuję z różnymi zagranicznymi i krajowymi ośrodkami naukowymi. W 2013 roku, dzięki środkom Własnego Funduszu Stypendialnego SGGW w Warszawie, przebywałem na stażu naukowym w Technische Universität Berlin (TUB) w Niemczech, gdzie współpracowałem z zespołem naukowym prof. Dietricha Knorra – jednego z najbardziej rozpoznawalnych specjalistów w obszarze wykorzystania pulsacyjnego pola elektrycznego w technologii żywności. W trakcie swojego pobytu prowadziłem badania, dotyczące wpływu pulsacyjnego pola elektrycznego na przebieg zamrażania/rozmarzania tkanki roślinnej oraz jakość rozmrożonych produktów. Wyniki, dotyczące wpływu PEF na kinetykę rozmrażania tkanki roślinnej były pierwszymi opublikowanymi w tym zakresie. Dodatkowo, zgromadziłem również cenną wiedzę, dotyczącą pomiaru właściwości elektrycznych żywności oraz oceny efektywności elektroporacji. Wiedza ta stała się jednocześnie fundamentem mojej działalności naukowej w obszarze zastosowania PEF w przemyśle spożywczym. Wyniki prowadzonych w TUB przeze mnie badań zostały uwzględnione w mojej dysertacji doktorskiej oraz zaowocowały następującymi publikacjami:

- Wiktor A., Shulz M., Voigt E., Witrowa-Rajchert D., Knorr D. (2015). The Effect of Pulsed Electric Field Treatment on Immersion Freezing, Thawing and Selected Properties of Apple Tissue, *Journal of Food Engineering*, 146, 8-16 (MNiSW₂₀₁₅ = 40 pkt; IF₂₀₁₅ = 3,199).
- Wiktor A., Shulz M., Voigt E., Witrowa-Rajchert D., Knorr D. (2015). Wpływ pulsacyjnego pola elektrycznego na zamrażanie immersyjne, rozmrażanie oraz jakość tkanki marchwi, *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 99, 124-137 (MNiSW₂₀₁₅ = 13 pkt).

W latach 2015 i 2016 brałem udział jako uczestnik w warsztatach naukowych, dotyczących zastosowania PEF w technologii żywności i biotechnologii, organizowanych w ramach cyklu „School on Pulsed Electric Field Applications in Food and Biotechnology”. Wydarzenia te były organizowane odpowiednio przez Università degli Studi di Salerno we Włoszech oraz przez University College Dublin w Irlandii. W latach 2018 i 2019, już jako wykładowca, uczestniczyłem w kolejnych edycjach tego cyklu, organizowanych odpowiednio przez Hochschule Osnabruck (Niemcy) we współpracy z firmą ELEA GmbH oraz Alma Mater Studiorum Università di Bologna (Włochy). Uczestnictwo w tych warsztatach pozwoliło mi poszerzyć swoją wiedzę oraz praktyczne umiejętności z zakresu zastosowania PEF oraz nawiązać cenne kontakty naukowe z badaczami z całej Europy, które zaowocowały współpracą badawczą z takimi ośrodkami jak: Sorbonne Universités, Université de Technologie de Compiègne (Francja), Universitat de València (Hiszpania), Universidade de Aveiro (Hiszpania), Universidad de Zaragoza (Hiszpania), University of Lleida (Hiszpania) czy też Institute of Biocolloidal Chemistry (named after F.D. Ovcharenko) (Ukraina). Efektem tej współpracy naukowej jest m.in. wspólna redakcja naukowa monografii *Pulsed Electric Fields to Obtain Healthier and Sustainable Food for Tomorrow* (eds. F. Barba, O. Parniakov, A. Wiktor), Academic Press, London ISBN: 978-0-12-816402. Co więcej, wyniki tej współpracy zostały przedstawione w następujących publikacjach:

- Barba F.J., Parniakov O., Periera S.A., Wiktor A., Grimi N., Boussetta N., Saraiva J.A., Raso J., Martin-Beloso O., Witrowa-Rajchert D., Lebovka N., Vorobiev E. (2015). Current applications and new opportunities for the use of pulsed electric fields in food science and industry. *Food Research International*, 77, 773-798 (MNiSW₂₀₁₅ = 40 pkt; IF₂₀₁₅ = 3,182).
- Nowacka M., Fijalkowska A., Wiktor A., Rybak K., Dadan M., Tylewicz U., Dalla Rosa M., Witrowa-Rajchert D. (2018). Influence of power ultrasound on the main quality properties and cell viability of osmotic dehydrated cranberries. *Ultrasonics*, 83, 33-41 (MNiSW₂₀₁₈ = 30 pkt; IF₂₀₁₈ = 2,598).

- Alirezalu K., Munekata P.E.S., Parniakov O., Barba F.J., Witt J., Toepfl S., Wiktor, A., Lorenzo J.M. (2020). Pulsed electric field and mild heating for milk processing: a review on recent advances, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, (MNiSW₂₀₁₉ = 100 pkt; IF₂₀₁₉ = 2,614).
- Nowacka M., Tappi S., Wiktor A., Rybak K., Miszczykowska A., Czyzewski J., Drozdal K., Witrowa-Rajchert D., Tylewicz U. (2019). The Impact of Pulsed Electric Field on the Extraction of Bioactive Compounds from Beetroot. *Foods*, 8, 244 (MNiSW₂₀₁₉ = 100 pkt; IF₂₀₁₉ = 4,092).
- Tylewicz U., Tappi S., Nowacka M., Wiktor A. (2019). Safety, quality, and processing of fruits and vegetables. *Foods*, 8, 569 (MNiSW₂₀₂₀ = 100 pkt; IF₂₀₁₉ = 4,092).

W 2018 roku, dzięki stypendium Fundacji Dekaban, przebywałem jako Visiting Assistant Professor przez 6 miesięcy w University of British Columbia (UBC) w Vancouver w Kanadzie. Prowadziłem w tym czasie badania nad wpływem innowacyjnej nietermicznej techniki pulsacyjnego światła (PL) na właściwości fizykochemiczne płynnych układów modelowych, żywności: płynnej oraz o konsystencji stałej. W ramach współpracy z naukowcami z Faculty of Food and Land Systems, UBC, zostały opublikowane następujące prace:

- Wiktor A., Mandal R., Singh A., Pratap Singh A. (2019). Pulsed Light treatment below a Critical Fluence (3.82 J/cm²) minimizes photo-degradation and browning of a model Phenolic (Gallic Acid) Solution. *Foods*, 8, 244 (MNiSW₂₀₁₉ = 100 pkt; IF₂₀₁₉ = 4,092).
- Mandal R., Mohammadi X., Wiktor A., Singh A., Anubhav P.S. (2020). Applications of Pulsed Light Decontamination Technology in Food Processing: An Overview. *Applied Sciences*, 10, 3606 (MNiSW₂₀₁₉ = 70 pkt; IF₂₀₁₉ = 2,474).
- Wiktor A., Singh A.P., Parniakov O., Mykhailik V., Mandal R., Witrowa-Rajchert D. (2020). PEF as an alternative tool to prevent thermolabile compound degradation during dehydration processes. In: *Pulsed Electric Fields to Obtain Healthier and Sustainable Food for Tomorrow* (eds. F. Barba, O. Parniakov, A. Wiktor), Elsevier, London ISBN: 978-0-12-816402-0, 155-202 (MNiSW₂₀₂₀ = 50 pkt).

Współpracuję również z przedsiębiorstwem Elea Vertriebs- und Vermarktungsgesellschaft mbh, które jest "spin-offem" Deutsches Institut für Lebensmitteltechnik (DIL), Quackenbruck, Niemcy. Firma ta zajmuje się komercjalizacją technologii PEF w różnych gałęziach przemysłu spożywczego i w ramach swojej działalności prowadzi także zaawansowane prace badawczo-rozwojowe. Współpraca z naukowcami pracującymi w tym przedsiębiorstwie ma od kilku lat charakter ciągły i do tej pory zaowocowała następującymi publikacjami:

- Lammerskitten A., Wiktor A., Parniakov O., Lebovka N. (2020). An overview of the potential applications to produce healthy food products based on pulsed electric field treatment. In: *Pulsed Electric Fields to Obtain Healthier and Sustainable Food for Tomorrow* (eds. F. Barba, O. Parniakov, A. Wiktor), Academic Press, London, ISBN: 978-0-12-816402-0, 23-48 (MNiSW₂₀₂₀ = 50 pkt).
- Wiktor A., Lammerskitten A., Barba F., Michalski M., Toepfl S., Parniakov O. (2021). Drying Processes Assisted by PEF for Plant-Based Materials. In: *Innovative Food Processing Technologies. A Comprehensive Review* (ed. K. Knoerzer, K. Muthukumarappan), Elsevier, London, 271-280, (MNiSW₂₀₂₀ = 20 pkt).

- Lammerskitten, A., Mykhailyk, V., Wiktor, A., Toepfl, S., Nowacka, M., Bialik, M., ... & Parniakov, O. (2019). Impact of pulsed electric fields on physical properties of freeze-dried apple tissue. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 57, 102211 (MNiSW₂₀₁₉ = 140 pkt; IF₂₀₁₉ = 4,477)
- Lammerskitten A., Wiktor A., Siemer C., Toepfl S., Mykhailyk V., Gondek E., Rybak K., Witrowa-Rajchert D., Parniakov O. (2019). The effects of pulsed electric fields on the quality parameters of freeze-dried apples. *Journal of Food Engineering*, 252, 36-43 (MNiSW₂₀₁₉ = 140 pkt; IF₂₀₁₉ = 4,499).
- Rybak K., Samborska K., Jedlinska A., Parniakov O., Nowacka M., Witrowa-Rajchert D., Wiktor A. (2020). The impact of pulsed electric field pretreatment of bell pepper on the selected properties of spray dried juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 65, 102446 (MNiSW₂₀₁₉ = 140 pkt; IF₂₀₁₉ = 4,477).
- Lammerskitten, A., Wiktor, A., Mykhailyk, V., Samborska, K., Gondek, E., Witrowa-Rajchert, D., ... & Parniakov, O. (2020). Pulsed electric field pre-treatment improves microstructure and crunchiness of freeze-dried plant materials: Case of strawberry. *LWT*, 134, 110266 (MNiSW₂₀₁₉ = 100 pkt; IF₂₀₁₉ = 4,006).
- Ammelt, D., Lammerskitten, A., Wiktor, A., Barba, F. J., Toepfl, S., & Parniakov, O. (2020). The impact of pulsed electric fields on quality parameters of freeze-dried red beets and pineapples. *International Journal of Food Science & Technology* (MNiSW₂₀₁₉ = 70 pkt; IF₂₀₁₉ = 2,773).

W ramach kierowanego przeze mnie projektu o akronimie FOX (Horyzont 2020) współpracuję także z następującymi instytucjami naukowymi: Deutches Institute fur Lebensmitteltechnik (Niemcy), Wagenigen University & Research (Holandia), Katholieke Universitat Lueuven (Belgia), Fraunhofer Institute for System and Innovation Research (Niemcy), Aarhus University (Dania), AINIA (Hiszpania), Vyzkumny Ustav Potravinarsky Praha (Czechy), Institut za Nutricionistiko (Słowenia) oraz następującymi instytucjami lub przedsiębiorstwami m.in: European Federation of Food Science and Technology (Holandia), Elea Vertriebs- und Vermarktungsgesellschaft mbh (Niemcy), European Food Information Council (Belgia), CTCPA (Francja), Kompetenzzentrum Obstbau Bodensee (Niemcy), Foodtechbrainport (Holandia), Falkenstein Projektmanagement GmbH (Niemcy), Linpac (Hiszpania), Terra I Xufa (Hiszpania), Cedrus Technologie (Polska).

Ponadto, współpracuję także z krajowymi ośrodkami badawczymi. W latach 2011-2016 kontynuowałem współpracę, która rozpoczęła się jeszcze w okresie studiów magisterskich, z Instytutem Wysokich Ciśnień PAN. Wspólnie z naukowcami z tej jednostki opracowałem prototypowe narzędzie do oceny efektywności oddziaływania PEF na podstawie pomiaru przewodności elektrycznej właściwej, a także opublikowałem następujące prace:

- Wiktor A., Śledź M., Nowacka M., Chudoba T., Witrowa-Rajchert D. (2014). Pulsed Electric Field Pretreatment for Osmotic Dehydration of Apple Tissue: Experimental and Mathematical Modeling Studies. *Drying Technology*, 32(4), 408-417 (MNiSW₂₀₁₄ = 30 pkt; IF₂₀₁₄ = 1,518).
- Wiktor A., Rybak K., Śledź M., Nowacka M., Gondek M., Chudoba T., Łojkowski W., Witrowa-Rajchert D. (2014). Wpływ sonikacji immersyjnej i kontaktowej oraz pulsacyjnego pola elektrycznego na przewodność elektryczną tkanki marchwi. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 579, 101-110 (MNiSW₂₀₁₄ = 9 pkt).

- Wiktor A., Sledz M., Nowacka M., Rybak K., Chudoba T., Lojkowski W., Witrowa-Rajchert D. (2015). The Impact of Pulsed Electric Field Treatment on Selected Bioactive Compounds Content and Color of Plant Tissue. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 30, 69-78 (MNiSW₂₀₁₅ = 40 pkt; IF₂₀₁₅ = 2,997).
- Wiktor A., Fijałkowska A., Kućko I., Wojnowski M., Królikowski K., Hankus M., Chudoba T., Łojkowski W., Witrowa-Rajchert D. (2015). Zastosowanie przewodności elektrycznej właściwej do oceny przebiegu procesu zamrażania i rozmrażania tkanki roślinnej. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 582, 125-135 (MNiSW₂₀₁₅ = 13 pkt).
- Wiktor A., Nowacka M., Sledz M., Rybak K., Lojkowski W., Chudoba T., Witrowa-Rajchert D. (2016). The Effect of Pulsed Electric Field (PEF) on Drying Kinetics, Color and Microstructure of Carrot. *Drying Technology*, 34, 1286-1296, (MNiSW₂₀₁₆ = 30 pkt; IF₂₀₁₆ = 1,976).

W ramach projektu „Nowe opakowania z wykorzystaniem surowców odnawialnych i innowacyjnych impregnatów parafinowych”, realizowanego w programie BIOSTRATEG II, współpracowałem także z Instytutem Ciężkiej Syntezy Organicznej Blachownia w Kędzierzynie-Koźle. Część efektów współpracy z tą jednostką oraz z Wydziałem Technologii Drewna SGGW w Warszawie ukazała się w następującej publikacji:

- Nowacka M., Rybak K., Wiktor A., Mika A., Boruszewski P., Woch J., Przybysz K., Witrowa-Rajchert D. (2018). The quality and safety of food contact materials – paper and cardboard coated with paraffin emulsion. *Food Control*, 93, 183-190 (MNiSW₂₀₁₈ = 40 pkt; IF₂₀₁₈ = 4,248).

Wśród krajowych ośrodków naukowych, z którymi współpracuję, mogę wymienić także Instytut Agrofizyki PAN im. B. Dobrzańskiego w Lublinie, Instytut Maszyn Przepływowych PAN oraz Politechnikę Koszalińską. Efektem tej współpracy są następujące publikacje:

- Pieczywek P.M., Nowacka M., Dadan M., Wiktor A., Rybak K., Witrowa-Rajchert D., Zdunek A. (2018). Postharvest Monitoring of Tomato Ripening Using the Dynamic Laser Speckle. *Sensors*, 18, 1093 (MNiSW₂₀₁₈ = 30 pkt; IF₂₀₁₈ = 3,031).
- Wiktor A., Hrycak B., Jasiński M., Rybak K., Kieliszek M., Kraśniewska K., & Witrowa-Rajchert D. (2020). Impact of Atmospheric Pressure Microwave Plasma Treatment on Quality of Selected Spices. *Applied Sciences*, 10(19), 6815. (MNiSW₂₀₂₀ = 70 pkt; IF₂₀₁₉ = 2,474).
- Gondek E., Wiktor A., Sterczyńska M., & Stachnik M. (2018). Evaluation of dietary practices of women over 60. *Carpathian Journal of Food Science & Technology*, 10(5), 98-105 (MNiSW₂₀₁₈ = 5 pkt).

Poza wymienionymi ośrodkami, współpracuję również z innymi jednostkami SGGW w Warszawie, tj. Instytutem Nauk Ogrodniczych. Dzięki tej współpracy udało się opublikować następujące prace, dotyczące przetwarzania owoców minikiwi:

- Bialik M., Wiktor A., Latocha P., Gondek E. (2018). Mass Transfer in Osmotic Dehydration of Kiwiberry: Experimental and Mathematical Modelling Studies, *Molecules*, 23, 1236 (MNiSW₂₀₁₈ = 30 pkt; IF₂₀₁₈ = 3,060).
- Bialik M., Lasota M., Wiktor A., Latocha P., Witrowa-Rajchert D., Gondek E. (2017). Kinetyka rehydracji suszy owoców mini kiwi (*Actinidia arguta*). *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 591, 3-12 (MNiSW₂₀₁₇ = 13 pkt).

- Bialik M., Gondek E., Wiktor A., Latocha P., Dadan M. (2018). Minikiwi - nowy, cenny surowiec dla przemysłu spożywczego. *Przemysł Spożywczy*, 72, 39-43 (MNI_{SW2019} = 5 pkt).
- Bialik, M., Wiktor, A., Rybak, K., Witrowa-Rajchert, D., Latocha, P., & Gondek, E. (2020). The Impact of Vacuum and Convective Drying Parameters on Kinetics, Total Phenolic Content, Carotenoid Content and Antioxidant Capacity of Kiwiberry (*Actinidia arguta*). *Applied Sciences*, 10(19), 6914. (MNI_{SW2019} = 70 pkt; IF₂₀₁₉ = 2,474).

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

6.1. Osiągnięcia dydaktyczne

Działalność dydaktyczną prowadzę przede wszystkim w Wydziale Technologii Żywności SGGW w Warszawie dla studentów kierunków: technologia żywności i żywienie człowieka, bezpieczeństwo żywności oraz towaroznawstwo. Prowadziłem również zajęcia dla studentów kierunku logistyka, realizowanego obecnie na Wydziale Ekonomicznym SGGW w Warszawie. Pracę dydaktyczną rozpocząłem jeszcze na studiach doktoranckich. Mój średni roczny wymiar realizowanych godzin dydaktycznych w SGGW w Warszawie wynosi ok. 250 godzin, przy czym wykłady w ostatnich latach stanowią około 15-20% obciążenia. Zajęcia, które prowadzę/prowadziłem należą do grupy przedmiotów obligatoryjnych oraz fakultatywnych, realizowanych na I i II stopniu studiów:

- Przedmioty obligatoryjne: Rysunek techniczny, Inżynieria procesowa, Gospodarka energetyczna, Właściwości fizyczne produktów spożywczych, Podstawy opracowania wyników badań naukowych, Inżynieria żywności, Technologie materiałowe, Aparatura i inżynieria procesów produkcyjnych, Podstawy metrologii w przemyśle spożywczym
- Przedmioty fakultatywne: Nonthermal processing of food, Cutting-edge technologies in food industry, Food contact materials. Food packaging, Zapewnianie bezpieczeństwa i jakości produktów w łańcuchu dostaw (Wydział Ekonomiczny).

Zajęcia w języku angielskim, dedykowane zarówno dla regularnych studentów jak i studentów studiów wymiennych w ramach programu Erasmus+ prowadzę od roku akademickiego 2013/2014. Jestem również współautorem sylabusu oraz jednym z koordynatorów przedmiotu Cutting-edge technologies in food industry, który jest realizowany dla studentów stacjonarnych oraz studiów wymiennych w wymiarze 15 godzin wykładów.

Jestem koordynatorem zajęć z przedmiotu Gospodarka Energetyczna, realizowanych zarówno na studiach stacjonarnych jak i niestacjonarnych. Stworzyłem lub współtworzyłem wiele instrukcji do prowadzenia zajęć laboratoryjnych (w tym po angielsku) a także wielu narzędzi, ułatwiających dydaktyczną pracę zdalną pozostałych pracowników Katedry Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji SGGW w Warszawie.

Zajęcia w języku angielskim z przedmiotów takich jak: Plant Food Technology, Food Preparation Technology, Rules of Food Storage prowadzę/prowadziłem także dla studentów kierunku dietetics (dietetyka), realizowanego w Szkole Głównej Turystyki i Rekreacji Vistula.

W czasie swojej dotychczasowej pracy byłem promotorem 13 prac inżynierskich oraz 8 prac magisterskich. Pełnię także funkcję promotora pomocniczego w przewodzie doktorskim mgr inż. Jakuba Czyżewskiego, mgr inż. Michała Bialika oraz mgr Katarzyny Rybak. Zostałem także zatwierdzony przez Radę Dyscypliny jako promotor pomocniczy mgr inż. Radostawa Bogusza oraz mgr Igi Piaseckiej, którzy rozpoczęli naukę w szkole doktorskiej w roku akademickim 2020/2021.

6.2. Osiągnięcia organizacyjne

Działalność organizacyjna jest istotnym punktem mojej aktywności zawodowej. Już jako student, a następnie doktorant działałem zarówno w wydziałowym jak i uczelnianym samorządzie studenckim

i doktoranckim. Za jedno z ważniejszych osiągnięć organizacyjnych w tamtym czasie uważam stworzenie Komisji ds. Promocji Rady Uczelnianej Samorządu Studentów SGGW w Warszawie.

Za jedno z największych osiągnięć organizacyjnych w swojej dotychczasowej karierze uważam pozyskanie środków finansowych w ramach programu LIDER na badania w ramach projektu pt. „Zastosowanie pulsacyjnego pola elektrycznego oraz kombinowanej metody z wykorzystaniem pulsacyjnego pola elektrycznego oraz ultradźwięków do wspomagania procesu suszenia tkanki roślinnej” (LIDER/017/497/L-4/NCBR/2013). Dzięki temu wsparciu finansowemu w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji SGGW w Warszawie udało się stworzyć zespół, zajmujący się badaniami nad zastosowaniem PEF w technologii żywności (przede wszystkim do wspomagania suszenia), który jest rozpoznawalny i uznany na całym świecie. Kolejnym, ważnym osiągnięciem, będącym konsekwencją wspomnianego powyżej, jest pozyskanie, wraz z pozostałymi partnerami europejskimi, środków na badania w ramach programu Horyzont 2020 na realizację projektu o akronimie FOX. W projekcie tym, jestem członkiem komitetu sterującego i kieruję pracami przewidzianymi w jednym z zadań roboczych (work package, WP).

W latach 2015-2016 byłem członkiem Wydziałowej Komisji ds. Jakości Kształcenia, najpierw jako przedstawiciel doktorantów, a następnie jako pracownik. Byłem również członkiem Rady Dyscypliny w kadencji 2019-2020, i byłem/jestem członkiem zespołu roboczego ds. Promocji Wydziału Technologii Żywności oraz Komisji ds. Nauki Instytutu Nauk o Żywności SGGW w Warszawie.

Byłem członkiem Komitetu Organizacyjnego V Sympozjum Inżynierii Żywności (2016), Sympozjum Horyzonty Nauk o Żywności (2016), Seminarium pt. „Niekonwencjonalne procesy w przetwórstwie żywności podsumowujące wyniki projektu: „Zastosowanie pulsacyjnego pola elektrycznego oraz kombinowanej metody z wykorzystaniem pulsacyjnego pola elektrycznego oraz ultradźwięków do wspomagania procesu suszenia tkanki roślinnej” (LIDER/017/497/L-4/NCBR/2013) (2016), VI Sympozjum Inżynierii Żywności (2018). Aktywnie uczestniczyłem także w organizacji Jubileuszowego Zjazdu Absolwentów z okazji 50 i 55-lecia Wydziału Nauk o Żywności SGGW w Warszawie.

Byłem lub jestem członkiem Komitetu Naukowego międzynarodowych konferencji: 2nd International Conference on Food and Biosystems Engineering (FaBE) (2015), 4th International Conference on Food and Biosystems Engineering (FaBE) (2019) oraz 4th World Congress on Electroporation and Pulsed Electric Fields in Biology, Medicine, and Food & Environmental Technologies (2021).

Od 2019 roku działam także jako ekspert w pierwszym akceleratorze biznesowym w obszarze przemysłu spożywczego foodtech.ac. Jestem członkiem Polskiego Towarzystwa Technologów Żywności (od 2017), Polskiego Towarzystwa Agrofizycznego (od 2017) oraz International Society for Electroporation Based Technologies and Treatments (od 2017). Pełniłem także funkcję członka Rady Konsorcjum Naukowego (2016-2018), realizującego program EKOPOLPAK w ramach programu BIOSTRATEG. W 2019 roku pełniłem także funkcję edytora wydania specjalnego w czasopiśmie Foods (Special issue: „Safety, Quality and Processing of Fruits and Vegetables”).

W ramach swojej działalności organizacyjnej współpracuję z Biurem Promocji oraz Biurem Karier SGGW w Warszawie. W latach 2006-2011, pracując na stanowisku Specjalisty ds. e-learningu (oraz Project Manager) w uczelnianej firmie KURS-AR Sp. z o.o. w Warszawie prowadziłem szkolenia w zakresie e-learningu, wdrażałem nowe technologie e-learningowe oraz koordynowałem i zarządzałem projektami e-learningowymi.

W 2020 roku zostałem także członkiem Early Career Scientists Section, która jest częścią International Academy of Food Science and Technology (IAFoST) oraz International Union of Food Science and Technology (IUFoST) i szerza naukowców z całego świata. W sekcji tej znajduje się obecnie 13 osób z całego świata, w tym tylko dwie z Europy.

Za moją działalność organizacyjną Rektor SGGW wyróżnił mnie dyplomem uznania w 2017 roku.

6.3. Osiągnięcia popularyzujące naukę

W trakcie swoich studiów I, II i III stopnia i nadal aktywnie uczestniczę w organizacji Dni SGGW, które są dorocznym festiwalem promującym działalność SGGW w Warszawie. Byłem także jednym z pomysłodawców utworzenia fanpage’a (Facebook) Katedry Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji

SGGW w Warszawie. Do dziś pełnię rolę jednego z administratorów tego konta, dbając o rozpowszechnianie informacji m.in. na temat publikacji i osiągnięć naukowych pracowników Katedry. Od 2020 roku jestem także administratorem fanpage'a Wydziału Technologii Żywności SGGW w Warszawie. Udzielałem wywiadów radiowych oraz telewizyjnych, m.in. na temat suszenia rozpyłowego dla Radia dla Ciebie (RDC), na temat projektu FOX dla Radia Kampus, na temat metod utrwalania żywności (TVN Style), pulsacyjnego pola elektrycznego PEF dla Polskiego Radia Program 2. Byłem także uczestnikiem podcastu, organizowanego przez radio RMF ON na temat żywności przyszłości. Jako prelegent występowałem z referatami, i dotyczącymi technologii żywności dla Klubu Kulturalnego Zacisze w Cegłowie czy podczas targów Warsaw Food Expo 2017 oraz Dni Alergii 2017. W ramach swojej współpracy z Uniwersytetem Dzieci w 2019 roku prowadziłem także warsztaty dotyczące produkcji żywności i zagospodarowania odpadów. W latach 2017 oraz 2019 prowadziłem także zajęcia dydaktyczne dotyczące innowacyjnych metod przetwarzania żywności dla uczestników Obozu Naukowego Adamed SmartUP (projekt finansowany przez NCBiR, 2017: WND-POWR.03.01.00-00-C080/16; 2019: WND-POWR.03.01.00-00-T023/18-01).

7. Pozostałe informacje dotyczące kariery zawodowej

7.1. Pozostały dorobek publikacyjny

Główna tematyka prowadzonych przeze mnie badań naukowych obejmuje następujące zagadnienia:

1. Wpływ PEF na przebieg procesów jednostkowych oraz właściwości żywności
2. Wpływ US na przebieg procesów jednostkowych oraz właściwości żywności
3. Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań w suszeniu rozpyłowym
4. Minikiwi jako surowiec dla przemysłu spożywczego
5. Pulsacyjne światło i plazma w przemyśle spożywczym
6. Modelowanie matematyczne procesu suszenia oraz właściwości suszonej żywności
7. Niekonwencjonalne metody pomiarowe stosowane w technologii żywności

7.1.1. Wpływ PEF na przebieg procesów jednostkowych oraz właściwości żywności

Zagadnienia związane z zastosowaniem PEF w technologii żywności stanowią trzon mojej działalności naukowo-badawczej. Tematyka ta stanowiła przedmiot zarówno mojej pracy inżynierskiej („Wykorzystanie fal elektrycznych o wysokiej amplitudzie napięcia do przyspieszania procesów usuwania wody”), magisterskiej („Zastosowanie pulsacyjnego pola elektrycznego (PEF) do modyfikacji przebiegu wybranych procesów wymiany masy i ciepła”) oraz doktorskiej („Badania wpływu pulsacyjnego pola elektrycznego (PEF) na przebieg suszenia i zamrażania tkanki roślinnej oraz jej wybrane właściwości”), które realizowane były pod kierunkiem Pani prof. dr hab. Doroty Witrowej-Rajchert. Badania w zakresie wykorzystania PEF w przemyśle spożywczym w dalszym ciągu stanowią bardzo ważną część mojej aktywności naukowej.

PEF należy do najbardziej obiecujących metod przetwarzania żywności. Ze względu na mechanizm oddziaływania na układy biologiczne poprzez zjawisko i proces elektroporacji technika ta może być stosowana nie tylko do nietermicznego utrwalania produktów spożywczych, ale także do wspomaganie operacji jednostkowych opartych na wymianie masy i/lub ciepła, które są stosowane w przetwórstwie żywności. O tym niezwykłym potencjale wykorzystania PEF w technologii żywności świadczą także coraz liczniejsze instalacje przemysłowe pracujące w zakładach spożywczych na całym świecie. Dzięki współpracy z wieloma ośrodkami naukowymi i biznesowymi zajmującymi się PEF, szacuję, że obecnie istnieje 150-200 urządzeń do aplikacji PEF pracujących w różnych liniach technologicznych. Aparaty te pracują przede wszystkim w instalacjach zajmujących się utrwalaniem napojów typu smoothie oraz produkcją chipsów i frytek ziemniaczanych, gdzie w zasadzie są już pewnego rodzaju „złotym standardem”. Po pierwszych udanych przemysłowych testach (których wyniki zostały opublikowane) trwają także intensywne prace ukierunkowane w celu komercyjnej implementacji obróbki PEF przed procesem liofilizacji, w które jestem zaangażowany jako konsultant.

W swoich badaniach dotyczących wpływu PEF na przebieg procesów jednostkowych oraz właściwości żywności skupiłem się przede wszystkim na właściwościach tkanki świeżej poddanej działaniu PEF, przebiegu procesów usuwania wody, zamrażania oraz ekstrakcji wspomaganych PEF oraz właściwościami fizyko-chemicznymi tak przetworzonej tkanki. Przeprowadzone przeze mnie badania wykazały, że aplikacja PEF skutkuje wzrostem przewodności elektrycznej surowca, co świadczy o zniszczeniu jego struktury wewnętrznej. Zmiany te intensyfikują wymianę masy (wzrost efektywnego współczynnika dyfuzji wody) i skracają czas suszenia konwekcyjnego co udowodniłem na przykładzie jabłka czy marchwi. Jak pokazały przeprowadzone przeze mnie badania na tkance jabłka, obróbka wstępna metodą PEF wspomaga także przebieg odwadniania osmotycznego, istotnie i pozytywnie wpływając na ubytek wody a nie powodując przy tym istotnych zmian zawartości suchej substancji materiału. Aplikacja PEF skutkuje także skróceniem czasu zamrażania surowców roślinnych. Jest to spowodowane zarówno intensyfikacją wymiany ciepła wskutek zniszczenia budowy komórkowej tkanki roślinnej jak i wspomaganie procesu krystalizacji poprzez stworzenie nowych centrów nukleacji lodu, które są fragmentami uszkodzonej błony komórkowej, ściany komórkowej lub innej treści wewnątrzkomórkowej. Oddziaływanie PEF na przebieg suszenia i zamrażania sprawia także, że jest to metoda, która pozytywnie oddziałuje na proces liofilizacji. Jak wykazały badania, których jest współautorem, stosując PEF możemy materiał zamrozić próżniowo we wnętrzu liofilizatora, podczas obniżania ciśnienia w jego komorze (zamrażanie próżniowe), zrezygnować tym samym z zamrażania prowadzonego w osobnych urządzeniach, bez negatywnego wpływu na jakość otrzymanego produktu. PEF można zastosować także przed zamrażaniem poprzedzającym liofilizację, co korzystnie wpływa zarówno na właściwości fizykochemiczne liofilizatów (np. na mikrostrukturę i porowatość ocenianą metodą mikrotomografii komputerowej) jak i na kinetykę procesu. Jak udowodniliśmy w przypadku buraka ćwikłowego, zastosowanie PEF wspomaga także proces ekstrakcji barwników z żywności. Co więcej, odpowiedni dobór parametrów obróbki pozwala kształtować stosunek betaniny do wulgaksantyny. Warto także wspomnieć, że PEF pozwala kształtować właściwości tkanki świeżej takie jak zawartość związków bioaktywnych czy właściwości mechaniczne i akustyczne. Pomiar tych ostatnich może posłużyć za alternatywną metodę oceny stopnia dezintegracji i efektywności oddziaływania PEF na tkankę roślinną.

Wyniki prac związanych z zastosowaniem PEF do wspomagania procesów jednostkowych przedstawiono w następujących publikacjach: Załącznik 4: II.2.2, II.2.5, II.2.6, II.2.9, II.2.12, II.2.13, II.2.14, II.2.15, II.2.17, II.4.1, II.4.2, II.4.7, II.4.12, II.4.13, II.4.15, II.4.16, II.4.17, II.4.18, II.4.19, II.4.21, II.4.26, II.4.42, II.4.51, II.4.52, II.4.55, II.4.57, II.4.60, II.4.63, II.4.64, II.4.65.

7.1.2. Wpływ US na przebieg procesów jednostkowych oraz właściwości żywności

Tematyka związana z zastosowaniem US do wspomagania procesów jednostkowych oraz kształtowania właściwości należy do najbardziej popularnych obszarów w naukach o żywności. Jest to spowodowane faktem możliwości wykorzystania tej metody w przemyśle spożywczym a także stosunkowo niedrogimi i prostymi w konstrukcji urządzeniami służącymi do aplikacji US. Ze względu na efekty, które US mogą wywoływać w żywnościowych układach komórkowych i niekomórkowych, technika ta znajduje zastosowanie zarówno do utrwalania żywności (wskutek sonoporacji), wspomagania procesów wymiany masy i/lub ciepła („efekt gąbki”, kawitacja, tworzenie mikrokanałów) czy też wspomagania procesów rozdrabniania (cięcie ostrzami drgającymi z częstotliwością ultradźwiękową). Badania prowadzone przeze mnie wraz z zespołem skupiają się przede wszystkim na możliwości wykorzystania US do wspomagania przebiegu suszenia (realizowanego różnymi metodami) i odwadniania osmotycznego oraz dotyczą wpływu tej metody na właściwości żywności świeżej. Wyniki badań, których byłem jednym z autorów, wskazują, że stosując US jako obróbkę wstępną można skrócić czas suszenia konwekcyjnego jabłek nawet o 31% i zmienić niektóre z właściwości materiału np. ograniczyć wchłanianie wody podczas uwadniania, ograniczyć ciemnienie (spadek parametru a^* , wzrost parametru L^*). Ultradźwięki mogą być także zastosowane do obniżenia energochłonności suszenia mikrofalowo-konwekcyjnego bazylii. Zioła suszone wyprodukowane z wykorzystaniem US jako obróbki wstępnej charakteryzowały się m.in. większą zawartością polifenoli ogółem. Właściwości

fizykochemiczne badanych ziół zależały jednak w dużym stopniu od zastosowanych parametrów procesowych w tym ultradźwięków oraz mocy mikrofal. Jak pokazały prowadzone przeze mnie i zespół badania, US w połączeniu z blanszowaniem i/lub pulsacyjną obróbką próżniową, mogą znaleźć także zastosowanie do wspomagania odwadniania osmotycznego prowadzonego w roztworach sacharozy (61,5%) oraz sacharozy (30%) z dodatkiem glikozydów stewioliowych (0,1%) żurawiny błotnej – intensyfikując ubytek wody oraz pozytywnie wpływając na zawartość niektórych z substancji bioaktywnych, np. polifenoli ogółem czy flawonoidów w materiale odwadnianym. Co ciekawe, zastosowanie wyłącznie US nie wiązało się z tego typu korzyściami. W większości przypadków US są aplikowane przy wykorzystaniu metody immersyjnej tj. materiał w trakcie obróbki pozostaje zanurzony w ciekłym medium, którym najczęściej jest woda. Nie jest to jednak jedyne możliwe rozwiązanie. Wspólnie z zespołem opublikowaliśmy pracę, w której jabłka były poddane działaniu US metodą kontaktową, dzięki czemu wyeliminowaliśmy konieczność stosowania wody w trakcie obróbki, co obniża obciążenie środowiska naturalnego sonikacji.

Wyniki prac związanych z zastosowaniem US do wspomagania procesów jednostkowych przedstawiono w następujących publikacjach: Załącznik 4: II.2.7, II.2.16, II.4.4, II.4.23, II.4.24, II.4.25, II.4.28, II.4.29, II.4.33, II.4.34, II.4.35, II.4.50, II.4.60.

7.1.3. Zastosowanie nowoczesnych rozwiązań w suszeniu rozpyłowym

Suszenie rozpyłowe należy bez wątpienia do najważniejszych operacji jednostkowych stosowanych zarówno w przemyśle spożywczym jak i farmaceutycznym. Charakteryzuje się przede wszystkim dużą elastycznością, prowadzi do otrzymania produktu w wygodnej formie proszku oraz nie prowadzi do dużej degradacji składników labilnych. Wśród największych wyzwań, przed którymi stoją naukowcy i inżynierowie zajmujący się suszeniem rozpyłowym jest suszenie materiałów, które w swoim składzie zawierają dużo substancji o niskiej masie cząsteczkowej, takich jak cukry czy kwasy organiczne. Do takich materiałów należy np. miód czy koncentraty soków owocowych. Tradycyjnym rozwiązaniem jest stosowanie wielkocząsteczkowych substancji nośnikowych, np. maltodekstryny czy gumy arabskiej. Dodatek tych substancji zwiększa temperaturę przejścia szklistego surówki co w konsekwencji umożliwia wysuszenie danego materiału. Pewnego rodzaju wadą takiego rozwiązania jest jednak fakt, że gotowy produkt zawiera w swoim składzie zazwyczaj spore ilości nośnika. Taki produkt ma często ograniczone zastosowanie w aplikacjach końcowych, co jest związane m.in. z obecnymi trendami występującymi na rynku spożywczym. Dąży się zatem do obniżenia zawartości lub całkowitego wyeliminowania substancji nośnikowej w proszku otrzymanych metodą suszenia rozpyłowego. Badania, których jestem jednym z autorów, wskazują, że cel ten może być osiągnięty poprzez zastosowanie osuszonego powietrza jako medium suszarniczego. Odpowiednie przygotowanie powietrza, poprzez obniżenie jego wilgotności bezwzględnej do poziomu $<1.0 \text{ g/m}^3$ pozwala zmniejszyć temperaturę powietrza wlotowego bez obniżenia siły napędowej procesu usuwania wody. Potencjalnie stwarza to warunki, w których produkt suszony nie osiąga temperatury przejścia szklistego i może opuścić suszarkę w postaci stabilnego proszku. Wraz ze współpracownikami udowodniliśmy, że takie rozwiązanie umożliwia wysuszenie miodu, w którym aż 80% suchej substancji pochodzi z miodu, z wydajnością wyższą niż 90%. Warto także dodać, że badania te prowadzone były we współpracy z partnerem przemysłowym i obecnie są kontynuowane. Rozwiązaniem pozwalającym poprawić atrakcyjność proszków otrzymanych poprzez suszenie rozpyłowe jest także zastosowanie alternatywnych nośników. Do takich nośników należy zaliczyć pszeniczny lub kukurydziany błonnik rozpuszczalny w wodzie, którego handlową nazwą jest Nutriose (Roquette, Francja). Wartością dodaną takiego nośnika jest także jego prebiotyczny charakter. Badania prowadzone przez zespół naukowy, którego jestem członkiem, wykazały, że proszek otrzymany z wykorzystaniem Nutriose charakteryzuje się właściwościami podobnymi do proszków konwencjonalnych otrzymanych przy użyciu maltodekstryny. Należy jednak podkreślić, że istotną wadą takiego rozwiązania jest wyższa aktywność wody i higroskopijność tak otrzymanych proszków miodowych.

Wraz z zespołem, po raz pierwszy na świecie, udowodniliśmy, że także PEF może znaleźć zastosowanie w suszeniu rozpyłowym. Nasze badania wykazały, że stosując PEF do obróbki owoców papryki przed

tlóceniem soku, który następnie poddawany był suszeniu rozpyłowemu możemy zwiększyć zawartość witaminy C w proszku, obniżyć jego higroskopijność oraz zwiększyć jego jasność, nie zmieniając przy tym istotnie pozostałych jego właściwości. Badania te prowadziliśmy także we współpracy z parterem przemysłowym.

Wyniki prac dotyczących nowoczesnych rozwiązań stosowanych w suszeniu rozpyłowym przedstawiono w następujących publikacjach: Załącznik 4: II.4.40, II.4.44, II.4.45, II.4.57.

7.1.4. Pulsacyjne światło i plazma w przemyśle spożywczym

Pulsacyjne światło oraz zimna plazma to kolejne z nietermicznych technologii, które znajdują zastosowanie w przetwórstwie żywności, przede wszystkim do dekontaminacji żywności oraz powierzchni mających kontakt z żywnością.

Za letalny w stosunku do mikroorganizmów charakter pulsacyjnego światła odpowiadają dwa mechanizmy: fotochemiczny oraz fotoelektryczny. Pierwszy z nich prowadzi do zmian hamujących replikację DNA natomiast drugi z nich wiąże się ze wzrostem temperatury wskutek pochłaniania energii optycznej. O ile temat związany z jakością mikrobiologiczną żywności poddanej naświetlaniu pulsacyjnym światłem jest licznie reprezentowany w literaturze przedmiotu, o tyle liczba artykułów naukowych odnoszących się do wpływu pulsacyjnego światła na właściwości chemiczne żywności i układów modelowych jest ograniczona. Dane tego typu należy uznać za szczególnie istotne, gdyż dostarczają niezbędnych informacji, które pomagają wyjaśniać naturę zmian i procesów odbywających się w produktach poddawanych radiacji pulsacyjnym światłem. Generowanie zimnej plazmy związane jest z kolei z powstawaniem wolnych rodników, reaktywnych form tlenu oraz innych bardzo aktywnych cząsteczek chemicznych, które także mogą prowadzić do zniszczenia drobnoustrojów jak i mogą wchodzić w interakcję ze składnikami żywności, zmieniając tym samym właściwości fizykochemiczne produktów poddawanych obróbce zimną plazmą. Badania nad zastosowaniem pulsacyjnego światła rozpocząłem przebywając na University of British Columbia w Vancouver w Kanadzie, podczas pobytu na stypendium naukowym finansowanym przez Fundację Dekaban. Wynikiem moich prac było określenie wpływu pulsacyjnego światła na stabilność kwasu galusowego, który był modelowym roztworem polifenoli. Wykazałem, że stosowanie impulsów świetlnych może doprowadzić do degradacji kwasu galusowego oraz indukować powstawanie barwnych związków chemicznych, najprawdopodobniej chinonów. Prace nad pulsacyjnym światłem są przeze mnie kontynuowane w SGGW i skupiam się w nich nad wpływem tej metody na stabilność żywności typu fresh-cut oraz nad jej możliwym wykorzystaniem do akceleracji starzenia alkoholi gatunkowych. Z kolei badania nad wykorzystaniem zimnej plazmy były prowadzone we współpracy z Instytutem Maszyn Przepływowych PAN oraz Zakładu Biotechnologii i Mikrobiologii Żywności SGGW w Warszawie i dotyczyły przypraw. Poza jakością mikrobiologiczną określiliśmy także fizyczne i chemiczne właściwości pieprzu czarnego, owoców jałowca oraz ziela angielskiego. Jestem także autorem prac przeglądowych z zakresu wykorzystania pulsacyjnego światła i zimnej plazmy.

Wyniki prac związanych z zastosowaniem pulsacyjnego światła oraz zimnej plazmy w technologii żywności przedstawiono w następujących publikacjach: Załącznik 4: II.4.10, II.4.27, II.4.58, II.4.59.

7.1.5. Minikiwi jako surowiec dla przemysłu spożywczego

Minikiwi to roślina, której owoce budzą coraz większe zainteresowanie konsumentów, i która coraz częściej pojawia się zarówno w asortymencie polskich plantatorów jak i na półkach sklepowych. Owoce minikiwi charakteryzują się dziesięciokrotnie mniejszym rozmiarem niż owoce kiwi i nie posiadają włochatej skórki, co umożliwia ich konsumpcję w całości. Są to jednak owoce stosunkowo nietrwałe, które mogą być przechowywane maksymalnie kilka tygodni od momentu osiągnięcia dojrzałości konsumpcyjnej. Podobnie jak w przypadku innych owoców, nie wszystkie zebrane wykazują jakość pozwalającą na ich bezpośrednią sprzedaż. Dlatego tak istotne są badania w zakresie zagospodarowania owoców minikiwi przez przetwórstwo spożywcze. Badania w tym zakresie były prowadzone przeze mnie wraz z zespołem we współpracy z dr hab. Piotrem Latochą z Katedry Ochrony Środowiska SGGW w Warszawie. Dodatkowo tematyka suszenia owoców minikiwi jest też przedmiotem pracy doktorskiej, w której pełnię rolę promotora pomocniczego. Nasze badania nad

zagospodarowaniem owoców minikiwi ukierunkowane były na ich suszenie i odwadnianie osmotyczne. Wykazaliśmy, że owoce minikiwi mogą być wysuszone zarówno metodą konwekcyjną jak i metodą próżniową a ich odwadnianie jest możliwe także przy wykorzystaniu roztworów polioli. Z punktu widzenia właściwości chemicznych otrzymanych suszy lepsze rezultaty otrzymaliśmy wykorzystując kultywar Geneva – owoce te charakteryzowały się m.in. większą zawartością karotenoidów ogółem oraz wyższą aktywnością przeciwutleniającą. Odmiana okazała się mieć także istotny wpływ na przebieg odwadniania osmotycznego owoców minikiwi. Z kolei na jakość, a zwłaszcza na mikrostrukturę produktów suszonych, wpływała zarówno zastosowana substancja osmoaktywna (prawdopodobnie wartość jej temperatury przejścia szklistego) jak i sam proces odwadniania, co wykazaliśmy studiując wyniki badań przeprowadzonych metodą mikrotomografii komputerowej. Wyniki prac dotyczących wykorzystania minikiwi w przemyśle spożywczym przedstawiono w następujących publikacjach: Załącznik 4: II.4.31, II.4.36, II.4.43, II.4.56, II.4.61, II.4.62.

7.1.6. Modelowanie matematyczne procesu suszenia oraz właściwości suszonej żywności

Modelowanie matematyczne procesu suszenia polega na zastosowaniu równań matematycznych do opisu krzywych suszenia. Równania te zawierają w swojej strukturze parametry, którym często można przypisać sens fizyczny, np. mogą zawierać efektywny współczynnik dyfuzji wody (np. równanie Ficka) lub współczynnik suszarniczy (równanie Midilliego i wsp.). Odpowiednia aproksymacja danych doświadczalnych, przy użyciu właściwie dobranego modelu, jest bardzo ważnym instrumentem ułatwiającym proces optymalizacji suszenia i np. określenie właściwego czasu suszenia czy też końcowej zawartości wody w materiale. Badania prowadzone przeze mnie w tym zakresie dotyczyły różnych matryc żywnościowych np. tkanki jabłka, liści oregano czy bazylii, suszonych metodami konwekcyjnymi i niekonwencjonalnymi (np. dwustopniową metodą opartą na suszeniu konwekcyjnym i mikrofalowo-konwekcyjnym) bez wspomaganie obróbką wstępną jak i z wspomaganie metodą PEF. Otrzymane wyniki wskazują, że modelem, który w większości przypadków najlepiej opisywał kinetykę suszenia był model Midilliego i wsp. – charakteryzował się on najmniejszymi wartościami statystyk określających dopasowanie do danych empirycznych – R^2 , RMSE, χ^2 czy CRV (współczynnik zmienności resztowej). Bardzo dobrym modelem okazał się także model logistyczny.

Pomimo tego, że suszenie należy do jednych z najstarszych metod przetwarzania żywności określenie właściwości żywności suszonej różnymi metodami pozostaje tematem aktualnym. Dotyczy to zwłaszcza sytuacji, w których stosowane są niekonwencjonalne metody suszenia takie jak suszenie mikrofalowo-konwekcyjne, promiennikowe czy dwustopniowe. Dodatkowo, udowodniliśmy, że poza metodą suszenia oraz parametrami procesowymi, czynnikiem, który istotnie wpływa na właściwości fizykochemiczne może być np. rodzina (kategoria systematyczna) surowców poddawanych suszeniu (np. ziół). W publikacji, której jestem współautorem wykazane zostało także w jaki sposób przebieg liofilizacji zależy od stopnia rozdrobnienia selera oraz przebiegu zamrażania. Najdłuższym czasem trwania sublimacji, charakteryzował się materiał, który był uprzednio rozdrobniony. W takim przypadku sublimacja następowała „warstwa po warstwie” natomiast w przypadku materiału nierozdrobnionego usuwanie wody odbywało się w sposób wolumetryczny. Co ważne, przeprowadzone przez nas badania nie wskazały istotnej zależności pomiędzy temperaturą zamrażania a właściwościami fizycznymi liofilizowanego materiału.

Wyniki prac dotyczących modelowania matematycznego oraz właściwości suszonej żywności zaprezentowano w następujących publikacjach: Załącznik 4: II.2.8, II.4.3, II.4.5., II.4.6, II.4.7, II.4.8, II.4.9, II.4.11, II.4.14, II.4.22.

7.1.7. Niekonwencjonalne metody pomiarowe stosowane w technologii żywności

Mierząc niektóre z wielkości fizycznych żywności można w sposób pośredni ocenić inne jej pozostałe właściwości. Dobrym przykładem reprezentującym tę zależność jest pomiar przewodności elektrycznej właściwej, który w sposób pośredni pozwala ocenić zawartość popiołu np. w miodzie. Innym przykładem jest pomiar impedancji, który pozwala oszacować zawartość tłuszczu w ciele człowieka. Uwzględniając fakt, że poszczególne struktury komórkowe, poprzez swoją budowę i skład chemiczny, wykazują pewne podobieństwo do obwodów elektrycznych, na podstawie pomiaru właściwości elektrycznych jesteśmy w stanie ocenić np. integralność struktury komórkowej a w szczególności

integralność błony komórkowej. Przykładowo, pomiar przewodności elektrycznej właściwej jest podstawową metodą służącą do oceny efektywności oddziaływania PEF na żywność. Na podstawie tych pomiarów można wyznaczyć wskaźniki, które w prosty i czytelny sposób dostarczają informacji na temat stopnia elektroporacji tkanki poddanej działaniu PEF. Badania, które w tym zakresie prowadziłem, przy wykorzystaniu zaprojektowanej we współpracy z Instytutem Wysokich Ciśnień PAN, metody pomiarowej w pierwszej kolejności służyły właśnie ocenie oddziaływania PEF lub US na tkankę jabłka. Jednakże, pomiar właściwości elektrycznych został także przeze mnie wykorzystany do oceny zmian wywołanych jedno i wielokrotnym zamrażaniem i rozmrażaniem produktów spożywczych. Wraz z zespołem, stwierdziliśmy, że pomiar przewodności elektrycznej może być skutecznym narzędziem pozwalającym na identyfikację powtórnego zamrożenia tkanki warzyw, co ma istotne znaczenie aplikacyjne.

Właściwości akustyczne zazwyczaj kojarzone są z systemami o niskiej aktywności wody i kruchej teksturze. W naszych badaniach wykazaliśmy, że pomiar tych właściwości może posłużyć do oceny efektywności oddziaływania PEF na tkankę roślinną. Jabłka poddane obróbce elektrycznej charakteryzowały się niższą liczbą zdarzeń i niższą energią zdarzenia niż materiał kontrolny, niepoddany żadnej obróbce elektrycznej. Było to związane ze zniszczeniem struktur komórkowych odpowiadających za utrzymanie turgoru oraz mechaniczną wytrzymałość tkanki tj. błon komórkowych, ścian komórkowych oraz wakuoli, wskutek elektroporacji. Na podstawie otrzymanych wyników opracowano także wskaźnik służący do oceny efektywności elektroporacji oparty na pomiarze średniej energii zdarzenia akustycznego. Wskaźnik ten został nazwany akustycznym stopniem dezintegracji i korelował istotnie zarówno z mechanicznym stopniem dezintegracji ($r=0,934$; opartym na pomiarze siły ściskania przy 15% odkształceniu) oraz tradycyjnym elektrycznym stopniem dezintegracji ($r=0,840$), którego wyznaczenie oparte jest na pomiarze przewodności elektrycznej właściwej. Zaletą opracowanej metody w porównaniu do pomiarów wielkości elektrycznych jest także możliwość jednoczesnej rejestracji właściwości mechanicznych, które w niektórych zastosowaniach PEF są kluczowe, np. rozdrabnianie ziemniaków na frytki. W podobny sposób pomiary właściwości akustycznych posłużyły do pośredniej oceny struktury napowietrzonych żeli agarowo-fruktozowych. Żele, które charakteryzowały się dużą liczbą małych porów emitowały większą liczbę zdarzeń akustycznych o wyższej średniej energii zdarzenia, natomiast sama porowatość systemów uzależniona była od parametrów procesowych.

Do niekonwencjonalnych metod pomiarowych można zaliczyć także pomiar aktywności tzw. biospeckli. Badania w tym zakresie prowadziłem we współpracy z naukowcami z Instytutu Agrofizyki im. B. Dobrzańskiego PAN w Lublinie. Badania te udowodniły, że wykorzystania zjawiska biospeckli może posłużyć do nieniszczącej analizy zmian jakości pomidorów w trakcie ich przechowywania.

Wyniki prac dotyczących zastosowania niekonwencjonalnych metod pomiarowych w celu określenia właściwości żywności zaprezentowano w następujących publikacjach: Załącznik 4: II.4.20, II.4.30, II.4.26, II.4.37.

7.2. Podsumowanie dorobku naukowego

Jestem autorem lub współautorem 52 publikacji znajdujących się w bazie JCR, z których 33 ukazały się po uzyskaniu stopnia naukowego doktora (tabela 2). Opublikowałem także 13 prac w czasopiśmie, które nie posiadają współczynnika IF oraz 17 rozdziałów w monografiach naukowych. Zdecydowana większość wszystkich moich prac to publikacje anglojęzyczne – stanowią one ponad 76% mojego dotychczasowego dorobku naukowego. Sumaryczna liczba punktów MNiSW za publikacje, których jestem autorem lub współautorem wynosi 3606 pkt, w tym 2951 pkt po uzyskaniu stopnia naukowego doktora. Z kolei całkowita wartość współczynnika IF za moje publikacje naukowe wynosi 149,804, w tym po doktoracie 116,341. Po wyłączeniu prac stanowiących szczególne osiągnięcie naukowe wartość mojego pozostałego dorobku naukowego wynosi: sumaryczny IF=130,94 oraz 2871 pkt.

Pełna i szczegółowa lista moich osiągnięć znajduje się w załączniku 4 do wniosku o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego.

Tabela 2. Zestawienie oryginalnych prac twórczych

Lp.	nazwa czasopisma	Rok publikacji	liczba publikacji	IF*	punkty MNiSW**
przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora					
1		2012	1	2,276	35
2	Journal of Food Engineering	2015	1	3,199	40
3		2016	1	3,099	40
4		2013	1	1,77	35
5	Drying Technology	2013	1	1,77	35
6		2014	1	1,518	30
7		2015	1	1,976	30
8	Food and Bioproducts Processing	2013	1	2,285	25
9	Journal of Food Properties	2014	1	0,915	20
10	Innovative Food Science and Emerging Technologies	2015	1	2,997	40
11		2016	1	2,573	40
12	Food Research International	2015	1	3,182	40
13	Journal of Food Process Engineering	2016	1	1,37	20
14	Applied Acoustics	2016	1	1,921	30
15		2016	1	1,921	30
16	Nauki Inżynierskie i Technologie	2012	1	0	5
17	Acta Agrophysica	2013	1	0	7
18		2011	1	0	6
19		2012	1	0	6
20	Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych	2013	1	0	9
21		2014	1	0	9
22		2015	1	0	13
23		2016	1	0	13
24		2012	1	0,19	15
25	Żywność. Nauka. Technologia. Jakość	2012	1	0,19	15
26		2013	1	0,311	15
27		2015	1	0	13
28		2010	1	0	4
29		2012	1	0	5
30		2012	1	0	5
31	Rozdziały w monografiach	2012	1	0	5
32		2014	1	0	5
33		2014	1	0	5
34		2014	1	0	5
35		2014	1	0	5
razem przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora			35	33,463	655
po uzyskaniu stopnia naukowego doktora					
36	Journal of Food Process Engineering	2017	1	1,955	20
37	International Journal of Food Engineering	2017	1	0,923	15
38	Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych	2017	1	0	13
39		2017	1	0	13
40	Carpathian Journal of Food Science & Technology	2018	1	0	5

41		2018	1	2,598	30
42	Ultrasonics	2018	1	2,598	30
43	Food Chemistry	2018	1	5,399	40
44		2018	1	3,031	30
45	Molecules	2020	1	3,276	100
46	Sensors	2018	1	3,031	30
47		2018	1	3,625	40
48	Journal of Food Engineering	2018	1	4,499	140
49		2019	1	4,499	140
50	Food Control	2018	1	4,248	40
51	Food Hydrocolloids	2019	1	7,053	140
52	Przemysł Spożywczy	2018	1	0	5
53	Food and Bioprocess Technology	2019	1	3,666	100
54	Food and Bioproducts Processing	2019	1	3,726	100
55	Ultrasonics Sonochemistry	2019	1	6,513	140
56	Journal of Food Science	2019	1	2,478	70
57		2019	1	4,006	100
58	LWT	2020	1	4,006	100
59	Drying Technology	2020	1	2,998	100
60		2019	1	4,092	70
61		2019	1	4,092	70
62	Foods	2019	1	4,092	70
63		2019	1	4,092	70
64	Journal of the Science of Food and Agriculture	2020	1	2,614	100
65	Innovative Food Science & Emerging	2019	1	4,477	140
66	Technologies	2020	1	4,477	140
67	International Journal of Food Engineering	2020	1	1,022	40
68		2020	1	2,474	70
69	Applied Sciences	2020	1	2,474	70
70		2020	1	2,474	70
71	International Agrophysics	2020	1	1,655	70
72	International Journal of Food Science & Technology	2020	1	2,773	70
73	Journal of Food Processing and Preservation	2020	1	1,405	40
74		2017	1	0	5
75		2017	1	0	5
76		2018	1	0	5
77		2020	1	0	20
78	Rozdziały w monografiach	2020	1	0	20
79		2020	1	0	20
80		2020	1	0	20
81		2020	1	0	50
82		2020	1	0	50
83	Redakcja monografii	2020	1	0	50
84	Patenty	2020***	1	0	75
razem po uzyskaniu stopnia naukowego doktora			48	116,341	2951
RAZEM			83	149,804	3606

* IF zgodnie z rokiem opublikowania prac

** liczba punktów MNiSW liczona zgodnie z komunikatem obowiązującym w roku opublikowania pracy

*** rok wydania decyzji

Jestem także autorem lub współautorem 80 doniesień konferencyjnych w tym 27 referatów, które prezentowałem na międzynarodowych i krajowych wydarzeniach naukowych (tabela 3). Mój indeks Hirscha według baz Web of Science i Scopus wynosi odpowiednio 15 i 17, natomiast według bazy Google Scholar 19. Moje prace były cytowane 1014 oraz 1178 razy odpowiednio według danych zawartych w bazie Web of Science oraz Scopus. Według bazy danych Google Scholar liczba cytowani moich prac wynosi 1551 (stan na dzień 19.01.2021).

Tabela 3. Zestawienie dorobku naukowego przed i po uzyskaniu stopnia naukowego doktora

Rodzaj aktywności	Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora	Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora	SUMA
Publikacja znajdujące się w bazie JCR	18	34	52
w języku polskim	3	0	3
w języku angielskim	15	34	49
Publikacje nie znajdujące się w bazie JCR	9	4	13
w języku polskim	9	3	12
w języku angielskim	0	1	1
Rozdziały w monografiach	8	9	17
w języku polskim	3	1	4
w języku angielskim	5	8	13
Projekty naukowo-badawcze	7	4	11
krajowe finansowane przez NCBR, NCN lub MNiSW	4	1	5
międzynarodowe finansowane przez UE lub NCBR	0	2	2
pozostałe (np. "grant wewnętrzny")	3	1	4
Doniesienia konferencyjne	47	33	80
Referaty na zaproszenie i wykłady plenarne	2	6	8
Referaty na międzynarodowych konferencjach	9	4	13
Referaty na krajowych konferencjach	6	0	6
Postery na międzynarodowych konferencjach	19	18	37
Postery na krajowych konferencjach	11	5	16
Indeks Hirscha wg bazy Web of Science do dnia 20.01.2021			15
Indeks Hirscha wg bazy Scopus do dnia 20.01.2021			17
Indeks Hirscha wg Google Scholar do dnia 20.01.2021			19
Liczba cytowań według bazy Web of Science (w nawiasie podano liczbę bez autocytowań) do dnia 20.01.2021			1014 (842)
Liczba cytowań według bazy Scopus (w nawiasie podano liczbę bez autocytowań) do dnia 20.01.2021			1178 (973)
Liczba cytowani według Google Scholar do dnia 20.01.2021			1551

7.3. Nagrody i wyróżnienia

Moje wystąpienia konferencyjne w postaci referatów oraz posterów były wielokrotnie nagradzane lub wyróżniane:

1. Nagroda za prezentację „Influence of Pulsed Electric Field on Electric and Thermal Properties of Apple”, 18th Conference of Young Researchers Section of Polish Society of Food Technologists – 2nd International Conference, 14 maja 2013, Puszczykowo
2. Wyróżnienie za referat „Analiza możliwości zastosowania obróbki wstępnej za pomocą ultradźwięków oraz blanszowania parą w aspekcie zmian zawartości chlorofilu i barwy suszonych liści pietruszki.”, IV Symposium Inżynierii Żywności, PTTŻ, PTA, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, SGGW w Warszawie, 1-2 lipca 2014, Warszawa
3. Wyróżnienie za referat „Wykorzystanie pulsacyjnego pola elektrycznego (PEF) do wspomaganie suszenia marchwi”, IV Symposium Inżynierii Żywności, PTTŻ, PTA, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, SGGW w Warszawie, 1-2 lipca 2014, Warszawa
4. Nagroda za referat „The effect of pulsed electric field treatment on immersion freezing, thawing and quality of carrot”, 19th Conference of Young Researchers Section of Polish Society of Food Technologists – 3rd International Conference, PTTŻ Wydział Nauk o Żywności, SGGW w Warszawie, 7-9.05.2014.
5. Nagroda za najlepsze wystąpienie na VII Symposium Doktorantów „Cztery Żywioły – współczesne problemy w naukach o życiu”, 23.10.2014, Warszawa
6. Nagroda specjalna za najlepszą prezentację podczas XX Scientific Session of the young staff – 4th International Session of Young Scientific Staff – Food – Quality and Perspectives, 14-15.05.2015, Rzeszów.
7. Nagroda publiczności za najlepszą prezentację podczas XX Scientific Session of the young staff – 4th International Session of Young Scientific Staff – Food – Quality and Perspectives, 14-15.05.2015, Rzeszów.
8. Nagroda za najlepszy poster podczas „Sustainable postharvest and food technologies INOPTEP 2017”, 23-28.04.2017, Vrsac, Serbia;
9. Nagroda (trzecie miejsce) w konkursie na najlepszy referat podczas 2nd World Congress on Electroporation, Pulsed Electric Fields in Biology, Medicine, Food and Environmental Technologies, 28.09.2017, Norfolk, VA, USA.
10. Nagroda za najlepszy referat podczas “Sustainable postharvest and food technologies INOPTEP 2019”, 07-12.04.2019, Kladovo, Serbia;

Byłem także wyróżniany przez JM Rektora SGGW w Warszawie następującymi nagrodami:

1. Nagroda JM. Rektora Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie indywidualna III stopnia za osiągnięcia naukowe, 2016 r.
2. Nagroda JM. Rektora Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie zespołowa II stopnia za osiągnięcia naukowe, 2017 r.
3. Nagroda JM. Rektora Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie indywidualna III stopnia za osiągnięcia naukowe, 2018 r.
4. Nagroda JM Rektora Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie zespołowa II stopnia za osiągnięcia naukowe, 2019 r.

W 2017 roku Polskie Towarzystwo Technologów Żywności przyznało mi prestiżową nagrodę za najlepszą pracę doktorską z zakresu nauk o żywności obronioną w 2016 roku.

W 2018 roku otrzymałem stypendium Fundacji Dekaban na półroczny wyjazd badawczy do Vancouver, Kanada oraz pracę w charakterze Visiting Assistant Professor w University of British Columbia (UBC).

W 2019 roku Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego przyznał mi stypendium dla wybitnych młodych naukowców na lata 2020-2023. Wcześniej jako doktorant, w 2013 roku otrzymałem stypendium Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego za wybitne osiągnięcia na rok akademicki 2013/2014.

W 2020 roku zdobyłem I miejsce w konkursie Innowator Mazowsza w kategorii Innowacyjny Naukowiec. Nagroda została przyznana za moją pracę doktorską.

Moja działalność naukowa została zauważona także przez IUFoST i IAFoST. W 2020 roku jako jeden z trzynastu młodych naukowców na świecie zostałem członkiem Early Career Section IUFoST/IAFoST. Są to globalne organizacje, które skupiają naukowców zajmujących się technologią żywności i współpracują z FAO oraz WHO.



(podpis wnioskodawcy)