

**SZKOŁA GŁÓWNA GOSPODARSTWA WIEJSKIEGO  
W WARSZAWIE  
WYDZIAŁ NAUK O ŻYWNOSCI  
KATEDRA INŻYNIERII ŻYWNOSCI I ORGNIZACJI PRODUKCJI**

dr inż. Agnieszka Ciurzyńska

Załącznik 2 do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego w dziedzinie Nauk  
Rolniczych w dyscyplinie  
Technologia Żywności i Żywienia

**Autoreferat**

Warszawa, 2017



## Spis treści

1. Dane osobowe .....	5
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe .....	5
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych .....	5
4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 z dnia 14 marca 2003 r. O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (dz.u. nr 65, poz. 595 ze zm.). .....	6
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego .....	6
4.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia .....	6
4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.....	8
4.3.1. Wprowadzenie .....	8
4.3.2. Cel naukowy oraz omówienie wyników badań.....	16
4.3.3. Podsumowanie.....	30
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych (artystycznych) .....	34
5.1. Wpływ warunków liofilizacji i obróbki wstępnej na właściwości suszonych sublimacyjnie truskawek i dyni .....	34
5.2. Wpływ warunków suszenia próżniowego na jakość suszonych truskawek .....	41
5.3. Wykorzystanie zrównoważonych technologii i produktów ubocznych w otrzymywaniu innowacyjnych produktów.....	43
5.4. Możliwości wykorzystania hydrokoloidów przy opracowywaniu nowatorskich produktów spożywczych o prozdrowotnych cechach .....	45
6. Zestawienie dorobku .....	48
7. Inne osiągnięcia związane z aktywnością dydaktyczną i organizacyjną.....	51
7.1. Działalność dydaktyczna .....	51
7.2. Działalność organizacyjna .....	52
7.3. Działalność w towarzystwach naukowych i zespołach eksperckich oraz konsorcjach i sieciach badawczych, recenzje grantów .....	53
7.4. Otrzymane nagrody i wyróżnienia.....	54
7.5. Współpraca z zagranicą, recenzje publikacji .....	54
7.6. Osiągnięcia w zakresie popularyzacji nauki .....	54
7.7. Współpraca z przemysłem .....	55



---

## 1. Dane osobowe

---

### Imię i nazwisko: Agnieszka Ciurzyńska

Miejsce pracy: Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa

---

## 2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

---

- **2008**, Semestralne Podyplomowe Studium Doskonalenia Pedagogicznego w SGGW,
- **2007**, Doktor nauk rolniczych w zakresie technologii żywności i żywienia – inżynieria żywności i organizacja produkcji, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk o Żywności,
- **2005**, Master of Business Administration, Studia podyplomowe MBA w dziedzinie „Zarządzanie i Marketing w Gospodarce Żywnościowej”, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie i ESSEC Business School w Paryżu,
- **2003**, Magister inżynier technologii żywności i żywienia człowieka, w zakresie technologii żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Technologii Żywności, Katedra Technologii Żywności, Zakład Technologii Owoców i Warzyw.

---

## 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

---

- adiunkt (2008-obecnie), Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk o Żywności, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji,
- asystent (2007-2008), Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk o Żywności, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji,
- będąc zatrudniona na stanowisku adiunkta przebywałam na urlopie macierzyńskim w okresie 15.08.2010-15.01.2011 oraz na urlopie wychowawczym w okresie 15.04.-30.12.2011.

#### **4. Wskazanie Osiągnięcia Wynikającego z Art. 16 Ust. 2 z Dnia 14 Marca 2003 R. O Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz O Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki (Dz.U. Nr 65, Poz. 595 Ze Zm.).**

##### **4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego**

Osiągnięcie będące podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego stanowi cykl 8 publikacji naukowych powiązanych tematycznie, ujętych pod wspólnym tytułem:

**„Wpływ struktury na wybrane właściwości suszy uzyskanych metodą suszenia sublimacyjnego”.**

##### **4.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia**

Część badań, których wyniki przedstawione są w Osiągnięciu została sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach projektu badawczego NCN Sonata 5 nr 2013/09/D/NZ9/04150 pt. „Innowacyjny produkt truskawkowy o wykreowanej strukturze”.

**O1. Ciurzyńska A., Lenart A., Kawka P. (2013): Influence of chemical composition and structure on sorption properties of freeze – dried pumpkin. Drying Technology, 31, 655–665 [PM 35, IF 1.77\*, 1,794\*\*]**

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w: tworzeniu koncepcji pracy, w analizie wyników, zgromadzeniu literatury oraz przygotowaniu manuskryptu (autor korespondujący). Mój udział procentowy szacuję na 60 %.*

**O2. Ciurzyńska A., Lenart A., Gręda K.J. (2014): Effect of pre-treatment conditions on content and activity of water and colour of freeze-dried pumpkin. LWT - Food Science and Technology, 59, 1075-1081 [PM 35, IF 2.416\*, 3,290\*\*]**

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w tworzeniu koncepcji pracy, udziale w analizie i interpretacji wyników oraz zgromadzeniu literatury i przygotowaniu manuskryptu (autor korespondujący). Mój udział procentowy szacuję na 60 %.*

**O3. Ciurzyńska A.,** Lenart A., Gręda K.J. (2013): Effect of pre-treatment conditions on structure and mechanical properties of freeze-dried pumpkin. Italian Journal of Food Sciences, 4(25), 403-411 [PM 15, IF 0,2\*, 0,73\*\*]

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w: tworzeniu koncepcji pracy, analizie i interpretacji wyników, zgromadzeniu literatury oraz przygotowaniu manuskryptu (autor korespondujący). Mój udział procentowy szacuję na 60 %.*

**O4. Ciurzyńska A.,** Lenart A. (2010): Wybrane właściwości fizyczne liofilizowanych galaretek truskawkowych. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 553, 31-39 [PM 6]

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na otrzymaniu materiału badawczego i wykonaniu doświadczeń, udziale w: tworzeniu koncepcji pracy, analizie wyników, zgromadzeniu literatury oraz przygotowaniu manuskryptu (autor korespondujący). Mój udział procentowy szacuję na 60 %.*

**O5. Ciurzyńska A.,** Lenart A., Traczyk W. (2013): Influence of chemical composition and structure of strawberry gels on the chosen physical properties of freeze-dried final product. Italian Journal of Food Sciences, 2(25), 149-159 [PM 15, IF 0,2\*, 0,73\*\*]

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy, udziale w: analizie wyników i zgromadzeniu literatury oraz przygotowaniu manuskryptu (autor korespondujący). Mój udział procentowy szacuję na 60 %.*

**O6. Ciurzyńska A.,** Lenart A. (2016). Effect of the aerated structure on selected properties of freeze-dried hydrocolloid gels. International Agrophysics, 30, 9-17 [PM 25, IF 1,067\*, 1,070\*\*]

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na tworzeniu koncepcji pracy, wykonaniu doświadczeń, pozyskaniu funduszy i kierowaniu projektem naukowym obejmującym badania opisane w tej pracy, udziale w: analizie wyników, zgromadzeniu literatury oraz przygotowaniu manuskryptu (autor korespondujący). Mój udział procentowy szacuję na 70 %.*

**O7. Ciurzyńska A.,** Marzec A., Mieszkowska A., Lenart A. (2017). Structure influence on mechanical and acoustic properties of freeze-dried gels obtained with the use of hydrocolloids. *Journal of Texture Studies*, 48(2), 131-142, DOI: 10.1111/jtxs.12224 [PM 25, IF 1.261\*]

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na udziale w tworzeniu koncepcji pracy, wykonaniu części doświadczeń, pozyskaniu funduszy i kierowaniu projektem naukowym obejmującym badania opisane w tej pracy, udziale w: analizie wyników, zgromadzeniu literatury oraz przygotowaniu manuskryptu (autor korespondujący). Mój udział procentowy szacuję na 53 %.*

**O8. Ciurzyńska A.,** Mieszkowska A., Olsiński I., Lenart A. (2017). The effect of composition and aeration on selected physical and sensory properties of freeze-dried hydrocolloid gels. *Food Hydrocolloids*, 67, 94-103 [PM 45, IF 3.858\*, 4,703\*\*]

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy, wykonaniu części doświadczeń, pozyskaniu funduszy i kierowaniu projektem naukowym obejmującym badania opisane w tej pracy, udziale w: analizie wyników, zgromadzeniu literatury oraz przygotowaniu manuskryptu (autor korespondujący). Mój udział procentowy szacuję na 60 %.*

**Łącznie:**

Impact factor (IF) – 10.772\*, 13.578\*\* (w przypadku czasopism dla których nie naliczono 5-letniego wskaźnika przyjęto wartość IF\* z roku publikacji)

Punkty MNiSW (PM)- 201

\*obowiązujące w roku wydania publikacji (w przypadku publikacji z lat 2016-2017 przyjęto wartość IF wyliczoną w latach 2015/2016)

\*\* średni pięcioletni Impact Factor

**4.3. Omówienie celu naukowego w/w prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania**

---

**4.3.1. Wprowadzenie**

Polska jest czołowym producentem owoców i warzyw nie tylko w Europie, ale i na świecie. Polskie produkty cechuje wysoka jakość, która wyróżnia je na tle owoców i warzyw pochodzących z innych krajów. Niestety, krótki okres dostępności oraz przydatności do spożycia w stanie świeżym, jak również różne uwarunkowania gospodarczo-polityczne



sprawiają, że nadwyżki tych surowców muszą być jak najszybciej utrwalone. W tym celu najczęściej stosowane jest mrożenie i suszenie. Producenci żywności cały czas poszukują metod utrwalania pozwalających na uzyskanie pożądanego efektu przy jednocześnie wysokiej jakości produktu końcowego. Dodatkowo, konsumenci żywności są coraz bardziej wymagający i świadomi tego co spożywają, co dodatkowo przyczynia się do rozwoju i udoskonalania technik utrwalania. W ostatnich latach obserwujemy zmianę trybu życia, a ciągły pośpiech sprawia, że coraz częściej i chętniej sięgamy po produkty wysokoprzetworzone, ułatwiające nam przygotowanie codziennych posiłków, a takimi są susze.

Wśród metod suszenia najstarszą i najczęściej stosowaną jest suszenie konwekcyjne w wysokich temperaturach i przy ciśnieniu atmosferycznym. Pozwala ono na uzyskanie dużej ilości suszu w stosunkowo krótkim czasie, przy jednocześnie niskich kosztach w porównaniu z technikami wykorzystującymi np. obniżone ciśnienie. Jednak niewątpliwie wadą tej techniki jest gorsza jakość produktu [Ratti, 2001; Argyropoulos i Müller, 2014] w porównaniu z suszami uzyskanymi w niższych temperaturach przy wykorzystaniu np. liofilizacji [George i Datta, 2002; Liu i wsp., 2008].

Liofilizacja (suszenie sublimacyjne) jest jedną z najnowocześniejszych, chociaż nie najnowszych metod suszenia. Polega na odparowaniu wody ze stanu lodu, z pominięciem fazy ciekłej [Liu i wsp., 2008] i składa się z następujących kolejno po sobie etapów: mrożenia, sublimacji lodu i dosuszania próżniowego [Ciurzyńska i Lenart, 2011]. Dzięki temu procesowi otrzymywany jest susz wysokiej jakości, wyróżniający się na tle suszy uzyskanych innymi metodami, głównie ze względu na porowatą strukturę, która przyczynia się do wysokiej zdolności do rehydracji. Ponadto ma prawie niezmienny kształt na skutek niskiego skurczu suszarniczego przy znacznej redukcji masy, oraz wysokie bezpieczeństwo mikrobiologiczne jako efekt usunięcia ponad 90% wody, czyli naturalnego środowiska rozwoju mikroorganizmów [George i Datta, 2002; Ciurzyńska i Lenart, 2011].

Technika liofilizacji jest stosowana zarówno do produkcji żywności, jak również do utrwalania materiałów biotechnologicznych [Kusakabe i Kamiguchi, 2004; Tsinontides i wsp., 2004], jednak zastosowanie jej na szeroką skalę ograniczają wysokie koszty procesu (4-8 razy wyższe) w porównaniu z tradycyjnymi metodami suszenia [Ratti, 2001]. Większość prowadzonych badań dotyczy jakości liofilizatów, a nie samej ekonomiki procesu, chociaż te dwa aspekty łączą się ze sobą. Dobranie właściwych parametrów liofilizacji jest sprawą indywidualną każdego surowca, co wiąże się z jego składem i budową wewnętrzną, a jakość

produktu końcowego może być regulowana na każdym etapie suszenia sublimacyjnego i przygotowania przed suszeniem.

W literaturze można spotkać wiele badań mających na celu obniżenie kosztów liofilizacji. Dotyczą one modyfikacji polegających na zastosowaniu technik przyspieszających suszenie, jak również technik obróbki wstępnej, mogących jednocześnie wpływać na jakość suszu, dzięki czemu możliwe jest otrzymanie coraz nowocześniejszych produktów, których właściwości kształtowane są np. poprzez wprowadzanie składników w czasie odwadniania osmotycznego lub wywołane zróżnicowaną obróbką termiczną zmiany struktury. W pracy Cieurzyńskiej i Lenarta [2011] (D.2.7.) dokonano przeglądu publikacji na temat suszenia sublimacyjnego.

Wielu naukowców zwraca szczególną uwagę na strukturę i jej wpływ np. na zdolność do rehydracji jako ważną cechę suszy sublimacyjnych [Huang i wsp., 2009]. Tekstura jest również parametrem decydującym o akceptacji produktu przez konsumentów [Salvador i wsp., 2009]. W przypadku suszy zwracają oni szczególną uwagę na cechy, takie jak kruchość czy twardość [Huang i wsp., 2011; Błońska i wsp., 2014]. Dodatkowo, odczucia akustyczne podczas jedzenia są szczególnie ważne w przypadku produktów kruchych [Marzec i Zadrożna, 2008], dlatego tak ważne jest zbadanie wpływu struktury na właściwości liofilizatów.

Niewątpliwie rodzaj surowca poddawanego suszeniu sublimacyjnemu, a zwłaszcza struktura materiału w stanie świeżym, odgrywa bardzo ważną rolę, warunkując w dużej mierze jakość produktu końcowego, ale warunki suszenia, zwłaszcza temperaturowe, są także istotne. Podejmowano wiele badań mających na celu określenie jak temperatura i czas zarówno na etapie mrożenia, jak i sublimacji, a także zastosowana obróbka wstępna mogą wpływać na jakość suszu [Mwithinga i Olwal, 2006; Cieurzyńska, 2007; Rahman i Velez-Ruiz, 2007; Stanley, 2008]. W przypadku warzyw często stosowaną obróbką wstępną przed suszeniem i mrożeniem jest blanszowanie, które ma na celu inaktywację enzymów, ograniczenie niekorzystnych zmian barwy i smaku podczas przechowywania, ale także rozluźnienie struktury [Marabi i wsp., 2004; Nascimento i wsp., 2009]. Połączenie jej z odwadnianiem osmotycznym zalecanym przed suszeniem [Lewicki i Lenart, 2007] może pozytywnie wpłynąć na jakość suszu. Niektórzy badacze dowodzą, że temperatura w czasie mrożenia również odgrywa ważną rolę, wpływając na porowatość suszu, a przez to na zdolność do jego uwadniania [Marques i wsp., 2007; Rhim i wsp., 2011]. Natomiast inni wskazują na brak zależności między szybkością formowania kryształów lodu i jakością

produktu końcowego [Hammami i Rene, 1997]. Niewątpliwie, w tym aspekcie rodzaj materiału poddawanego mrożeniu ma wpływ na uzyskane wyniki. Sublimacja lodu z zamrożonego materiału możliwa jest dzięki kontrolowanemu dostarczaniu ciepła do produktu, a zastosowanie nieodpowiednich warunków tego etapu może zdecydowanie pogorszyć jakość suszu. Badania wykazują, że zbyt wysoka temperatura półek grzejnych liofilizatora może przyczyniać się do niekorzystnych zmian struktury, które z kolei w dużej mierze warunkują jakość liofilizatów. Związane jest to z przekroczeniem temperatury krytycznej, w której następuje tzw. „przejście szkliste”, co może powodować zapadanie się struktury suszu [Krokida i wsp., 1998]. Natomiast gdy temperatura jest za niska, szybkość transportu wilgoci w suszonym materiale nie jest dostatecznie wysoka, aby go skutecznie odwodnić [Ratti, 2001].

W każdym z etapów liofilizacji jak i obróbki wstępnej struktura surowca może mieć wpływ na zachowanie się materiału. Przykładowo podczas mrożenia, produkty o delikatnej budowie tkankowej mogą być bardziej podatne na jej uszkodzenia przez formujące się kryształy lodu niż surowce o sztywniejszych ścianach komórkowych, które mogą w wyższym stopniu zachować nienaruszoną strukturę. Dlatego przebadanie jakości suszy różniących się strukturą w stanie świeżym może dać pełniejszy obraz jej roli w jakości produktu końcowego.

Wzrastające w ostatnim czasie zainteresowanie żywnością napowietrzoną jako produktami o działaniu prozdrowotnym, poprzez ich ograniczoną kaloryczność, skłania producentów żywności i naukowców do stosowania hydrokoloidów [Parada i Aguilera, 2007; Zúñiga i Aguilera, 2008]. Hydrokoloidy jako substancje zagęszczające mają zdolność zwiększania odczucia sytości i są coraz częściej doceniane jako składniki żywności pozwalające na kontrolowanie masy ciała, ponieważ takie produkty dłużej pozostają w przewodzie pokarmowym, ograniczając spożycie kolejnych porcji pokarmu [Pasman i wsp., 1997; Hoad i wsp., 2004; Labbafi i wsp., 2007]. Coraz częściej stosowany zabieg napowietrzania żywności wiąże się także z tym, że pęcherzyki powietrza wprowadzane do żywności są traktowane przez producentów jako dodatkowy i niekaloryczny jej składnik, który nie generuje kosztów, uatrakcyjnia strukturę, a jednocześnie zwiększa objętość produktu przy jego niskiej masie [Aguilera, 2005]. Chociaż napowietrzanie, nadające tradycyjnej żywności nowy charakter, jest coraz powszechniejsze [Campbell i Mougeot, 1999], to sam proces wprowadzania powietrza o kontrolowanej wielkości pęcherzyków jest trudny i mało powtarzalny, zwłaszcza przy zastosowaniu prostych technik typu mieszanie,

spienianie czy ubijanie [Labbafi i wsp., 2007]. Dlatego tak ważne jest zbadanie wpływu wytworzonej struktury na właściwości produktu końcowego.

Hydrokoloidy wykazują zróżnicowane cechy i wpływ na właściwości produktu, a połączenie ich pozwala na otrzymanie nowych, atrakcyjnych właściwości dzięki oddziaływaniom synergistycznym [Hiorth i wsp., 2005]. Wśród hydrokoloidów wyróżniamy takie, które samodzielnie mogą wywołać żelowanie produktu, np. pektyny [Braccini i Perez, 2001; Cardoso i wsp., 2003], ale też takie, które w tym celu muszą być połączone z innymi zagęstnikami, np. guma ksantanowa, mączka chleba świętojańskiego czy guma guar [Mao i wsp., 2012; Hiorth i wsp., 2005; Khouryieh i wsp., 2006; Arocas i wsp., 2009; Mikuš i wsp., 2011].

Utrwalenie materiałów o tak delikatnej strukturze jakimi są żele w procesie liofilizacji pozwala na otrzymanie produktów o atrakcyjnej strukturze [Cieurzyńska i wsp., 2013]. Suszone żele znajdują coraz szersze zastosowanie, np. jako modele produktów żywnościowych, na których można prowadzić badania wpływu struktury na właściwości suszu [Silva i Gibson, 1997; Kurose i wsp., 2004]. Dodatkowo, badania wykazują, że napowietrzenie produktów zmienia odczucie smaku, więc mogą być używane jako nośniki składników odżywczych i smakowych w nowoczesnej żywności [Zúñiga i Aguilera, 2008]. Suszone żele cechuje niska gęstość, duża wytrzymałość mechaniczna, ale te właściwości zależą od rodzaju surowca poddawanego suszeniu i w dużej mierze jego struktury w stanie świeżym [Nussinovitch i wsp., 1993; Sundaram i Durance, 2008]. Niektórzy badacze twierdzą, że mikrostruktura i właściwości żeli mogą być kontrolowane przez ich skład i warunki przygotowania [Nussinovitch i wsp. 1993; Gibson i Ashby, 1997], dlatego zasadne wydaje się podejmowanie badań mających na celu wyjaśnienie tych zależności.

Pomimo wielu doniesień literaturowych na temat liofilizacji, przeprowadzona analiza problemu suszenia sublimacyjnego wskazuje na potrzebę wykonania jeszcze wielu badań, które mogą przyczynić się do lepszego zrozumienia zjawisk zachodzących podczas suszenia sublimacyjnego, jego warunków i wpływu na strukturę otrzymywanych suszy w kontekście zmian ich właściwości.

**Literatura:**

1. Aguilera J. M. (2005). Why food microstructure? *Journal of Food Engineering*, 67, 3–11.
2. Argyropoulos D. & Müller J. (2014): Changes of essential oil content and composition during convective-drying of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Industrial Crops and Products*, 52, 118–124.
3. Arocas A., Sanz T. & Fiszman S.M. (2009): Improving effect of xanthan and locust bean gums on the freeze-thaw stability of white sauces made with different native starches. *Food Hydrocolloids*, 23, 2478-2484.
4. Błońska A., Marzec A. & Błaszczuk A. (2014). Instrumental evaluation of acoustic and mechanical texture properties of short-dough biscuits with different content of fat and inulin. *Journal of Texture Studies*, 45(3), 226–234.
5. Braccini I. & Perez S. (2001): Molecular basis of Ca<sup>2+</sup> induced gelation in alginates and pectins: the egg-box model revised. *Biomacromolecules*, 2, 1089-1096.
6. Brunauer S., Deming L.S., Deming W.E. & Teller E. (1940): On a theory of the van der Waals adsorption of glass. *Journal of American and Chemical Society*, 62, 1723-1732.
7. Campbell G.M. & Mougeot E. (1999): Creation and characterization of aerated food products. *Trends in Food Science and Technology*, 10, 283-296.
8. Ciużyńska A. (2007): *Studia nad wpływem odwadniania osmotycznego na właściwości liofilizowanych truskawek*. Praca doktorska, SGGW, Warszawa.
9. Ciużyńska A. & Lenart A. (2009): The influence of temperature on rehydration and sorption properties of freeze-dried strawberries. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 1(1), 15-23.
10. Ciużyńska A. & Lenart A. (2011): Freeze-drying – application in food processing and biotechnology - a review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 61(3), 165–171.
11. Ciużyńska A., Lenart A. & Traczyk W. (2013): Influence of chemical composition and structure of strawberry gels on the chosen physical properties of freeze-dried final product. *Italian Journal of Food Science*, 2(25), 149-159.

12. George J.P. & Datta A.K. (2002): Development and validation of heat and mass transfer models for freeze-drying of vegetables slices. *Journal of Food Engineering*, 52, 89-93.
13. Gibson L. & Ashby M. (1997): *Cellular solids structure and properties*. (2<sup>nd</sup> ed.). Cambridge: University Press.
14. Hammami C. & Rene F. (1997): Determination of freeze-drying process variables for strawberries. *Journal of Food Engineering*, 32, 133-154.
15. Hiorth M., Kjøniksen A.-L., Knudsen K. D., Sande S. A. & Nystrom B. (2005): Structural and dynamical properties of aqueous mixtures of pectin and chitosan. *European Polymer Journal*, 41, 1718–1728.
16. Hoad C.L., Rayment P., Spiller R.C., Marciani L., Alonso Bde C., Traynor C., Mela D.J., Peters H.P. & Gowland P.A. (2004): *In vivo* imaging of intragastric gelation and its effect on satiety in humans. *Journal of Nutrition*, 134, 2293-2300.
17. Huang I., Zhang M., Wei-qiang Y., Mujumdar A.S. & Sun D. (2009): Effect of coating on post-drying of freeze-dried strawberry pieces. *Journal of Food Engineering*, 92, 107-111.
18. Huang L., Zhang M., Mujumdar A. S. & Lim R. (2011): Comparison of four drying methods for re-structured mixed potato with apple chips. *Journal of Food Engineering*, 103, 279–284.
19. Khouryieh H. A., Herald T. J., Aramouni F. & Alavi S. (2006): Influence of mixing temperature on xanthan conformation and interaction of xanthan-guar gum in dilute aqueous solutions. *Food Research International*, 39, 964–973.
20. Krokida M.K., Karathanos V.T. & Maroulis Z.B. (1998): Effect of freeze-drying conditions on shrinkage and porosity of dehydrated agricultural products. *Journal of Food Engineering*, 35, 369-381.
21. Kurose T., Takahashi T. & Koyama K. (2004): A new process to make a porous PTFE structure from aqueous PTFE dispersion with the help of hydrogel. *Journal of Porous Materials*, 11, 173–181.

22. Kusakabe H. & Kamiguchi Y. (2004): Chromosomal integrity of freeze-dried mouse spermatozoa after <sup>137</sup>Cs gamma-ray irradiation. *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, 556, 163-168.
23. Lewicki P.P. & Lenart A. (2007): Osmotic dehydration of fruits and vegetables. In: *Handbook of Industrial Drying*. 3rd edition. (ed. A. S. Mujumdar). Taylor & Francis Group, New York, 665-688.
24. Liu Y., Zhao Y. & Feng X. (2008): Exergy analysis for a freeze-drying process. *Applied and Thermal Engineering*, 28, 675-690.
25. Mao C. F., Zeng Y. C. & Chen C. H. (2012): Enzyme-modified guar gum/xanthan gelation: An analysis based on cascade model. *Food Hydrocolloids*, 27(1), 50–59.
26. Marabi A., Dilak J., Shan J. & Saguy I.S. (2004): Kinetics of solids leaching during rehydration of particulate dry vegetables. *Journal of Food Sciences*, 69, 91-96.
27. Marques L.G., Ferreira M.C. & Freire J.T. (2007): Freeze-drying acerola (*Malpighia glabra* L.). *Chemical Engineering and Processing*, 46, 451-457.
28. Marzec A. & Zadrożna M. (2008): Influence of microwave power on quality of dried apple. *Acta Agrophysics*, 12(2), 457–467.
29. Mikuš L., Valik L. & Dodok L. (2011): Usage of hydrocolloids in cereal technology. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 35(5), 325–334.
30. Mwithinga G. & Olwal J.O. (2006): The drying kinetics of kale (*Brassica oleracea*) in a convective hot air dryer. *Journal of Food Engineering and Sciences*, 69, 91-96.
31. Nascimento P., Fernandes N.S., Mauro M.A. & Kimura M. (2009): Beta-carotene stability during drying and storage of cassava and sweet potato. *Acta Horticulturae*, 841, 363-366.
32. Nussinovitch A., Velez-Silvestre R. & Peleg M. (1993): Compressive characteristics of freeze dried agar and alginate gel sponges. *Biotechnology Progress*, 9, 101-104.
33. Parada J. & Aguilera J. M. (2007): Food microstructure affects the bioavailability of several nutrients. *Journal of Food Science*, 72(2), 21–32.

34. Pasman W.J., Saris W.H. M., Wauters M.A.J. & Wasterterp-Platenga M.S. (1997): Effect of one week of fibre supplementation on hunger and satiety ratings and energy intake. *Appetite*, 29, 77–87.
35. Rahman M.S. & Valez-Ruiz J.F. (2007): Food preservation by freezing. In: *Handbook of Food Preservation* (ed. M.S. Rahman). CRS Press: Boca Raton, FL, 635-667.
36. Ratti C. (2001): Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering*, 51, 163-164.
37. Rhim J.W., Koh S. & Kim J.M. (2011): Effect of freezing temperature on rehydration and water vapour adsorption characteristics of freeze-dried rice porridge. *Journal of Food Engineering*, 104, 484-491.
38. Salvador A., Varela P., Sanz T. & Fiszman, S.M. (2009): Understanding potato chips crispy texture by simultaneous fracture and acoustic measurements, and sensory analysis. *LWT - Food Science and Technology*, 42(3), 763–767.
39. Silva M. J. & Gibson L. J. (1997): The effect of non-periodic microstructure and defects on the compressive strength of two dimensional cellular solids. *International Journal of Mechanical Sciences*, 39(5), 549–563.
40. Stanley A. (2008): Freeze drying. In: *Frozen Food Science and Technology*. (ed. J.A. Evans). Blackwell Publishing Ltd.: Oxford, UK, 248-275.
41. Sundaram J. & Durance T.D. (2008): Water sorption and physical properties of locust bean gum-pectin-starch composite gel dried using different drying method. *Food Hydrocolloids*, 22, 1352–1361.
42. Tsinontides S.C., Rajniak P.P., Pham D., Hunke W.A., Placek J. & Reynolds S.D. (2004): Freeze-drying principles and practice for successful scale-up to manufacturing. *International Journal of Pharmaceutics*, 280, 1-16.

#### **4.3.2. Cel naukowy Osiągnięcia oraz omówienie wyników badań**

---

Głównym celem Osiągnięcia będącego podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. nr 65, poz. 595 ze zm.) jest ocena wpływu warunków otrzymywania suszy sublimacyjnych na ich strukturę oraz wybrane właściwości fizyczne na przykładzie suszonej sublimacyjnie dyni i



żeli hydrokoloidowych. W efekcie możliwe będzie określenie zależności pomiędzy zmianami struktury a wybranymi właściwościami suszy uzyskanych metodą suszenia sublimacyjnego.

### **Szczegółowe cele pracy:**

1. Określenie wpływu warunków obróbki wstępnej i liofilizacji na strukturę i właściwości suszonej sublimacyjnie dyni
    - 1.1. Wpływ obróbki wstępnej na strukturę i właściwości liofilizowanej dyni
    - 1.2. Wpływ temperatury liofilizacji na strukturę i właściwości liofilizowanej dyni
  2. Określenie możliwości kształtowania struktury i właściwości liofilizowanych żeli hydrokoloidowych
    - 2.1. Wpływ składu surowcowego na strukturę i właściwości truskawkowych żeli hydrokoloidowych
    - 2.2. Wpływ czasu napowietrzania i składu surowcowego na strukturę i właściwości liofilizowanych żeli hydrokoloidowych
- 1. Określenie wpływu warunków obróbki wstępnej i liofilizacji na strukturę i właściwości suszonej sublimacyjnie dyni**

#### **AD.1.1. Wpływ obróbki wstępnej na strukturę i właściwości liofilizowanej dyni**

Po realizacji pracy doktorskiej, w czasie której badałam wpływ odwadniania osmotycznego na właściwości liofilizowanych truskawek postanowiłam kontynuować badania nad procesem liofilizacji i wpływem warunków suszenia oraz obróbki wstępnej na właściwości suszu sublimacyjnego wykorzystując inne surowce. Wśród owoców uprawianych w Polsce truskawki zajmują jedno z czołowych miejsc, ale ich krótki okres przydatności do spożycia oraz delikatna struktura skłaniają producentów i naukowców do poszukiwania alternatywnej do mrożenia metody utrwalenia, która pozwoli otrzymać produkt wysokiej jakości gotowy do spożycia. Dynia staje się coraz bardziej popularna wśród upraw w naszym kraju, a konsumenci doceniają jej skład i wartość odżywczą. Wykorzystując dynię do badań nad liofilizatami można określić warunki procesu suszenia jak i obróbki wstępnej na jakość surowca o zwartej strukturze. Przeprowadzone w ramach doktoratu badania suszonych sublimacyjnie truskawek wykazały, że cechy suszu w dużym stopniu zależą od warunków

liofilizacji i obróbki wstępnej (odwadnianie osmotyczne) poprzedzającej suszenie. Truskawki są owocami o bardzo delikatnej strukturze, co mogło mieć wpływ na uzyskane wyniki. Kontynuacją badań nad liofilizatami była próba wyjaśnienia wpływu warunków obróbki wstępnej przed suszeniem sublimacyjnym na strukturę suszu, a przez to na jakość produktu końcowego na przykładzie dyni, która charakteryzuje się zdecydowanie mocniejszą strukturą niż truskawki. W przypadku warzyw często stosuje się blanszowanie, a połączenie tej techniki z odwadnianiem osmotycznym może przyczynić się do uzyskania zmian właściwości suszu. Wyniki opublikowano w pracach **O1**, **O2**, **O3**.

W pracy **O1** dokonano analizy wpływu obróbki wstępnej, składu chemicznego i struktury na właściwości sorpcyjne suszonej sublimacyjnie dyni. Jako obróbkę wstępną zastosowano: blanszowanie w wodzie o temperaturze 80°C przez 1 lub 8 minut, odwadnianie osmotyczne w 40% roztworze sacharozy o temperaturze 80°C przez 8 minut, oraz mrożenie: szybkie (-70°C/2h) i wolne (-18°C/2h i przechowywanie -18°C/2tyg.), oraz mrożenie łączone (-70°C/2h i przechowywanie -18°C/2tyg.). Wykazano, że warunki obróbki wstępnej wpłynęły na strukturę liofilizowanej dyni, a przez to na właściwości suszu na przykładzie właściwości sorpcyjnych. Wyznaczono krzywe kinetyki sorpcji pary wodnej przy aktywności wody środowiska 0,328; 0,648 i 0,920 oraz izotermy sorpcji liofilizowanej dyni, które zaliczono do typu II zgodnie z klasyfikacją Brunauer i wsp. (1940). Dokonano także próby dobrania modelu matematycznego o najwyższym stopniu dopasowania do danych eksperymentalnych. Spośród 4 modeli często stosowanych do opisu krzywych sorpcji produktów żywnościowych, zdecydowano o wyborze modelu Lewickiego, który wykazywał najwyższy stopień dopasowania na podstawie wartości współczynnika determinacji  $R^2$  oraz współczynnika RMS (średniego błędu kwadratowego). Wykazano, że w przypadku liofilizowanej dyni model GAB nie mógł być zastosowany do opisu izoterm sorpcji, ponieważ nie spełnił warunków określonych przez Lewickiego w opracowaniu z roku 1997. Stwierdzono, że blanszowanie i odwadnianie osmotyczne spowodowały ograniczenie sorpcji pary wodnej w porównaniu z próbkami suszonymi bez obróbki wstępnej, ale wydłużenie czasu blanszowania do 8 minut nie wpłynęło na istotne statystycznie zmiany badanej cechy. Uzyskanie najniższego położenia krzywej izoterm sorpcji oraz krzywej kinetyki sorpcji pary wodnej próbki odwadnianej osmotycznie w roztworze sacharozy tłumaczono obecnością cukru, który wniknął do tkanki, wysycając ją i ograniczając właściwości sorpcyjne. Natomiast w przypadku dyni blanszowanej przez 8 minut niekorzystne zmiany struktury podczas obróbki termicznej potwierdzono, badając skurcz i porowatość liofilizowanej dyni. Próbki blanszowane przez 8

minut charakteryzowały się najwyższym skurczem suszarniczym (~33%), a ich porowatość była niższa niż przy blanszowaniu w ciągu 1 min. Natomiast odwadnianie osmotyczne stabilizowało strukturę wewnętrzną, ograniczając skurcz, ale porowatość była niższa, jako efekt wypełnienia ścian komórkowych cukrem.

Potwierdzono, że etap mrożenia miał duży wpływ na jakość suszu sublimacyjnego, co związane było z formowaniem kryształów lodu, a następnie tworzeniem porów podczas sublimacji lodu. Badanie wpływu warunków mrożenia wykazało, że zastosowanie metody mrożenia łączonej, polegającej na szybkim zamrożeniu (-70°C/2h), a następnie przechowywaniu zamrażalniczym (-18°C/2 tyg.) wpłynęło na istotne zwiększenie podatności liofilizowanej dyni na sorpcję pary wodnej, co najprawdopodobniej spowodowane było wytworzeniem dużej liczby kryształów lodu w pierwszym okresie mrożenia, a następnie ich wzrostem podczas przechowywania zamrażalniczego. Uzyskane wyniki potwierdziły korzystny wpływ szybkiego mrożenia w niskiej temperaturze i przechowywania zamrażalniczego wykazywanego przez innych badaczy w przypadku owoców, warzyw i pian, w celu otrzymania porowatej i otwartej struktury suszu podatnej na uwadnianie. Nie stwierdzono natomiast różnic, jeżeli chodzi o sorpcję pary wodnej przy porównaniu próbek mrożonych sposobem szybkim i wolnym. Było to najprawdopodobniej związane z tworzącą się podczas mrożenia strukturą. Mrożenie wolne mogło przyczynić się do większego zniszczenia struktury na skutek wzrostu kryształów lodu i rozrywania ścian komórkowych, co odzwierciedlały wyniki skurczu wyższego niż w przypadku mrożenia metodą szybką, ale porowatość była także wyższa jako efekt tworzenia większych porów. Mrożenie szybkie zapewniło natomiast niski skurcz, ale i niższą porowatość ze względu na dużą liczbę drobnych kryształów lodu, które sublimując tworzyły strukturę o mniejszym stopniu otwartości.

W kolejnym etapie postanowiono zbadać wpływ połączenia blanszowania i odwadniania osmotycznego oraz zróżnicowanych warunków mrożenia i przechowywania zamrażalniczego przed liofilizacją dyni na właściwości suszu, a wyniki przedstawiono w pracy **O2 i O3**. Aby zbadać wpływ warunków obróbki wstępnej na właściwości suszonej sublimacyjnie dyni, porównano próbki liofilizowane bez obróbki wstępnej z odwadnianymi osmotycznie w roztworze syropu skrobiowego o temperaturze 20°C przez 3 lub 20 h przy stosunku masowym surowca do roztworu 1:4, które były lub nie były poddane blanszowaniu w wodzie destylowanej o temperaturze 100°C przez 1 min przy stosunku masowym surowca do wody 1:10. Zarówno blanszowane, jak i nieblanszowane próbki mrożono w temperaturze -18°C/24h

lub  $-70^{\circ}\text{C}/2\text{h}$  i przechowywano w warunkach zamrażalniczych przez różny okres czasu ( $-18^{\circ}\text{C}$  przez 72h lub 60dni) przed liofilizacją.

W uzyskanych suszach wyznaczono aktywność i zawartość wody oraz parametry barwy (**O2**). Wykazano, że zastosowanie odwadniania osmotycznego nie spowodowało istotnych zmian zawartości wody w liofilizowanej dyni, a wydłużenie czasu obróbki osmotycznej z 3 do 20 h nieznacznie zwiększyło zawartość wody w suszu, co potwierdziło teorię o największej efektywności odwadniania w ciągu pierwszych 3 h procesu na skutek zmian w strukturze tkanki roślinnej. Natomiast odwadnianie osmotyczne wpłynęło na znaczący wzrost aktywności wody ( $a_w$ ) suszu. Potwierdzono także korzystny wpływ odwadniania w roztworze syropu skrobiowego na stabilność barwy suszu, ponieważ uzyskano tylko nieznaczne obniżenie współczynnika jasności ( $L^*$ ) oraz współczynnika chromatyczności ( $c^*$ ) dyni odwadnianej przez 3 h w stosunku do próbek niepoddanych obróbce osmotycznej, a wydłużenie procesu do 20 h wpłynęło na nieistotny wzrost badanych parametrów. Wyznaczono także wskaźnik bezwzględnej różnicy barwy jako parametr opisujący stopień zmian barwy w stosunku do wzorca, jakim w tym przypadku była dynia liofilizowana bez obróbki osmotycznej i potwierdzono, że prowadzenie odwadniania osmotycznego przez 3 h pozwoliło w najwyższym stopniu zachować barwę suszu, a wydłużenie czasu odwadniania do 20 h nieznacznie zwiększyło badany parametr. Zmian barwy również dopatrywano się w zmianach struktury, polegających na jej zapadaniu jako efekt naruszenia ścian komórkowych podczas wysycania roztworem syropu skrobiowego. Uzyskane wyniki potwierdziły spostrzeżenia innych badaczy na temat dyni, a różnice w stosunku do wyników uzyskanych w przypadku liofilizowanych truskawek potwierdziły przypuszczenia o istotnym wpływie rodzaju surowca na właściwości suszu.

Kolejnym krokiem było zbadanie, czy zastosowanie blanszowania przed odwadnianiem osmotycznym wpłynęło na jakość produktu oraz jak zmieniły się cechy suszu w zależności od warunków mrożenia. Wykazano, że poddanie dyni blanszowaniu przed odwadnianiem osmotycznym spowodowało nieistotne w większości przypadków obniżenie zawartości wody w suszu. Uzyskane wyniki tłumaczono wpływem blanszowania na strukturę suszu, polegającym na uszkodzeniu ścian komórkowych, co mogło ułatwić usuwanie wody w czasie suszenia. Wpływ blanszowania na aktywność wody liofilizowanej dyni był zróżnicowany w zależności od warunków mrożenia. Próbkę mrożoną szybko ( $-70^{\circ}\text{C}/2\text{h}$ ) charakteryzowały się niższymi zawartościami wody w suszu w porównaniu z próbkami mrożonymi wolno ( $-18^{\circ}\text{C}/24\text{h}$ ) bez względu na czas przechowywania zamrażalniczego, ale z wydłużeniem czasu

przechowywania w temperaturze  $-18^{\circ}\text{C}$  z 72 h do 60 dni nastąpiło obniżenie jej wartości. Wzrastające w czasie przechowywania kryształy lodu mogły powodować większe uszkodzenia struktury, co ułatwiło usunięcie wody podczas sublimacji lodu. Zastanawiano się, jak blanszowanie (oddziaływanie wysokiej temperatury na karotenoidy) przed odwadnianiem osmotycznym wpłynie na zmiany barwy suszu, ale wykazano tylko nieznaczny wzrost współczynnika jasności suszonej dyni wstępnie blanszowanej oraz wzrost współczynnika chromatyczności w stosunku do próbek nieblanszowanych, a także nieznaczne obniżenie bezwzględnej różnicy barwy suszu w stosunku do próbek odwadnianych bez blanszowania, co było zjawiskiem korzystnym.

Nie stwierdzono wpływu temperatury mrożenia na barwę liofilizowanej dyni. Wydłużenie czasu przechowywania zamrażalniczego do 60 dni nieznacznie rozjaśniło powierzchnię suszu i spowodowało obniżenie współczynnika chromatyczności, co tłumaczono możliwością wpływu mrożenia na dezintegrację karotenoidów.

Wyniki wpływu warunków obróbki wstępnej na strukturę i właściwości mechaniczne suszonej sublimacyjnie dyni przedstawiono w pracy **O3**. Potwierdzono, że odwadnianie osmotyczne zmieniło właściwości suszu, ale długość trwania procesu nie miała istotnego znaczenia. Obróbka osmotyczna ograniczyła skurcz liofilizowanej dyni w porównaniu z próbkami nieodwadnianymi, ale wydłużenie czasu odwadniania z 3 do 20 h nie spowodowało znaczących zmian, co związane było z brakiem różnic w wymianie masy pomiędzy próbkami dyni odwadnianej w różnym czasie. Na skutek wysycenia tkanki dyni roztworem syropu skrobiowego podczas obróbki osmotycznej stwierdzono obniżenie porowatości suszu, bez wpływu czasu trwania procesu. Twardość odwadnianej i liofilizowanej dyni istotnie wzrosła w porównaniu z próbkami nie poddanymi obróbce wstępnej i konieczne było wykonanie nieznacznie większej pracy ściskania kostek.

Poprzedzenie odwadniania osmotycznego blanszowaniem nie spowodowało istotnych zmian skurczu ani porowatości suszonej sublimacyjnie dyni, co przełożyło się na wyniki pomiaru twardości suszu wstępnie blanszowanego. Wyznaczona praca ściskania tylko w przypadku próbek zamrażanych w temperaturze  $-18$  i  $-70^{\circ}\text{C}$  przechowywanych przez 60 dni była istotnie większa niż dyni nieblanszowanej.

Obniżenie temperatury mrożenia z  $(-18^{\circ}\text{C})$  do  $(-70^{\circ}\text{C})$  nie spowodowało znaczących zmian skurczu. Wydłużenie czasu przechowywania zamrażalniczego nieblanszowanej i blanszowanej dyni nieznacznie ograniczyło skurcz suszu i zwiększyło porowatość jako efekt wzrostu kryształów lodu, które po wysublimowaniu utworzyły duże pory, ale ponownie

zmiany nie były istotne statystycznie. Tylko w przypadku blanszowanej dyni wykazano, że z wydłużeniem czasu przechowywania zamrażalniczego do 60 dni nastąpiło istotne zwiększenie pracy ściskania, co mogło mieć związek ze wzrostem porowatości próbek, chociaż nieistotnym statystycznie.

### **AD 1.2. Wpływ temperatury liofilizacji na strukturę i właściwości liofilizowanej dyni**

Wcześniejsze badania liofilizowanych truskawek przeprowadzone w czasie doktoratu, [Cieurzyńska i Lenart, 2009d] (praca D.2.4.) wykazały, że na etapie suszenia sublimacyjnego temperatura liofilizacji odgrywała ważną rolę w kreowaniu właściwości suszu sublimacyjnego. Podniesienie temperatury półek grzejnych do 70°C powodowało uzyskanie suszu o najmniej korzystnej strukturze, która w ograniczonym stopniu uległa uwodnieniu. W pracy **O1** przedstawiono wyniki dotyczące badania wpływu temperatury liofilizacji na właściwości suszonej sublimacyjnie dyni poprzez porównanie suszu sublimacyjnego uzyskanego w temperaturze półek grzejnych liofilizatora 10, 40 i 70°C/24h. W przeciwieństwie do liofilizowanych truskawek wszystkie próbki cechował zbliżony skurcz, natomiast najwyższą porowatość zanotowano w przypadku próbek suszonych w temperaturze półek grzejnych liofilizatora 10°C, co świadczyło o najwyższym stopniu zachowania struktury suszu i potwierdziło wyniki uzyskane przez innych badaczy. Wykazano, że podniesienie temperatury półek grzejnych liofilizatora do 70°C zwiększyło podatność suszonej sublimacyjnie dyni na sorpcję pary wodnej w zakresie aktywności wody 0,0-0,810, ale uzyskane różnice były nieistotne statystycznie. Podobne zależności otrzymano po wyznaczeniu krzywych kinetyki sorpcji pary wodnej przy aktywności wody 0,328; 0,648 i 0,920. Uzyskane wyniki mogły świadczyć o wpływie bardziej zwartej struktury dyni w porównaniu z owocami miękkimi typu truskawka, która w mniejszym stopniu uległa deformacji na skutek zastosowania mniej korzystnych warunków suszenia.

## **2. Określenie możliwości kształtowania struktury i właściwości liofilizowanych żeli hydrokolidowych.**

### **AD.2.1. Wpływ składu surowcowego na strukturę i właściwości truskawkowych żeli hydrokolidowych**

Opracowanie ekspertyzy na zamówienie producenta liofilizowanej żywności, dotyczącej „Stosowania zagęstników do produkcji liofilizatów – liofilizowanych żeli truskawkowych” w czasie 6 miesięcznego stażu przemysłowego zainteresowało mnie tematyką hydrokolidów i możliwości ich wykorzystania w opracowywaniu nowych produktów spożywczych. Dodatkowo, zróżnicowana struktura żeli związana z ich składem surowcowym utrwalona w procesie liofilizacji może mieć wpływ na cechy suszu, zwłaszcza w przypadku produktów o tak delikatnej strukturze.

Wyniki badań nad tworzeniem żeli z truskawek mrożonych przeprowadzonych w ramach ekspertyzy opublikowano w pracy **O4**. Celem pracy było wyjaśnienie wpływu składu surowcowego liofilizowanych galaretek truskawkowych na ich wybrane właściwości fizyczne, które regulowano przez dodatek glukozy i koncentratu soku z aronii. Na podstawie analizy uzyskanych wyników podjęto próbę określenia optymalnej receptury do produkcji liofilizowanych galaretek truskawkowych. Suszone sublimacyjnie galaretki truskawkowe otrzymano na bazie pulpy z truskawek rozmrożonych i alginianu sodu z dodatkiem mleczanu wapnia zgodnie z recepturą opracowaną dla Wielobranżowego Przedsiębiorstwa Produkcyjno-Handlowego „Elena”. Część próbek wzbogacano dodatkiem glukozy (5,2 lub 13%) lub glukozy (7,8%) i koncentratu soku z aronii (5 lub 10%) w celu regulacji właściwości suszu. Wykazano, że liofilizowane galaretki z dodatkiem glukozy lub glukozy i koncentratu soku z aronii uzyskały istotnie niższe wartości aktywności wody oraz wyższe zawartości suchej substancji jako efekt wprowadzenia składników suchej masy. Zwiększenie udziału koncentratu soku z aronii z 5 do 10% nie wpłynęło na istotne statystycznie zmiany aktywności wody próbek i zawartości suchej substancji. Najniższe wartości aktywności wody i jednocześnie najwyższe zawartości suchej substancji zanotowano dla galaretek tylko z dodatkiem glukozy. O wprowadzeniu do receptury składników mogących regulować barwę zdecydowano, analizując wyniki pomiaru barwy suszonych sublimacyjnie żeli, ponieważ próbki o podstawowej recepturze uzyskały zbyt jasną powierzchnię, nieatrakcyjną dla konsumenta. Natomiast dodatek glukozy i koncentratu soku z aronii obniżył współczynnik jasności. Jednocześnie wykazano, że podwojenie ilości koncentratu (z 5 do 10%) spowodowało uzyskanie zbyt ciemnej i nieatrakcyjnej dla konsumenta barwy. Dla suszonych produktów jedną z podstawowych cech jest zdolność chłonięcia wody w procesie rehydracji. W liofilizowanych galaretkach truskawkowych zbadano właściwości rehydracyjne zanurzając

próbki w wodzie destylowanej o temperaturze 20 i 80 °C przez 10 minut. Wykazano, że galaretki o podstawowym składzie oraz z dodatkiem 7,8% glukozy i 5% lub 10% koncentratu soku z aronii cechowała zwarta struktura, która nie uległa uszkodzeniu podczas rehydracji w wodzie o temperaturze 20 i 80 °C. Po wyjęciu z wody galaretki zachowały swój kształt i nie rozpadały się przy lekkim nacisku. Natomiast próbki z dodatkiem 5,2% glukozy uzyskały delikatniejszą strukturę, która ulegała uszkodzeniu po wyjęciu z wody o temperaturze 20 °C, a nieudana próba rehydracji suszu w wodzie o temperaturze 80°C wyeliminowała tę recepturę.

Na podstawie analizy wyników przeprowadzonych badań stwierdzono, że cechy liofilizowanych galaretek truskawkowych mogą być z powodzeniem regulowane przez dodatek glukozy, dzięki czemu stają się one atrakcyjniejsze dla konsumenta. Spośród badanych próbek wybrano galaretki zawierające 13% dodatek glukozy jako najatrakcyjniejsze ze względu na intensywną barwę i dobre właściwości rehydracyjne. Zastosowanie dodatku glukozy i koncentratu soku z aronii wpłynęło na uzyskanie zbyt ciemnych galaretek i na tej podstawie recepturę odrzucono.

Producent liofilizowanej żywności zasygnalizował problem dużej ilości pełnowartościowego „odpadu poprodukcyjnego”, jakim był proszek po cięciu liofilizowanych truskawek na mniejsze kawałki. W pracy **O5** podjęto próbę opracowania liofilizowanych żeli truskawkowych na bazie rehydratowanego proszku truskawkowego otrzymanego po cięciu suszonych sublimacyjnie owoców. W pierwszym etapie badań określono ilość proszku truskawkowego optymalnego do otrzymania żelu o pożądanych właściwościach (zbliżonych do suszonych sublimacyjnie truskawek). Jako hydrokoloidu użyto alginianu sodu i eksperymentalnie określono optymalną ilość dodatku do stworzenia zwartego żelu, który można formować w kostki, oraz zbadano czy i jak ilość mleczanu wapnia niezbędna do zapoczątkowania procesu żelowania może wpływać na właściwości suszu. Następnie sprawdzono możliwość regulacji właściwości suszonych żeli poprzez dodatek składników wpływających na smak i barwę (cukier i/lub koncentrat soku aroniowego). Otrzymane susze sublimacyjne przebadano, określając zależności pomiędzy składem a aktywnością i zawartością wody, barwą, właściwościami mechanicznymi i rehydracyjnymi. W przypadku wszystkich żeli eksperymentalnie określono dodatek alginianu sodu na poziomie 1,5% dzięki czemu możliwe było stworzenie zwartego żelu. Użycie 0,05% mleczanu wapnia pozwoliło na otrzymanie sprężystego żelu, ale podjęto próbę obniżenia tego składnika do 0,01% przy utrzymaniu kształtu kostek. Przebadano żele o zawartości 7 i 10% proszku truskawkowego i



wykazano, że próbki o niższym udziale proszku cechuje istotnie mniejsza zawartość wody i wyższa aktywność wody, natomiast zmniejszenie dodatku mleczanu wapnia zwiększa zawartość, a obniża aktywność wody próbek. Zmiana składu wpłynęła także na zmianę barwy powierzchni suszu, co oceniono, wyznaczając kąt tonu barwy (H) i wykazano, że obniżenie dodatku proszku truskawkowego spowodowało wzrost o 23 jednostki badanego wskaźnika w stosunku do próbek o 10% udziale proszku, podczas gdy obniżenie dodatku mleczanu wapnia do 0,01% istotnie obniżyło kąt tonu barwy jako efekt zmian wskaźnika barwy czerwonej. Analiza właściwości mechanicznych wykazała, że próbki zawierające większy dodatek proszku truskawkowego cechowała o około 50% większa wytrzymałość, co potwierdzono podczas 50% deformacji suszu. Pomimo tego że obniżenie dodatku mleczanu wapnia do 0,01% pozwoliło na uformowanie kostek żelu, to liofilizat okazał się na tyle delikatny, że przeprowadzenie testu ściskania było w przypadku tych próbek niemożliwe. Niekorzystne zmiany struktury związane z otrzymaniem zbyt delikatnego suszu potwierdziły badania właściwości rehydracyjnych, które przeprowadzono w wodzie o temperaturze 20 i 80 °C. Wykazano, że w obu przypadkach obniżenie dodatku proszku truskawkowego spowodowało poprawę zdolności do rehydracji suszu na skutek otrzymania delikatniejszej, bardziej otwartej struktury, która mogła wchłonąć więcej wody, podczas gdy obniżenie dodatku mleczanu wapnia obniżyło stopień uwodnienia suszonych żeli. Uzyskane wartości porównywano z wynikami truskawek liofilizowanych i stwierdzono, że próbki o niższym udziale proszku z liofilizowanych truskawek (7%) były bardziej zbliżone cechami do suszonych sublimacyjnie truskawek. Na tym etapie podjęto decyzję o wyborze podstawowej receptury liofilizowanego żelu truskawkowego z 7% udziałem proszku truskawkowego oraz 0,05% dodatkiem mleczanu wapnia. Pozytywne efekty zmiany właściwości żeli przez dodatek glukozy i koncentratu soku z aronii w pracy **O4** spowodowały, że w galaretkach otrzymanych na bazie proszku truskawkowego również dokonano takiej modyfikacji. W drugim etapie prezentowanych badań oceniono możliwość modyfikacji składu wybranego żelu poprzez dodatek glukozy (5,2%) i/lub koncentratu soku z aronii (5,2%). Wykazano, że modyfikacja składu przez dodatek cukru i/lub koncentratu soku z aronii wpłynęła na wzrost zawartości wody suszu, ale tylko w przypadku próbek z glukozą różnice były istotne statystycznie. Podobne zmiany wywołało odwadnianie osmotyczne truskawek w roztworach cukrów przebadane w pracy doktorskiej (Cieurzyńska, 2007). Modyfikacja składu surowcowego wpłynęła także na obniżenie aktywności wody próbek w stosunku do galaretek o podstawowym składzie, co zaobserwowano również w pracy **O4**. Uzyskano ponad 2-krotne obniżenie aktywności wody,

a najniższe wartości zanotowano w przypadku próbek z dodatkiem cukru i koncentratu soku z aronii. Zmiana składu wpłynęła także na pociemnienie powierzchni suszonych żeli i wzrost współczynnika barwy czerwonej, co przełożyło się na obniżenie kąta tonu barwy, a uzyskane wartości były zbliżone do wyników otrzymanych w przypadku liofilizowanych truskawek odwadnianych osmotycznie i galaretek na bazie rozmrożonych truskawek. Nastąpiła modyfikacja struktury suszonych sublimacyjnych żeli truskawkowych po dodaniu cukru i/lub koncentratu soku z aronii polegająca na jej wzmocnieniu. Najwyższą wytrzymałość uzyskały próbki z dodatkiem cukru i koncentratu soku z aronii, a najniższą tylko z dodatkiem koncentratu soku z aronii. Wzmocnienie struktury żeli przez zmianę składu obniżyło ich zdolność do rehydracji, ale w przypadku próbek z dodatkiem koncentratu soku z aronii stopień był najbliższy temu, który uzyskały próbki żelu o podstawowym składzie. Nie wykazano zmian właściwości rehydracyjnych z podniesieniem temperatury wody podczas rehydracji.

#### **AD 2.2. Wpływ czasu napowietrzania i składu surowcowego na strukturę i właściwości liofilizowanych żeli hydrokoloidowych.**

W roku 2014 zostałam kierownikiem projektu w konkursie Sonata 5 „Innowacyjny produkt truskawkowy o wykreowanej strukturze”, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki. Założeniem projektu było opracowanie liofilizowanego żelu truskawkowego o wykreowanej strukturze poprzez zastosowanie różnych składników oraz czasu napowietrzania żeli. Prowadzono badania żeli napowietrzanych przez 3, 5, 7 i 9 minut, otrzymanych na bazie różnych hydrokoloidów: pektyny niskometylowanej, połączenia gumy ksantanowej i mączki chleba świętojańskiego oraz połączenia gumy ksantanowej i gumy guar. Skład żeli opracowano eksperymentalnie, dobierając takie ilości składników, które umożliwiły otrzymanie zwartej żelu, dającego się formować w kostkę, a następnie liofilizować. W publikacji **O6** i **O7** zaprezentowano część wyników uzyskanych w pierwszym etapie badań, który miał na celu otrzymanie żeli składających się z wody i hydrokoloidów. W pracy **O6** przeanalizowano próbki napowietrzane przez 3 i 7 minut. Wykazano, że zastosowanie różnych hydrokoloidów pozwoliło na otrzymanie odmiennej struktury liofilizowanych żeli. Próbkę z pektyną niskometylowaną uzyskały największe pory, a wydłużenie czasu napowietrzania z 3 do 7 minut wpłynęło na wzrost wielkości wolnych przestrzeni. Ocenę mikroskopową potwierdziły badania porowatości i skurczu, gęstości rzeczywistej oraz barwy. Zbadano także właściwości rehydracyjne tych próbek i uzyskano ich

najwyższy stopień uwodnienia w porównaniu z suszonymi sublimacyjnie żelami otrzymanymi na bazie połączenia hydrokoloidów. Jako efekt zwiększenia średnicy porów z wydłużeniem czasu napowietrzania zaobserwowano wzrost ilości wchłoniętej wody podczas rehydracji żeli pektynowych. Wykazano także, że wykorzystanie mieszanki hydrokoloidów do sporządzenia żeli pozwoliło na otrzymanie odmiennej struktury próbek, cechującej się wyższą porowatością. Podczas otrzymywania żeli na bazie połączenia gumy ksantanowej i mączki chleba świętojańskiego zaobserwowano wysoki stopień napowietrzenia próbek na etapie przygotowania żelu, ale podczas liofilizacji następowało uszkodzenie delikatnej struktury, czego efektem było uzyskanie skurczu na poziomie 34-38% i niskiej zdolności do rehydracji. W ocenie mikroskopowej także widoczne były rozerwania struktur żelu oddzielających puste przestrzenie, które uniemożliwiały dokonanie pomiarów geometrycznych porów w przypadku tych suszy. Porowatość tych próbek była wysoka ~98,5%, co znalazło odbicie w wyższym współczynniku jasności w porównaniu z próbkami z pektyną niskometylowaną. Liofilizowane żele z połączeniem gumy ksantanowej i gumy guar charakteryzowały się strukturą o najmniejszej średnicy porów, ale najwyższej porowatości. Małe pory były w stanie wchłonąć jednak najmniejsze ilości wody podczas rehydracji. Wysoka porowatość wpłynęła także na rozjaśnienie suszu.

W pracy **O7** podjęto się próby wyjaśnienia wpływu struktury napowietrzanych żeli hydrokoloidowych na ich właściwości mechaniczne i akustyczne. Podobnie jak w pracy **O6**, badano żele zawierające pektynę niskometylowaną, połączenie gumy ksantanowej i mączki chleba świętojańskiego oraz gumy ksantanowej i gumy guar, napowietrzane przez 3, 5, 7 i 9 minut. W tym przypadku również zakładano, że rodzaj hydrokoloidu wpływa na strukturę i teksturę liofilizowanych żeli, co potwierdziły przeprowadzone analizy. Wykazano, że struktura żeli odgrywa ważną rolę, wpływając na właściwości mechaniczne i akustyczne suszu.

Ponieważ na podstawie uzyskanych wyników trudno było określić, czy właściwości mechaniczne czy akustyczne dokładniej opisują teksturę liofilizowanych żeli, oraz czy większe znaczenie ma czas napowietrzania czy rodzaj użytego hydrokoloidu, zdecydowano o przeprowadzeniu analizy PCA zależności pomiędzy energią akustyczną, siłą ściskania i pracą, porowatością oraz średnicą porów. Pozwoliła ona na potwierdzenie, że ze zmniejszeniem porowatości i wzrostem wielkości porów nastąpił wzrost siły i pracy ściskania oraz energii akustycznej. Wyznaczono cztery grupy produktów o różnej teksturze. W każdej z tych grup czas napowietrzania był nieistotny statystycznie. Do pierwszej zaliczono liofilizowane żele z

gumą ksantanową i gumą guar napowietrzane przez 3, 5, 7 i 9 minut. W drugiej grupie znalazły się żele z gumą ksantanową i mączką chleba świętojańskiego napowietrzane przez 3, 5, 7 i 9 minut. Do trzeciej zaliczono suszone sublimacyjnie żele z pektyną niskometylowaną napowietrzane przez 3 i 5 minut, a do czwartej napowietrzane przez 7 i 9 minut.

Silna, dodatnia korelacja pomiędzy energią akustyczną, siłą i pracą ściskania potwierdziła, że próbki o większej odporności mechanicznej generowały silniejsze sygnały akustyczne, co wiązano ze strukturą próbek. Liofilizowane żele o najniższej porowatości generowały dźwięki o najwyższej energii, co potwierdzono przez ujemną korelację pomiędzy porowatością i parametrami akustycznymi. Spośród badanych próbek liofilizowane żele z pektyną niskometylowaną cechowały się strukturą o największej średnicy porów i najniższej porowatości, uzyskując najwyższą twardość w ocenie właściwości mechanicznych. Taka struktura generowała także najsilniejsze sygnały emisji akustycznej. Wyjaśniono również, że dodatek jonów wapnia może mieć wpływ na wzmocnienie struktury żeli pektynowych w stosunku do innych próbek. Wykazano także, że z wydłużeniem czasu napowietrzania tych żeli następuje wzmocnienie ich struktury, czego nie zaobserwowano w przypadku żeli z połączeniem gumy ksantanowej i mączki chleba świętojańskiego oraz połączeniem gumy ksantanowej i gumy guar. Próbki z połączeniem gumy ksantanowej i gumy guar charakteryzowały się najwyższą porowatością i najmniejszą średnicą porów. Taka struktura dawała zdecydowanie łagodniejszy przebieg krzywych ściskania, co tłumaczono stawianiem mniejszego oporu podczas deformacji. Podobnie jak we wcześniejszym opracowaniu (O6), potwierdzono obserwacje poczynione podczas otrzymywania próbek z gumą ksantanową i mączką chleba świętojańskiego, gdzie zauważono znaczne uszkodzenie struktury żelu podczas liofilizacji, ale ponownie osiągnął on wysoką porowatość po suszeniu, więc właściwości mechaniczne wszystkich próbek z połączeniem hydrokoloidów były podobne.

W pracy próbowano wyjaśnić różnice w strukturze liofilizowanych żeli, a przez to w ich właściwościach, poprzez zaklasyfikowanie ich do dwóch typów komórek opisywanych w literaturze: o strukturze heksagonalnej typu plaster miodu oraz struktur Veronoi o podobnym rozmiarze i delikatniejszych ścianach komórkowych. Na podstawie uzyskanych wyników żele z pektyną niskometylowaną zaliczono do struktur typu plaster miodu, które są bardziej odporne na deformację, a próbki z gumą ksantanową i gumą guar o mniejszych porach do struktur typu Veronoi, które są podatniejsze na uszkodzenia mechaniczne. Zróżnicowanie struktury liofilizatów tłumaczono również wpływem różnej receptury żeli, właściwościami hydrokoloidów jak i innym udziałem procentowym składników. Na

podstawie danych literaturowych wykazano, że pektyny tworzą żele o większej aktywności powierzchniowej niż gumy, co mogło tłumaczyć bardziej zwartą strukturę otrzymanych żeli na bazie pektyny niskometylowanej.

W drugim etapie badań przeprowadzonych w ramach projektu NCN zbadano jak na właściwości liofilizowanych żeli wpłynął dodatek cukru i kwasu cytrynowego, w ilościach typowych dla truskawek, w celu stworzenia modelu truskawki liofilizowanej. W pracy **O8** porównano żele bez i z dodatkiem cukru i kwasu cytrynowego napowietrzane przez 5 i 9 minut, analizując właściwości sensoryczne suszy i ich odpowiedniki oceny instrumentalnej. Porównano porowatość, właściwości mechaniczne i barwę w odniesieniu do właściwości sensorycznych. Do analizy właściwości sensorycznych wykorzystano skalę 9-punktową, w której wartości w zakresie 1-3 oznaczały niepożądane cechy próbek, 4-6 tolerowane, a 7-9 pożądane.

Podobnie jak w pracach **O6** i **O7**, potwierdzono, że czas napowietrzania zazwyczaj nie miał istotnego wpływu na badane cechy, podczas gdy rodzaj hydrokoloidu pozwolił na otrzymanie zróżnicowanej struktury żeli oraz właściwości fizycznych i sensorycznych suszy. Potwierdzono, że dodatek cukru i kwasu cytrynowego wzmocnił strukturę żeli wpływając na badane właściwości liofilizatów. Modyfikacja składu żeli obniżyła porowatość próbek, a wolne przestrzenie zostały w dużym stopniu wypełnione cukrem, przez co struktura żeli stała się bardziej zwarta. Zaobserwowane zmiany wyjaśniono wpływem dodatku cukru, który najprawdopodobniej spowodował opóźnienie żelowania hydrokoloidów na skutek czego uzyskana struktura była mniej porowata, co potwierdziła analiza problemu w literaturze.

Obserwacje struktury poparto badaniami właściwości fizycznych i wyznaczeniem ich odpowiedników w ocenie sensorycznej. Badanie porowatości w ocenie instrumentalnej i sensorycznej wykazało, że próbki z pektyną niskometylowaną o modyfikowanym składzie uzyskały znacząco niższą wartość porowatości w porównaniu z próbkami bez dodatku cukru i kwasu. W ocenie sensorycznej próbki z pektyną oceniono najwyżej, na poziomie 7-8 punktów w skali 9-punktowej. W przypadku żeli z połączeniem gumy ksantanowej i mączki chleba świętojańskiego porowatość próbek o modyfikowanym składzie była najniższa, a w ocenie sensorycznej określono je jako zdecydowanie zbyt mało napowietrzane. Porowatość żeli z gumą ksantanową i gumą guar również uległa obniżeniu w porównaniu z próbkami bez dodatku cukru i kwasu cytrynowego, ale oceniający uznali, że próbki o modyfikowanym składzie były bardziej napowietrzane na skutek wzmocnienia ich struktury.

Efekt wzmocnienia struktury w związku z modyfikacją składu żeli potwierdzono w badaniu właściwości mechanicznych, wyznaczając siłę ściskania. Uzyskano istotny wzrost siły ściskania w stosunku do żeli bez dodatku cukru i kwasu cytrynowego zarówno w ocenie instrumentalnej, jak i sensorycznej. Jednocześnie potwierdzono, że próbki o wyższej porowatości (połączenie hydrokoloidów) charakteryzowały się mniejszą odpornością mechaniczną niż żele pektynowe. W ocenie sensorycznej żele z pektyną niskometylowaną oraz z połączeniem gumy ksantanowej i gumy guar oceniono jako najtwardsze, podczas gdy próbki z gumą ksantanową i mączką chleba świętojańskiego jako zbyt gumowe i za miękkie jak na liofilizaty.

Bezwzględną różnicę barwy oceniono w przypadku suszonych sublimacyjnie próbek o modyfikowanym składzie i bez dodatku cukru i kwasu w stosunku do barwy żeli przed liofilizacją. Modyfikacja składu spowodowała wzrost badanego wskaźnika zarówno w ocenie instrumentalnej jak i sensorycznej. Jednocześnie w przypadku próbek o modyfikowanym składzie z pektyną niskometylowaną oraz połączeniem gumy ksantanowej i gumy guar nie wykazano istotnych różnic w ocenie sensorycznej.

Ponieważ smak jest ważnym parametrem w przypadku produktów spożywczych, a hydrokoloidy obecne w żywności mogą go zmieniać, zbadano smak liofilizowanych żeli. Wykazano, że czas napowietrzania nie miał znaczącego wpływu na tę cechę, natomiast wpłynął rodzaj hydrokoloidu. Wszystkie próbki uzyskały od 4 do 7 punktów w 9-punktowej skali i ich smak oceniono jako tolerowany i pożądanym. Dodatek cukru i kwasu cytrynowego spowodował wzrost percepcji smaku w przypadku próbek z pektyną niskometylowaną i połączeniem gumy ksantanowej i gumy guar, natomiast w przypadku żeli z gumą ksantanową i mączką chleba świętojańskiego zauważono wpływ struktury na obniżenie wyróżnika smaku.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że zastosowanie pektyny niskometylowanej do produkcji żeli liofilizowanych o modyfikowanym składzie pozwoliło na otrzymanie produktu o najwyższej jakości zarówno w ocenie sensorycznej, jak i instrumentalnej. Jednocześnie czas napowietrzania był w większości badanych cech nieistotny statystycznie.

### 4.3.3. Podsumowanie

---

Przedstawiony w Osiągnięciu cykl publikacji pozwolił na pogłębienie wiedzy na temat wpływu struktury na właściwości suszu sublimacyjnego uzyskanego z surowców o zróżnicowanej strukturze.

Analiza możliwości kreowania struktury suszów z surowców o mocniejszej strukturze na przykładzie dyni przez zastosowanie różnych rodzajów i warunków obróbki wstępnej przed suszeniem, a także parametrów suszenia pozwoliła na otrzymanie produktu wysokiej jakości. Teza na temat wpływu rodzaju obróbki wstępnej na właściwości suszonej sublimacyjnie dyni została potwierdzona. Wykazano, że odwadnianie osmotyczne w roztworze cukru wzmacniając strukturę suszu sublimacyjnego i zabezpieczając przed zmianami barwy ograniczyło sorpcję pary wodnej. Skurcz był wyraźnie ograniczony, obniżeniu uległa także porowatość próbek, a wzmocnienie struktury potwierdzono w badaniu właściwości mechanicznych. Wykazano natomiast, że wydłużenie czasu obróbki osmotycznej dla większości badanych cech było nieistotne.

Zastosowanie blanszowania nie spowodowało istotnych zmian właściwości suszu z dyni w porównaniu do próbek nieblanszowanych. Natomiast zastosowanie blanszowania jako obróbki wstępnej przed odwadnianiem osmotycznym wpłynęło na zmiany struktury i właściwości fizycznych suszu. Zastosowanie wstępnej obróbki wzmocniło strukturę, ale mimo tego, że była ona twardsza to różnice nie były istotne statystycznie, co wykazano w ocenie skurczu i porowatości suszu.

Badania przeprowadzone w celu określenia wpływu metody mrożenia przed suszeniem sublimacyjnym na właściwości suszu wykazały, że mrożenie dyni w niskiej temperaturze przez krótki czas ( $-70^{\circ}\text{C}/2\text{h}$ ), a następnie przechowywanie zamrażalnicze ( $-18^{\circ}\text{C}/24\text{h}$ ), pozwoliły na otrzymanie struktury o najwyższej porowatości, która w najwyższym stopniu chłoneła parę wodną. Natomiast ocena wpływu wydłużenia czasu przechowywania zamrażalniczego z 72 h do 60 dni na właściwości suszonej sublimacyjnie dyni wykazała, że usunięta została większa ilość wody podczas sublimacji lodu po uformowaniu większych kryształów lodu, ale ocena porowatości i właściwości mechanicznych nie potwierdziła znaczących różnic. Natomiast nie stwierdzono różnic pomiędzy próbkami mrożonymi metodą szybką ( $-70^{\circ}\text{C}/2\text{h}$ ) i wolną ( $-18^{\circ}\text{C}/24\text{h}$ ), ponieważ w obu przypadkach uzyskana struktura była zbliżona i w mniejszym stopniu podatna na sorpcję pary wodnej. Otrzymane zależności potwierdzono podczas badania właściwości mechanicznych.

Badania przeprowadzone z zastosowaniem dyni potwierdziły, że dobór odpowiednich warunków liofilizacji jak i obróbki wstępnej jest ważny nie tylko dla surowców o delikatnej strukturze np. truskawek, ale także tych o strukturze bardziej zwartej jak dynia. Jest to w pewnym stopniu metoda kreowania produktu końcowego, podobnie jak opracowywanie innowacyjnych produktów z zastosowaniem hydrokoloidów, które dodawane były do surowców roślinnych. Liofilizowane żele wytworzone z dodatkiem rozdrobnionych truskawek mogą być stosowane jako przekąska lub dodatek do deserów czy dań śniadaniowych. Mogą być także z powodzeniem wytwarzane z udziałem np. dyni i stanowią atrakcyjny dodatek do mieszanek warzywnych i dań obiadowych.

Badania wykonane w ramach ekspertyzy na zamówienie producenta liofilizowanej żywności rozpoczęły cykl doświadczeń i publikacji na temat możliwości wykorzystania hydrokoloidów do otrzymywania innowacyjnych produktów spożywczych. Opracowano receptury żeli na bazie rozmrożonych truskawek i alginianu sodu utrwalonych w procesie suszenia sublimacyjnego. Przeprowadzone badania wykazały, że właściwości liofilizowanych żeli można regulować przez dodatek cukru i koncentratu soku z aronii. Na podstawie analizy uzyskanych wyników stwierdzono, że dodanie glukozy do podstawowej receptury żelu w ilości 13% poprawiło cechy suszu. Barwa była najatrakcyjniejsza, a właściwości rehydracyjne na wysokim poziomie zarówno w temperaturze wody 20 jak i 80°C dzięki zwartej strukturze.

Wykazano także, że możliwe było opracowanie innowacyjnych produktów - liofilizowanych żeli hydrokoloidowych, pozwalających jednocześnie na zagospodarowanie pełnowartościowego odpadu, jakim był proszek powstający podczas cięcia liofilizatów, generowany przez zakłady suszące sublimacyjnie surowce roślinne. Badania przeprowadzone z wykorzystaniem proszku z rozdrobnionych suszonych sublimacyjnie truskawek wykazały, że możliwe było otrzymanie żelu na bazie alginianu sodu, którego skład wpływał na strukturę, a przez to na właściwości suszu sublimacyjnego. Na podstawie przeprowadzonych badań zdecydowano, że najkorzystniejszy skład miał liofilizowany żel na bazie alginianu sodu (1,5%) i o udziale proszku truskawkowego 7% oraz dodatku mleczanu wapnia 0,05%, a modyfikacja tego składu przez wprowadzenie 5,2% koncentratu soku z aronii poprawiła badane cechy i wzmocniła strukturę suszu. Uzyskane suszone sublimacyjnie żele z alginianem sodu na bazie owoców rozmrożonych jak i suszonych mogą być z powodzeniem wykorzystane przez przemysł jako dodatek do przekąsek lub dań śniadaniowych. Wysoka jakość i atrakcyjna struktura mogą spotkać się z akceptacją ze strony konsumentów.



W opublikowanych do tej pory wynikach badań nad możliwością kreowania struktury i właściwości suszonych sublimacyjnie żeli poprzez zróżnicowany czas napowietrzania masy żelującej i zastosowanie różnych hydrokoloidów, potwierdzono tezę o wpływie rodzaju hydrokoloidu na strukturę i właściwości suszu, ale czas napowietrzania w większości przypadków nie był istotny, co pozwoliło przypuszczać, że pomimo tego że na etapie przygotowywania żelu można było zauważyć różnice w stopniu napowietrzenia próbek, to struktura w większym stopniu kreowana była w czasie ich liofilizacji. Suszone sublimacyjnie żele z pektyną niskometylowaną cechowała najatrakcyjniejsza, porowata struktura, o największych porach, która w wysokim stopniu ulegała rehydracji. W ocenie właściwości mechanicznych była ona najbardziej odporna na ściskanie, a jednocześnie krucha i generowała wysokie wartości emisji akustycznej.

Przeprowadzona analiza sensoryczna pozwoliła na porównanie wybranych wyróżników jakości w ocenie instrumentalnej i sensorycznej. Potwierdzono, że w większości badanych cech czas napowietrzania był nieistotny statystycznie. Liofilizowane żele z pektyną niskometylowaną cechowała struktura o największych porach. Ocena sensoryczna potwierdziła, że te próbki miały najbardziej atrakcyjną strukturę, kruchą i chrupiącą oraz o najwyższym stopniu napowietrzenia. Natomiast próbki otrzymane na bazie gumy ksantanowej i mączki chleba świętojańskiego oraz gumy ksantanowej i gumy guar charakteryzowała całkiem odmienna struktura, delikatniejsza, z licznymi i małymi porami, które były bardziej podatne na deformację w teście ściskania. W ocenie sensorycznej uznano, że była ona zbyt delikatna i za mało krucha jak na liofilizaty.

Dodatek cukru i kwasu cytrynowego wpłynął na wzmocnienie struktury liofilizowanych żeli, która jednocześnie stała się bardziej zbita. Czas napowietrzania ponownie był w większości przypadków nieistotny. Potwierdzono teorię o wpływie napowietrzenia na odczucie smaku, ponieważ ocena sensoryczna wykazała, że próbki które uznane były za bardziej napowietrzone cechował też wyraźniejszy smak. Spośród przebadanych próbek uznano, że dodatek pektyny niskometylowanej pozwolił na otrzymanie produktu o najwyższej jakości zarówno w ocenie instrumentalnej, jak i sensorycznej. Próbki te uznano za najbardziej chrupiące i kruche.

## **5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych (artystycznych)**

Działalność naukową rozpoczęłam w 2003 roku, kiedy podjęłam studia doktoranckie na Wydziale Technologii Żywności (obecnie Wydział Nauk o Żywności) Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, zajmując się liofilizacją truskawek pod kierunkiem prof. dr hab. Andrzeja Lanarta, który został promotorem mojej pracy doktorskiej pt: „Studia nad wpływem odwadniania osmotycznego na właściwości liofilizowanych truskawek”.

W obszarze moich zainteresowań naukowych można wyróżnić następujące kierunki badawcze:

- 5.1.** Wpływ warunków liofilizacji i obróbki wstępnej na właściwości suszonych sublimacyjnie truskawek i dyni
- 5.2.** Wpływ warunków suszenia próżniowego na jakość suszonych truskawek
- 5.3.** Wykorzystanie zrównoważonych technologii i produktów ubocznych w otrzymywaniu innowacyjnych produktów
- 5.4.** Możliwości wykorzystania hydrokoloidów przy opracowywaniu nowatorskich produktów spożywczych o prozdrowotnych cechach.

### **AD. 5.1. Wpływ warunków liofilizacji i obróbki wstępnej na właściwości suszonych sublimacyjnie truskawek i dyni**

Podczas doktoratu prowadziłam badania, które dotyczyły zarówno wpływu warunków liofilizacji, jak i obróbki wstępnej na wybrane właściwości suszonych sublimacyjnie truskawek. Są to cechy niezwykle ważne, jeżeli weźmie się pod uwagę fakt, że Polska jest jednym z głównych producentów truskawek na świecie i bardzo często występują nadwyżki sezonowe tych owoców. Zarówno producenci żywności, jak i naukowcy poszukują optymalnej metody utrwalenia szybko psujących się owoców, która pozwoli nie tylko przedłużyć ich trwałość, ale także otrzymać produkt atrakcyjny dla konsumenta. Wyniki badań nad wpływem temperatury półek grzejnych liofilizatora i warunków odwadniania osmotycznego na właściwości suszonych sublimacyjnie truskawek opublikowano w pracach **A.1-2, II.D.2.2., II.D.2.4., II.D.2.5.**, a tematykę liofilizacji przedstawiono w pracach popularno-naukowych **II.D.1.2., II.D.2.6. i II.D.2.7.**

W pracach opublikowanych przed doktoratem **II.D.1.2.**, jak i po (**II.D.2.6. oraz II.D.2.7.**) dokonano charakterystyki suszenia sublimacyjnego. W pracach **II.D.1.2. i II.D.2.6.** zwrócono uwagę na wzrastające zainteresowanie liofilizowaną żywnością i rozwój rynku produktów

suszonych sublimacyjnie. Przedstawiono wady i zalety tej techniki utrwalania żywności oraz określono wpływ liofilizacji na właściwości fizyczne produktu końcowego. Przedstawiono także jak obróbka wstępna może wpływać na właściwości suszu oraz zwrócono uwagę na niebezpieczeństwo przekroczenia temperatury przemiany szklistej przy niewłaściwym doborze parametrów procesu. Dokonano krótkiego przeglądu możliwości modyfikacji suszenia sublimacyjnego. Szerszego przeglądu literatury na temat liofilizacji dokonano w pracy **II.D.2.7.**, w której scharakteryzowano liofilizację pod kątem jej przebiegu i ekonomiki procesu oraz możliwości modyfikacji. Przedstawiono przykłady zastosowania suszenia sublimacyjnego zarówno w technologii żywności, jak i biotechnologii. Wskazano na możliwości modyfikacji liofilizacji, polegające np.: na prowadzeniu suszenia sublimacyjnego w warunkach atmosferycznych, połączenia z promieniowaniem podczerwonym, zastosowania odwadniania osmotycznego jako obróbki wstępnej, dodatku alkoholu, zastosowania ultradźwięków, które mogą wpływać na opłacalność procesu i jakość końcową suszu. Przedstawiono także właściwości suszonej sublimacyjnie żywności, wpływ warunków liofilizacji oraz stosowanej obróbki wstępnej na jakość liofilizatów. Wyniki przeprowadzonych badań są dyskusyjne i o ile często podkreślane są zalety liofilizatów, o tyle wpływ na koszt procesu jest zróżnicowany wg różnych badaczy.

Wyniki badań wstępnych, prowadzonych w czasie doktoratu, opublikowano w pracach **II.D.1.3** i **II.D.1.4**. W pracy **II.D.1.3.** przedstawiono wpływ temperatury półek grzejnych liofilizatora (10, 30, 50 i 70°C) i odwadniania osmotycznego (roztwór sacharozy i glukozy) na właściwości sorpcyjne i rehydracyjne liofilizowanych truskawek. Wykazano, że liofilizacja w temperaturze półek grzejnych liofilizatora 10°C zmniejszyła ilość wchłoniętej wody podczas rehydracji. Jednocześnie wykazano, że temperatura półek grzejnych liofilizatora w zakresie 30-50°C zwiększyła szybkość adsorpcji pary wodnej, podczas gdy temperatura 70°C istotnie obniżyła badaną cechę do poziomu charakterystycznego dla suszy uzyskanych w 10°C. Odwadnianie osmotyczne w roztworze sacharozy znacząco obniżyło zdolność do rehydracji suszonych truskawek w krótkim czasie uwadniania oraz sorpcję pary wodnej. W pracy **II.D.1.4.** zaprezentowano wyniki dalszych badań nad wpływem temperatury półek grzejnych liofilizatora i odwadniania osmotycznego (truskawek w roztworach sacharozy, glukozy i syropu skrobiowego na właściwości sorpcyjne suszu sublimacyjnego). Do opisu krzywych sorpcji dobrano równanie matematyczne o najwyższym stopniu dopasowania. Potwierdzono uzyskane wcześniej wyniki (**II.D.1.3.**) dotyczące wpływu temperatury w czasie liofilizacji i odwadniania osmotycznego w roztworze sacharozy. Truskawki odwadniane w

roztworze syropu skrobiowego uzyskały podobne wyniki do tych jakie cechowały owoce odwadniane w roztworze sacharozy. Natomiast zastosowanie roztworu glukozy spowodowało uzyskanie zbliżonych cech do truskawek nieodwadnianych osmotycznie. Dodatkowo, przeprowadzono suszenie konwekcyjne truskawek odwadnianych w roztworze sacharozy i nieodwadnianych wykazując, że uzyskane susze charakteryzowały się podwyższoną aktywnością i zawartością wody oraz zmniejszoną zdolnością adsorpcji pary wodnej w stosunku do liofilizatów. W pracy **II.D.2.3.** zbadano wpływ odwadniania w roztworze sacharozy i glukozy oraz mrożenia na zawartość wody, aktywność wody i właściwości rehydracyjne oraz sorpcyjne liofilizowanych truskawek. Odwadnianiu poddano owoce świeże i mrożone. Wykazano, że obróbka osmotyczna owoców świeżych i mrożonych spowodowała uzyskanie wyższych zawartości wody w liofilizatach w stosunku do próbek niepoddanych obróbce osmotycznej, ale wpływ mrożenia był zróżnicowany w zależności od rodzaju substancji osmotycznej. Odwadnianie osmotyczne także zwiększyło aktywności wody liofilizowanych próbek zarówno owoców świeżych jak i mrożonych, ale w przypadku truskawek mrożonych różnice były większe niż owoców odwadnianych w stanie świeżym. Potwierdzono, że odwadnianie zarówno owoców świeżych, jak i mrożonych w roztworze sacharozy wpłynęło na obniżenie zdolności sorpcji pary wodnej przez liofilizowane truskawki, podczas gdy w przypadku roztworu glukozy zanotowano wzrost ilości wchłoniętej pary wodnej w stosunku do próbek niepoddanych obróbce osmotycznej. Wykazano, że proces mrożenia spowodował obniżenie szybkości adsorpcji pary wodnej oraz wpłynął na uzyskanie niższych zawartości wody po 120 minutach rehydracji w stosunku do owoców świeżych. Zarówno w przypadku truskawek świeżych, jak i mrożonych odwadnianych osmotycznie nastąpiło pogorszenie właściwości rehydracyjnych suszu.

W pracy **II.D.2.4.** przedstawiono interpretację wyników badań przeprowadzonych w czasie doktoratu nad wpływem temperatury półek grzejnych liofilizatora na właściwości rehydracyjne i izotermie sorpcji suszonych sublimacyjnie truskawek. Wykazano, że suszenie przy temperaturze półek grzejnych liofilizatora 30 i 50°C wpłynęło na uzyskanie suszu o najwyższym stopniu rehydracji, a gdy truskawki suszono przy temperaturze półek 10 i 70°C otrzymano pogorszenie stopnia uwodnienia. Po 30 minutach procesu nastąpiło obniżenie zawartości wody, co wiązano z możliwymi zmianami struktury i intensywniejszym zjawiskiem dyfuzji składników rozpuszczonych do wody. Wyznaczono izotermie sorpcji pary wodnej otrzymanych suszy, które okazały się być typowe dla większości produktów spożywczych i opisano je modelem Pelega. Nie wykazano różnic w przebiegu izoterm

sorpcji, w zależności od temperatury liofilizacji, próbek suszonych w temperaturze półek grzejnych liofilizatora 10-50°C. Podobnie jak w przypadku rehydracji liofilizaty otrzymane w temperaturze półek grzejnych liofilizatora 70°C cechowały się najmniejszym stopniem sorpcji pary wodnej w zakresie aktywności wody środowiska 0,113-0,648, co najprawdopodobniej wynikało z niekorzystnych zmian struktury i przekroczenia temperatury przemiany szklistej. Natomiast pomiar sorpcji pary wodnej w krótkim czasie (20 h) wykazał, że liofilizaty otrzymane w temperaturze 30°C najszybciej chłoneły parę wodną, co potwierdziło, że suszenie sublimacyjne w tej temperaturze jest najbardziej korzystne. Otrzymany, w celu wykazania wpływu metody suszenia, susz konwekcyjny uzyskał najniższy poziom sorpcji pary wodnej jako efekt zbyt wysokiej temperatury procesu (60°C), która w przypadku owoców o delikatnej strukturze niekorzystnie wpłynęła na jakość produktu końcowego.

W *Journal of Food Engineering* (IF 2,168) (**II.A.1.**) zaprezentowano interpretację wyników uzyskanych w czasie doktoratu, dotyczących wpływu odwadniania osmotycznego i rodzaju substancji osmotycznej (roztworu sacharozy, glukozy i syropu skrobiowego) na właściwości rehydracyjne i sorpcyjne suszu poprzez zmianę struktury liofilizowanych truskawek. Zdjęcia mikroskopowe liofilizowanych truskawek potwierdziły, że zastosowanie obróbki wstępnej przed suszeniem sublimacyjnym spowodowało wzmocnienie struktury suszu poprzez wysycenie tkanki owoców, ale jednocześnie zauważono wpływ rodzaju substancji osmotycznej. Roztwór sacharozy wysycił ściany komórkowe, które stały się grubsze, a tkanka najbliższej powierzchni uległa w dużym stopniu zniszczeniu na skutek wnikania cukru i jego krystalizacji. W przypadku roztworu glukozy zauważono równomierne wysycenie tkanki truskawek cukrem, co skutkowało lepszym zachowaniem struktury. Taką tkankę cechowała większa plastyczność, a uzyskane wyniki pomiarów właściwości były zbliżone do tych, które charakteryzowały truskawki suszone sublimacyjnie bez obróbki wstępnej. Natomiast, gdy owoce odwadniano w roztworze syropu skrobiowego uzyskano wyższy stopień wysycenia tkanki w porównaniu z roztworem sacharozy, ale niższy niż w przypadku roztworu glukozy. Odwadnianie w roztworze sacharozy i syropu skrobiowego obniżyło szybkość chłonięcia pary wodnej i pogorszyło właściwości sorpcyjne suszonych truskawek. Wyznaczone izotermy sorpcji uzyskały typowy przebieg jak w przypadku produktów o dużej zawartości cukru i opisano je modelem Pelega. Wykazano, że obróbka wstępna obniżyła zdolność do rehydracji suszonych truskawek jako efekt zmian struktury suszu na skutek wnikania cukru do tkanki.

Dalsze badania pozwoliły na określenie wpływu struktury liofilizowanych truskawek wstępnie odwadnianych osmotycznie w roztworze sacharozy, glukozy i syropu skrobiowego na skurcz i właściwości mechaniczne suszy. Wyniki opublikowano w *International Journal of Food Properties* (IF 0.947) (**II.A.2**). Wykazano, że odwadnianie osmotyczne istotnie ograniczyło skurcz liofilizowanych truskawek uzyskanych przy temperaturze półek grzejnych liofilizatora 30°C w porównaniu z owocami niepoddanymi obróbce wstępnej. Najmniejsze zmiany objętości owoców zaobserwowano po zastosowaniu roztworu sacharozy oraz glukozy i pomiędzy tymi próbkami różnice były nieistotne statystycznie. Odwadnianie osmotyczne prawie trzykrotnie zwiększyło wytrzymałość mechaniczną na odkształcenie próbek, ale rodzaj substancji osmotycznej nie był znaczący. Zaobserwowane różnice związane były z wpływem odwadniania osmotycznego i rodzaju substancji na strukturę suszonych sublimacyjnie truskawek. Owoce niepoddane obróbce osmotycznej uzyskały znacznie delikatniejszą strukturę, ściany komórkowe były cienkie, a utworzone pory regularne. Obróbka osmotyczna wysyciła tkankę owoców, a komórki położone najbliżej powierzchni owocu uległy w największym stopniu zniszczeniu. Rodzaj substancji osmotycznej a zwłaszcza jej masa, spowodowała zróżnicowanie struktury suszy. Po zastosowaniu roztworu glukozy zaobserwowano uzyskanie wolnych przestrzeni, podczas gdy w przypadku roztworu sacharozy zauważono rozerwanie ścian komórkowych. Tkanka truskawek poddana odwadnianiu w roztworze glukozy została w wysokim stopniu wysycona cukrem, a kryształą glukozy w formie włókien, nadających elastyczność suszonemu materiałowi, zaobserwowano wewnątrz tkanki, natomiast w przypadku roztworu sacharozy widoczne były formy amorficzne. Przechowywanie liofilizatów przez rok potwierdziło, że odwadnianie osmotyczne wzmocniło strukturę suszy, dzięki czemu w suszonych owocach widoczne były takie same formy cukrów jak w próbkach bezpośrednio po liofilizacji.

Barwa jest jedną z podstawowych cech jakościowych w ocenie konsumenckiej, dlatego zbadanie wpływu parametrów liofilizacji i obróbki wstępnej na tę cechę może dostarczyć informacji o optymalnych warunkach prowadzenia procesu suszenia, które zapewnią wysoką jakość produktu końcowego. W pracy **II.D.2.1** i **II.D.2.5** zaprezentowano wyniki pomiaru barwy suszonych sublimacyjnie truskawek. Wykazano, że liofilizacja spowodowała rozjaśnienie powierzchni owoców, w porównaniu z truskawkami rozmrożonymi, a zastosowanie odwadniania osmotycznego wpłynęło na wzrost współczynnika jasności w stosunku do nieodwadnianych osmotycznie suszy, natomiast nie stwierdzono znaczącego wpływu rodzaju roztworu osmotycznego na badaną cechę (**II.D.2.1**). Wykonano także

suszenie konwekcyjne truskawek odwadnianych w roztworze sacharozy i nieodwadnianych w celu wykazania wpływu metody suszenia na barwę suszu i potwierdzono zależności uzyskane w przypadku liofilizatów. Wykazano, że suszenie sublimacyjne wpłynęło na istotny wzrost współczynnika nasycenia barwy (SI) oraz kąta tonu barwy (H), natomiast odwadnianie osmotyczne obniżyło te wskaźniki w stosunku do próbek nieodwadnianych. Truskawki odwadniane w roztworze sacharozy charakteryzowały się w najwyższym stopniu zachowaną barwą czerwoną. W pracy **II.D.2.5.** porównano parametry barwy liofilizowanych truskawek, które były odwadniane w roztworze sacharozy i glukozy w stanie świeżym i mrożonym. Wykazano, że owoce świeże poddane obróbce osmotycznej uzyskały obniżenie współczynnika jasności powierzchni owoców w porównaniu z truskawkami niepoddanymi obróbce wstępnej, podczas gdy próbki mrożone cechował jego wzrost. Odwadnianie osmotyczne zarówno próbek mrożonych, jak i świeżych spowodowało znaczące obniżenie wskaźnika nasycenia barwy i kąta tonu barwy w stosunku do próbek nieodwadnianych. Przechowywanie truskawek w stanie zamrożonym wpłynęło na uzyskanie większych zmian barwy w stosunku do owoców świeżych, a rodzaj roztworu osmotycznego był istotny, podczas gdy w przypadku owoców świeżych nie stwierdzono znaczącego wpływu rodzaju substancji osmotycznej. Ponownie, truskawki odwadniane w roztworze sacharozy uzyskały najbardziej zbliżoną barwę do owoców nieodwadnianych.

Wpływ odwadniania osmotycznego w roztworze sacharozy, glukozy i syropu skrobiowego na skład chemiczny liofilizowanych truskawek przedstawiono w pracy **II.D.2.2.** Zbadano zawartość cukrów ogółem (C.O), bezpośrednio redukujących (C.B.R.) oraz sacharozy (S.A.) w warstwie powierzchniowej (2 mm) i w całych suszonych owocach. Wykazano, że odwadnianie osmotyczne zwiększyło aktywność wody suszu oraz zawartość (C.O.) w stosunku do próbek nieodwadnianych. Zastosowanie roztworu glukozy podniosło zawartość (C.B.R.). Na skutek wmywania cukrów z powierzchni owoców w czasie płukania truskawek po odwadnianiu osmotycznym zanotowano nieznaczne obniżenie zawartości cukrów w warstwie powierzchniowej w stosunku do masy całego owocu. Wykazano także, że odwadnianie osmotyczne w roztworze sacharozy i glukozy spowodowało wzrost zawartości wody w porównaniu z próbkami nieodwadnianymi osmotycznie, a w roztworze syropu skrobiowego nastąpiło obniżenie badanej cechy. Uzyskane wartości korelowały ze zmianą średniego ubytku wody (WL), a stopień zmian zależny był od rodzaju substancji osmotycznej. Najwyższą wartość WL zanotowano gdy próbki odwadniano w roztworze syropu skrobiowego, a najniższą w roztworze glukozy.

Ponieważ badania truskawek odwadnianych osmotycznie i liofilizowanych w temperaturze 30°C potwierdziły wpływ warunków obróbki wstępnej na badane właściwości suszonych sublimacyjnie owoców, postanowiono wykazać wpływ odwadniania osmotycznego w roztworze sacharozy i glukozy o aktywności wody 0,9 na właściwości mechaniczne i barwę (powierzchni, przełomu i rozdrobnionych) truskawek liofilizowanych w temperaturze półek grzejnych liofilizatora 50°C. Wyniki opublikowano w pracy **II.D.2.10**. Potwierdzono, że odwadnianie osmotyczne wpłynęło na usztywnienie struktury suszu, ponieważ krzywe ściskania nie miały gładkiego przebiegu, jaki zaobserwowano w przypadku truskawek nieodwadnianych, ale jednocześnie maksymalna siła potrzebna do 25% deformacji suszu oraz praca ściskania były niższe gdy owoce odwadniano, co tłumaczono wyższą aktywnością wody tych suszy. Wykazano, że w większości przypadków odwadnianie osmotyczne spowodowało istotne obniżenie wskaźników barwy liofilizowanych truskawek zarówno powierzchni, przełomu oraz po rozdrobnieniu w porównaniu z owocami nieodwadnianymi i suszonymi w temperaturze półek grzejnych liofilizatora 50°C. Nie stwierdzono również wpływu rodzaju roztworu osmotycznego na barwę suszu. Ponieważ uzyskane wyniki znacząco różniły się od otrzymanych wcześniej w przypadku truskawek odwadnianych i suszonych w temperaturze półek grzejnych liofilizatora 30°C, świadczyło to o wpływie temperatury w czasie liofilizacji na jakość odwadnianego wstępnie suszu sublimacyjnego.

Podczas badań liofilizowanej dyni przeanalizowano także wpływ blanszowania i sposobu mrożenia na aktywność wody i zawartość suchej substancji oraz wskaźniki barwy (**II.A.4**). Wykazano, że właściwości liofilizowanej dyni zależały od rodzaju obróbki wstępnej. Próbkki odwadniane w 40% roztworze sacharozy charakteryzowały się najwyższą zawartością suchej substancji, ale różnice nie były istotne statystycznie w porównaniu z próbkami blanszowanymi w wodzie, bez względu na czas obróbki. Natomiast zastosowanie blanszowania spowodowało wzrost aktywności wody suszu, co mogło być wywołane wchłanianiem wody przez dynię podczas blanszowania. Potwierdzono również ochronny wpływ obróbki wstępnej zarówno blanszowania, jak i odwadniania osmotycznego, na barwę dyni, jednak analiza statystyczna nie wykazała zmian bezwzględnej różnicy barwy w zależności od rodzaju obróbki wstępnej. Zastosowanie blanszowania wpłynęło na wzrost porowatości suszu, a z wydłużeniem czasu blanszowania z 1 do 8 minut struktura uległa większemu rozluźnieniu, co odzwierciedlał wzrost porowatości. Tylko odwadnianie



osmotyczne zabezpieczyło przed znaczącym wzrostem skurczu suszarniczego w stosunku do próbek niepoddanych obróbce wstępnej.

Wykazano, że wszystkie rodzaje suszonej sublimacyjnie dyni uzyskały wysoką zawartość suchej substancji, powyżej 93%, a istotnie statystycznie najwyższą wartość zanotowano w próbce mrożonej metodą łączoną. Taka technika mrożenia spowodowała, że wymrażana była większa ilość wody, dzięki czemu aktywność wody suszu była najniższa. Potwierdzono brak różnic pomiędzy próbkami mrożonymi metodą szybką ( $-70^{\circ}\text{C}/2\text{h}$ ) oraz wolną ( $-18^{\circ}\text{C}/2\text{h}$  i przechowywanie  $-18^{\circ}\text{C}/2$  tyg.), uzyskując nieistotnie statystycznie różnice aktywności wody suszu, a bezwzględna różnica barwy liofilizowanej dyni w stosunku do surowej była najwyższa. Najkorzystniejszą barwę zanotowano w przypadku liofilizowanej dyni mrożonej metodą łączoną oraz wolną (najniższa wartości bezwzględnej różnicy barwy), pomiędzy którymi nie wykazano różnic. Nie wykazano znaczących różnic w wartości skurczu w zależności od techniki mrożenia, ale porowatość próbek mrożonych wolno była istotnie wyższa, podczas gdy najmniejszą cechowały się próbki mrożone metodą szybką.

## **5.2. Wpływ warunków suszenia próżniowego na jakość suszonych truskawek**

Badania nad strukturą suszy uzyskanych pod obniżonym ciśnieniem zaowocowały w latach 2008-2011 współpracą w ramach projektu finansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego pt.: „Określenie wpływu zmian struktury zachodzących w suszonych próżniowo owocach miękkich na przebieg tego procesu i na właściwości użytkowe otrzymanych suszy”, w którym byłam wykonawcą części badań. Badano truskawki trzech odmian (Bounty, Pandora i Senga Sengana), o średnicy owoców (24 i 27 mm), suszonych próżniowo w różnych warunkach temperatury (50 i  $70^{\circ}\text{C}$ ) i ciśnienia (4 i 16 kPa), oraz metodą suszenia ze skokową zmianą ciśnienia (4 $\rightarrow$ 16 kPa i 16 $\rightarrow$ 4 kPa) lub temperatury (70 $\rightarrow$ 50 $^{\circ}\text{C}$  i 50 $\rightarrow$ 70 $^{\circ}\text{C}$ ). Wyniki zostały opublikowane w 8 pracach badawczych.

Zakładano, że różne warunki suszenia wpływają na zróżnicowanie struktury suszy, co zbadano i opublikowano w pracach **II.D.2.11** i **II.D.2.12**. Analiza właściwości geometrycznych suszy pozwoliła na wybór optymalnych warunków suszenia w poszukiwaniu metody do otrzymywania innowacyjnych produktów. Wykazano, że owoce odmiany Bounty cechowała odmienna struktura (najwyższe wartości współczynnika kolistości i niższe wydłużenia) niż w przypadku truskawek odmiany Pandora, co mogło mieć wpływ na właściwości suszu np. rehydracyjne i sorpcyjne. Dodatkowo, suszenie owoców wstępnie mrożonych spowodowało mniejsze zmiany pola powierzchni przekroju oraz średnicy w

porównaniu z surowcem. Stwierdzono, że zastosowanie truskawek odmiany Bounty pozwoliło na otrzymanie suszu o zachowanych dobrych cechach morfologicznych, niezależnie od parametrów suszenia.

Potwierdzono to, badając właściwości rehydracyjne (**II.D.2.8** i **II.D.2.14**). Wykazano, że odmiana oraz średnica owoców różnicowały zdolność do uwadniania suszu. Dodatkowo, suszenie próżniowe owoców świeżych spowodowało, że suszone truskawki w mniejszym stopniu ulegały uwodnieniu niż owoce wstępnie mrożone, co wiązało się z mniej porowatą strukturą, a zastosowanie niższej temperatury suszenia przy wyższym ciśnieniu, lub wyższej temperaturze, ale przy niższym ciśnieniu było bardziej korzystne w przypadku struktury truskawek odmiany Pandora. Dodatkowo okazało się, że zastosowanie skokowej zmiany ciśnienia z wartości wyższych do niższych (16→4 kPa) poprawiło zdolność suszu do rehydracji, w stosunku do truskawek suszonych przy odwrotnej zmianie ciśnienia, co wiązało się z niższym skurczem suszarniczym. Natomiast badanie zmian właściwości mechanicznych (**II.D.2.13**) w zależności od różnych czynników wykazało, że w większości przypadków różnice były niewielkie lub nieistotne. Natomiast potwierdzono, że struktura suszonych truskawek odmiany Bounty była bardziej równomierna, owoce były twardsze i odporniejsze na uszkodzenia mechaniczne.

W pracach **II.D.2.9** i **II.D.2.15** opublikowano wyniki, dotyczące właściwości sorpcyjnych suszonych próżniowo truskawek. Wykazano, że wstępne mrożenie, jak również zastosowanie wyższych temperatur suszenia i wartości ciśnienia pozwoliło na uzyskanie niższych zawartości wody po 5 i 24 h sorpcji pary wodnej, co wyjaśniono wpływem struktury (**II.D.2.9**). Zaobserwowane zależności potwierdzono, wyznaczając przyrosty zawartości wody po 5 i 24 h sorpcji pary wodnej (**II.D.2.15**). Niższa temperatura suszenia (50°C) jak i niższe ciśnienie (4 kPa) działały bardziej ochronnie na strukturę suszu, co skutkowało wyższą zdolnością sorpcji pary wodnej. Potwierdzono także, że skokowa zmiana ciśnienia z wyższego na niższe była bardziej korzystna, jeśli chodzi o właściwości sorpcyjne niż skok ciśnienia z wartości niższych do wyższych. Wyznaczono izotermy sorpcji pary wodnej suszonych próżniowo truskawek, a wyniki opublikowano w *Drying Technology* (IF 1,814) (**II.A.3**). Do opisu izoterm sorpcji dobrano model matematyczny Lewickiego ze względu na najwyższy stopień dopasowania do krzywych wyznaczonych z punktów eksperymentalnych. Wszystkie krzywe izoterm sorpcji charakteryzował kształt typowy dla produktów o dużej zawartości cukru i sklasyfikowano je jako typ II. Potwierdzono, że niższa temperatura suszenia pozwoliła na poprawę zdolności do sorpcji pary wodnej na skutek uzyskania bardziej

porowatej struktury, natomiast nie zauważono znaczącego wpływu ciśnienia na różnicowanie przebiegu izoterm sorpcji. Dodatkowo, wykonano suszenie łączone, polegające na zastosowaniu najpierw suszenia konwekcyjnego, a następnie próżniowego oraz w odwrotnej kolejności. Wykazano, że truskawki suszone metodą konwekcyjno-próżniową cechowała wyższa zdolność do sorpcji pary wodnej niż przy suszeniu próżniowo-konwekcyjnym, co wiązano z lepszym zachowaniem kształtu i bardziej porowatą strukturą suszonych truskawek. Przeprowadzono analizę statystyczną krzywych izoterm sorpcji i wykazano, że uzasadnione jest analizowanie krzywych w dwóch przedziałach aktywności wody, co związane jest z rozpuszczalnością cukrów poniżej i powyżej aktywności wody około 0.7.

### **5.3. Wykorzystanie zrównoważonych technologii i produktów ubocznych w otrzymywaniu innowacyjnych produktów**

W latach 2014-2017 byłam wykonawcą części badań w ramach międzynarodowego projektu konsorcyjnego ERA-NET SUSFOOD, nr 5/SH/SUSFOOD1/2014 współfinansowanego przez NCBiR, pt.: Development of sustainable processing technologies for converting by-products into healthy, added value ingredients and food products - Rozwój zrównoważonych technologii przetwarzania do przekształcania produktów ubocznych w prozdrowotne składniki wzbogacające i produkty spożywcze. Badania przeprowadzone w ramach grantu miały na celu opracowanie zrównoważonych technologii w całym łańcuchu żywnościowym, pozwalających na zagospodarowanie wyłoków owocowych do otrzymania ekstraktu składników bioaktywnych techniką ekstrakcji nadkrytycznej i stabilizację składników ekstrahowanych, w które następnie wzbogacane były podczas wstępnego odwadniania osmotycznego owoce następnie suszone. Efektem dotychczasowych prac przeprowadzonych przez zespół z Katedry Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji SGGW było opublikowanie 2 artykułów mających na celu zapoznanie z różnymi metodami korzystnej obróbki wstępnej jak i ideą projektu. W opracowaniu **II.D.2.16** przedstawiono, na czym polega zrównoważony system produkcji żywności wykorzystujący produkty uboczne bogate w prozdrowotne składniki. Przybliżono nowoczesne techniki ekstrakcji składników bioaktywnych zaliczane do tzw. „zielonych technologii” oraz możliwości wykorzystania do tego celu różnych owoców i warzyw. Przedstawiono także założenia oraz etapy realizacji badań w ramach projektu. W pracy przeglądowej opublikowanej w Trends in Food Science and Technology (IF 5,15) (**II.A.6.**) przedstawiono zalety i możliwości stosowania różnych

technik obróbki wstępnej przed suszeniem. Dokonano charakterystyki odwadniania osmotycznego jako najczęściej stosowanej metody obróbki poprzedzającej dalsze utrwalanie pod kątem znaczenia parametrów oraz możliwości modyfikacji tego procesu w celu jego optymalizacji. Przedstawiono rozwiązania polegające na połączeniu odwadniania osmotycznego z innymi technikami, np. metodą wysokich ciśnień hydrostatycznych, pulsacyjnego pola elektrycznego, ogrzewania omowego, obniżonego ciśnienia. Na podstawie danych literaturowych wykazano, że takie modyfikacje pozwalają nie tylko na poprawę cech sensorycznych, ale także na uzyskanie produktu o cechach prozdrowotnych, dzięki ochronie składników termolabilnych. Zwrócono także uwagę na problem zagospodarowania roztworów po obróbce osmotycznej. Przedstawiono możliwości ich wykorzystania np. do wysycania owoców przez natryskiwanie, recykling i używanie w kolejnych cyklach odwadniania.

W pracy **II.D.2.18** omówiono możliwości wytwarzania przekąsek z różnych owoców na przykładzie: jabłek, truskawek i gruszek wzbogaconych w naturalne składniki bioaktywne wykorzystując techniki zrównoważonego przetwórstwa owoców, oraz zaprezentowano część wyników badań przeprowadzonych w ramach projektu Era-Net Susfood realizowanego przez SGGW w konsorcjum z ośrodkami ze Szwecji i Niemiec.

Jabłka, truskawki oraz gruszki poddano badaniom wstępnym mającym na celu określenie optymalnego składu i stężenia roztworów osmotycznych, temperatury i czasu odwadniania. Badania przeprowadzone z wykorzystaniem różnych substancji osmotycznych i ich stężeń, temperatur i czasu procesu odwadniania, przy zróżnicowanym stosunku owoców do roztworu pozwoliły na ustalenie parametrów odwadniania osmotycznego w dalszych etapach badań. Stosowano roztwory substancji osmotycznych (sacharoza, inulina, koncentrat soku z aronii) o stężeniu w zakresie 50-70%, czas odwadniania 2-24 h, temperatura 50 °C. Innowacją było zastosowanie dodatku etanolowego ekstraktu z wycisków owoców jagodowych o stężeniu 80% uzyskanego przez partnera projektu z ośrodka naukowego w Szwecji. Odwodnione owoce utrwalano podczas suszenia dwoma metodami. Pierwsza to dwuetapowe suszenie polegające na zastosowaniu suszenia konwekcyjnego a następnie mikrofalowego przy obniżonym ciśnieniu określane jako technika hybrydowa z tzw. efektem „puffingu”. Działanie mikrofal i obniżonego ciśnienia umożliwia przemianę fazową wody w stan gazowy w efekcie czego następuje zwiększenie objętości, a obniżone ciśnienie ułatwia szybkie jej usuwanie z materiału i osiągnięcie pożądanego „puchnięcia” próbek. Druga metoda to liofilizacja.

Na podstawie oceny parametrów wymiany masy oraz pomiaru wybranych właściwości fizycznych i składu chemicznego wykazano, że zastosowanie obu technik suszenia pozwala na uzyskanie suszu wysokiej jakości, a więc suszenie tzw. hybrydowe jest dobrą alternatywą dla kosztownego suszenia sublimacyjnego, dzięki czemu osiągnięto skrócenie czasu trwania procesu z 24-48 h (liofilizacja), do około 2 h (suszenie dwuetapowe). Stwierdzono także, że owoce wstępnie odwadniane osmotycznie łatwiej suszyły się metodą hybrydową niż sublimacyjną. Badania nad wpływem warunków odwadniania osmotycznego na jakość suszu wykazały, że koncentrat soku z aronii może być skutecznie wykorzystywany jako substancja osmotyczna jednocześnie nadając atrakcyjną barwę, smak, strukturę i wartość odżywczą suszonych owoców. Otrzymane w ten sposób susze mogą być z powodzeniem stosowane jako alternatywa dla przekąsek oraz dodawane w formie wsadu owocowego do jogurtów. Prowadzenie procesu suszenia przy ustalonych parametrach nie powoduje istotnej degradacji składników przeciwutleniających, dzięki czemu otrzymany produkt jest atrakcyjny sensorycznie i bogaty w składniki bioaktywne.

W pracy **II.A.7.** przedstawiono wyniki badań w których truskawki poddano odwadnianiu osmotycznemu w 50% roztworach: sacharozy z lub bez dodatku inuliny, oraz sacharozy z lub bez dodatku koncentratu soku z aronii. Odwadnianie prowadzono w temperaturze 30 i 50 °C przez 0-360 min, przy stosunku roztworu do owoców 2:1 L/kg. Na podstawie wyznaczonych wskaźników znormalizowanej zawartości wody oraz suchej substancji, całkowitej zawartości polifenoli w przeliczeniu na kwas czosnkowy i chlorogenowy określono korzystny wpływ takiej obróbki wstępnej na jakość owoców. Krzywe kinetyki znormalizowanej zawartości suchej substancji i wody zostały właściwie opisane modelem Pelega. Uzyskane wartości utraty wody i przyrostu suchej masy pozwoliły na ustalenie warunków odwadniania osmotycznego na 120 min w temperaturze 50 °C. Wykazano, że sacharoza z dodatkiem koncentratu soku z aronii lub inuliny może być stosowana jako naturalny roztwór osmotyczny do odwadniania truskawek. Taki dodatek zwiększa efektywność wymiany masy oraz pozwala na wzrost zawartości polifenoli i aktywności przeciwutleniającej odwodnionych owoców. Częściowe zastąpienie sacharozy roztworem inuliny lub koncentratem soku z aronii pozwala na otrzymanie atrakcyjnego produktu i jednocześnie zagospodarowanie nadwyżki surowców, dzięki czemu staje się zrównoważoną technologią przetwarzania surowców roślinnych.

#### **5.4. Możliwości wykorzystania hydrokoloidów przy opracowywaniu nowatorskich produktów spożywczych o prozdrowotnych cechach**

Opracowywaniem nowych produktów spożywczych z wykorzystaniem hydrokoloidów zainteresowałam się już w pracy magisterskiej, w ramach której podjęłam się próby otrzymania konfitur bezcukrowych bez dodatku sacharozy z zastosowaniem aspartamu i acesulfamu K. Wyniki badań opublikowano w pracy **II.D.1.1**. Celem badań było otrzymanie konfitur wiśniowych bez dodatku cukru, wykorzystując syntetyczne środki słodzące i hydrokolidy: pektynę wysokometylowaną oraz gumę guar. Taki produkt może być przeznaczony dla diabetyków. Otrzymano 3 receptury konfitur z pektyną wysokometylowaną, oraz 4 receptury konfitur z pektyną wysokometylowaną i gumą guar. Na podstawie zbadanych właściwości organoleptycznych konfitur wykazano, że charakteryzowały się one zbliżonymi cechami do konfitur niskosłodzonych, również otrzymanych w ramach badań. Natomiast analiza właściwości fizycznych wykazała, że zastosowanie pektyny wysokometylowanej oraz gumy guar pozwoliło na otrzymanie produktu o lepkości najbardziej zbliżonej do lepkości konfitur tradycyjnych.

Możliwość zastosowania pektyn w produkcji innowacyjnej żywności badano również w pracy **II.A.5.**, gdzie podjęto próbę opracowania receptury żelu truskawkowego na bazie rehydratowanego proszku truskawkowego w ilości 60% masy żelu przy wykorzystaniu pektyny niskometylowanej dodawanej w ilości 2; 2,5; 3,5%. W celu zżelowania masy dodawano po 1% kwasu askorbinowego oraz 0,05% mleczanu wapnia. Aby określić optymalny skład żelu, zbadano wybrane właściwości fizyczne suszonych sublimacyjnie żeli. Eksperymentalnie ustalono dodatek pektyny niskometylowanej, który pozwolił na otrzymanie zwartej żeli, który można formować w kostki i liofilizować. Wykazano, że wszystkie susze charakteryzowała niska zawartość wody na poziomie nieprzekraczającym 6%, a maksymalna aktywność wody wynosiła 0,25. Tylko w przypadku próbek o 2,5% dodatku pektyny uzyskane wartości były istotnie statystycznie najniższe. Ocena barwy liofilizowanych żeli wykonana w systemie  $L^*a^*b^*$  wykazała, że nastąpiło rozjaśnienie powierzchni żelu w stosunku do barwy proszku truskawkowego, co mogło wynikać ze zmian właściwości na skutek uwodnienia proszku i jego ponownej liofilizacji. Dodatkowo, porowata struktura także mogła wpłynąć na rozjaśnienie powierzchni suszu. Próbki uzyskane przy 2,5% dodatku pektyny niskometylowanej różniły się istotnie statystycznie w stosunku do pozostałych suszonych żeli parametrami barwy. Uzyskano najniższą wartość współczynnika bezwzględnej różnicy barwy w stosunku do proszku truskawkowego oraz najwyższą wartość współczynnika nasycenia barwy, co świadczyło o korzystnej barwie tych próbek. Zbadano właściwości rehydracyjne liofilizowanych żeli w wodzie o temperaturze 20 i 80°C i wykazano, że w ciągu

pierwszych 5 minut uwadniania w wodzie o temperaturze 20°C zawartość wody w próbkach wzrosła do ponad 90%, a rehydracja była najefektywniejsza. Po 30 minutach rehydracji suszony sublimacyjnie żel z 2,5% dodatkiem pektyny uzyskał istotnie najwyższą zawartość wody. Nie udało się przeprowadzić uwadniania suszu w wodzie o temperaturze 80°C na skutek rozpadu próbek. Ocena właściwości mechanicznych w przypadku suszy dostarcza informacji nie tylko na temat odporności próbki na uszkodzenia mechaniczne, co jest szczególnie ważne w przypadku produktów o delikatnej strukturze, ale pozwala też wnioskować o akceptowalności produktu przez konsumenta, ponieważ zbyt twarda próbka może być uznana za nieatrakcyjną. Zgodnie z oczekiwaniami, ze wzrostem dodatku hydrokoloidu zmieniła się struktura suszu, co potwierdzono wyznaczając krzywe ściskania i obliczając pracę ściskania. Najbardziej krucha była próbka z 2,5% dodatkiem pektyny, a wyznaczona praca ściskania była także najmniejsza, natomiast ponad 3-krotnie wyższej siły trzeba było użyć przy ściskaniu suszu z 3,5% dodatkiem pektyny, co potwierdziło, że uzyskana struktura była najbardziej zwarta i dlatego też próbka mogła wchłonąć najniższą ilość wody podczas uwadniania. Wszystkie próbki uzyskały niski poziom skurczu (poniżej 20%) i wysoką porowatość (powyżej 90%). Najdelikatniejsza struktura żelu z 2,5% dodatkiem pektyny w najwyższym stopniu uległa skurczowi suszarniczemu, jednocześnie charakteryzując się najwyższą porowatością.

W publikacji przeglądowej **II.D.2.17.** wykonanej w ramach grantu NCN Sonata 5 „Innowacyjny produkt truskawkowy o wykreowanej strukturze”, dokonano analizy literatury na temat pektyn jako składnika funkcjonalnego żywności, ponieważ pektyny są jednym z najczęściej stosowanych hydrokoloidów w technologii żywności, a dodatkowo wykazano ich korzystny wpływ na zdrowie. Dokonano charakterystyki pektyn z podziałem na różne ich rodzaje i przedstawiono czynniki wpływające na zdolność do żelowania poszczególnych rodzajów pektyn. Przedstawiono możliwości zastosowania pektyn nisko i wysokometylowanych w technologii żywności jak również w przemyśle farmaceutycznym. Wykazano, że pektyny odgrywają ważną rolę, wpływając na zdrowie i funkcjonowanie organizmu ludzkiego. Przedstawiono wyniki badań potwierdzających korzystny wpływ pektyn w produktach spożywczych, m.in. na poziom cholesterolu, glukozy we krwi oraz jako składnik przeciwrakowy. Pektyna jako składnik produktów dietetycznych może być z powodzeniem stosowana np. w innowacyjnych produktach o napowietrzonej strukturze, które mogą pomóc w walce z nadwagą i otyłością.

## 6. Zestawienie dorobku

Wskaźniki naukometryczne mojego dorobku naukowego (łącznie z osiągnięciem, będącym podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego) przedstawiono w tabeli poniżej.

Mój dotychczasowy dorobek publikacyjny obejmuje:

- 37 oryginalnych prac w recenzowanych czasopismach, w tym:
  - 13 z listy JCR,
  - 2 prace przeglądowe w recenzowanych czasopismach, w tym 1 w zagranicznym z listy JCR,
  - 1 rozdział w monografii w języku angielskim,
  - 19 publikacji w recenzowanych czasopismach spoza listy JCR,
  - 2 artykuły popularnonaukowe,
- 40 doniesień na konferencjach w postaci abstraktów (36 po doktoracie), w tym 9 na konferencjach międzynarodowych (8 po doktoracie),
- 17 wygłoszonych referatów (14 po doktoracie), w tym 6 na konferencjach międzynarodowych (po doktoracie),
- 34 prezentacji posterowych (32 po doktoracie), w tym 9 na konferencjach międzynarodowych (8 po doktoracie),
- udział w 3 grantach badawczych, w tym:
  - 1 grant SONATA z funkcją kierownika projektu,
  - 1 konsorcjum międzynarodowe w ramach programu ERA-NET SUSFOOD jako wykonawca projektu,
  - 1 projekt MNiSW jako wykonawca projektu,
- udział w 1 międzynarodowym projekcie dydaktycznym w roli kierownika projektu w SGGW,
- sumaryczny Impact Factor (IF) prac wg danych z JRC z roku opublikowania pracy – 24,552
- liczba cytowań na podstawie Web of Science (all database) - 70 (z pominięciem autocytowań - 49),
- liczba cytowań na podstawie Web of Science (core collection) - 56 (z pominięciem autocytowań - 37),
- Index Hirscha wg Web of Science - 4
- suma punktów wg listy MNiSW – 481,



Po wyłączeniu 8 prac stanowiących szczególne osiągnięcie naukowe (IF\*=10.772, 201 pkt. MNiSW), wartość mojego pozostałego dorobku naukowego osiąga IF\*=13,78 i 280 pkt. MNiSW.

Lp.	Rodzaj publikacji	Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora		Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora		Łącznie	IF <sup>a</sup>	Punkty MNiSW <sup>b</sup>
		autor	współautor	autor	współautor			
1.	Oryginalne opublikowane prace twórcze							
	Prace opublikowane w czasopismach nieindeksowanych w bazie JCR	0	4	0	18	22	-	77
	Prace indeksowane w bazie JCR	0	0	0	14	14	24,552	404
2.	Rozdziały w monografiach	0	0	0	1	1	-	7
3.	Komunikaty naukowe (abstrakty)							
	Konferencje zagraniczne i międzynarodowe	0	1	0	9	10	-	-
	Konferencje krajowe	0	3	0	27	30	-	-
4.	Razem						24,552	481
W tym oryginalne prace twórcze wchodzące w skład Osiągnięcia								
5.					8		10.772	201

<sup>a</sup>- obowiązujący w roku opublikowania (w przypadku publikacji z lat 2016-2017 przyjęto wartość IF wyliczoną w latach 2015/2016)

<sup>b</sup>- zgodnie z listą czasopism punktowanych z roku opublikowania. Dla publikacji z 2017 roku przyjęto punktację z 2016 roku.

Lp.	Nazwa czasopisma	Ogółem	Pkt MNiSW	IF
1	Drying Technology	1	35	1,814
		1	35	1,77
2	Italian Journal of Food Science	2	30	0,4
3	Journal of Food Engineering	1	32	2.168
4	International Journal of Food Properties	1	27	0.947
5	Żywność. Nauka. Technologia. Jakość.	1	15	0,311
6	LWT- Food Science and Technology	1	35	2.416
		1	35	2,711
7	Interational Agrophysics	1	25	1,067
8	Trends in Food Science & Technology	1	50	5,150
9	Polish Journal of Food and Nutrition Sciences	1	8	-
		1	15	0,679
10	Journal of Texture Studies	1	25	1.261
11	Food Hydrocolloids	1	45	3.858
12	Inżynieria Rolnicza	2	8	-
13	Przemysł Fermentacyjny i owocowo-warzywny	1	3	-
12	Acta Agrophysica	1	4	-
		3	15	-
14	Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego	2	8	-
		2	12	-
15	Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych	1	6	-
		5	0	-
13	Croatian Journal of Food Science and Technology	1	2	-
14	Inżynieria i Aparatura Chemiczna	1	4	-
15	Rozdziały w monografiach	1	7	-
20	Prace popularno-naukowe i popularyzujące	2	0	-
RAZEM		37	481	24,552

Impact factor (IF)- obowiązujący w roku opublikowania (w przypadku publikacji z lat 2016-2017 przyjęto wartość IF wyliczoną dla lat 2015/2016)

Pkt. MNiSW (PM) zgodnie z listą czasopism punktowanych z roku opublikowania. Dla publikacji z 2017 przyjęto punktację z roku 2016.

## 7. Inne osiągnięcia związane z aktywnością dydaktyczną i organizacyjną

### 7.1. Działalność dydaktyczna

Szczegółowy opis realizowanych zadań dydaktycznych zamieściłam w Załączniku 5. W Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie zostałam zatrudniona z dniem 31.12.2007r. Wykonując pracę doktorską równolegle prowadziłam zajęcia dydaktyczne ze studentami w ramach kierunku *Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka* oraz *Biotechnologia* na Wydziale Nauk o Żywności (WNoŻ). Obecnie poza zajęciami na w/w kierunkach studiów WNoŻ prowadzę także zajęcia na kierunku *Bezpieczeństwo Żywności*.

Opracowywałam programy ćwiczeń laboratoryjnych (l) i wykładów (w) licznych przedmiotów, których byłam lub jestem realizatorem. Są to m.in. „Ekologia i ochrona środowiska” (w), „Odwadnianie i suszenie żywności” (w), „Inżynieria procesowa II” (w + l), „Współczesne trendy w nauce o żywności i żywieniu” (w + l), „Bioinżynieria” (l), „Gospodarka energetyczna” (l), „Inżynieria procesowa produkcji żywności” (l), „Maszynoznawstwo przemysłu spożywczego” (l), „Rysunek techniczny” (l), „Inżynieria procesowa” (l), „Właściwości fizyczne produktów spożywczych” (l), „Projektowanie produktu” (l), „Podstawy metrologii w przemyśle spożywczym” (l), „Materiałoznawstwo i inżynieria materiałowa” (l), „Suszarnictwo” (l), „Przemysłowe procesy biotechnologiczne” (l), „Inżynieria procesów biotechnologicznych cz II” (l), „Towaroznawstwo” (l).

Prowadziłam także zajęcia (l) w języku angielskim dla studentów z wymiany naukowej z przedmiotu „Outlines of food engineering”.

Jako koordynator przedmiotu „Inżynieria produktu” zajmowałam się organizacją zajęć terenowych dla studentów w zakładach przemysłu spożywczego na terenie woj. mazowieckiego, a z przedmiotów „Ekologia i ochrona środowiska”, „Ekologia, gospodarka energetyczna” oraz „Gospodarka energetyczna” organizowałam zajęcia na terenie oczyszczalni ścieków w Warszawie.

Na kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka byłam promotorem 9 prac dyplomowych magisterskich i 10 inżynierskich, oraz opiekunem 5 prac magisterskich, a także 1 pracy inżynierskiej. Jestem promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim mgr inż. Kingi Czajkowskiej nt. „Wpływ odwadniania osmotycznego jabłek w roztworach cukru z dodatkiem składników wzbogacających i suszenia konwekcyjno-mikrofalowo-próżniowego na właściwości fizykochemiczne suszy otwartym 26.02.2016r.

Ponadto, moja aktywność dydaktyczna przejawiała się w czynnym uczestnictwie w Festiwalu Nauki, w którym opracowywałam i współprowadziłam lekcję festiwalową „Truskawki dla kosmonautów” w latach 2012-2016.

Swoje umiejętności nieustannie doskonaliłam uczestnicząc w licznych kursach, szkoleniach i warsztatach. Do najważniejszych należy zaliczyć Semestralne podyplomowe studium pedagogiczne SGGW 2008; Studia podyplomowe MBA w dziedzinie „Zarządzanie i Marketing w Gospodarce Żywnościowej” 2003-2005 (SGGW w Warszawie i ESSEC Business School w Paryżu); Szkolenie w zakresie Higieny i zapewnienia bezpieczeństwa zdrowotnego produkcji żywności w tym Kurs HACCP w zakładach przemysłu spożywczego w ramach Polsko-Francuskich Studiów Podyplomowych MBA-IZMA 2003; Seminarium: „Plant Biotach: It’s not the Future...it’s Today.”, SGGW, Warszawa, 2005; Zastosowanie statystyki i data mining. Przegląd programów z rodziny Statistica, Warszawa 2005; Kurs języka angielskiego na poziomie upper-intermediate organizowany w ramach Polsko-Francuskich Studiów Podyplomowych MBA –IZMA, 2005; Seminarium zorganizowane przez firmę SIGMA-ALDRICH - Oznaczanie wody metodą Karla Fischera, Warszawa 2008; Szkolenie w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy zorganizowane przez ERGO-BIS, Warszawa 2009; Szkolenie z udzielania pierwszej pomocy zorganizowane przez mazowiecki zarząd okręgowy polskiego czerwonego krzyża, Warszawa 2009; Pracownicy SGGW wobec studentów niepełnosprawnych. Szkolenie zorganizowane przez Fundację Instytutu Rozwoju Regionalnego, Warszawa 2009; Seminarium „Zastosowanie statystyki i data mining. Analiza danych w programie statistica 9 – przegląd”, Warszawa 2009; Szkolenie z zakresu „Obsługa programu MS PowerPoint Prezentacja multimedialna w pracy nauczyciela akademickiego”, Warszawa 2013; Seminarium "How to write a world class paper", Warszawa 2013; Szkolenie w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy zorganizowane przez Inspektorat Bezpieczeństwa i Higieny Pracy, Warszawa 2014; Seminarium „Zarządzanie projektem badawczo-rozwojowym w praktyce”, Warszawa 2014.

## 7.2. Działalność organizacyjna

Obok działalności naukowej i dydaktycznej istotnym elementem mojej aktywności zawodowej jest działalność organizacyjna. Za najważniejsze osiągnięcie uważam **pozyskanie funduszy** w ramach **projektu badawczego** finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki w ramach programu Sonata 5 Nr DEC-2013/09/D/NZ9/04150 pt. „Innowacyjny produkt

truskawkowy o wykreowanej strukturze” w którym byłam kierownikiem. Data realizacji 02.2014 – 02.2017.

Od roku 2012 jestem koordynatorem lokalnym Festiwalu Nauki w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji SGGW. Brałam również czynny udział w Dniach SGGW pełniąc dyżur w stoisku Wydziału Nauk o Żywności w latach 2009, 2012 i 2014. Byłam również w Komitecie organizacyjnym Dni SGGW w roku 2016 oraz przygotowywałam prezentację na Dni SGGW zorganizowane w roku 2016 w Łazienkach Królewskich.

W latach 2012-2016 byłam Członkiem Wydziałowej Komisji Wyborczej oraz Członkiem Wydziałowej Komisji KRK w latach akademickich 2014/2015 oraz 2015/2016. W roku akademickim 2013/2014 pełniłam rolę opiekuna praktyk studenckich na Wydziale Nauk o Żywności, a od roku akademickiego 2013/2014 do roku akademickiego 2017/2018 jestem opiekunem roku na Wydziale Nauk o Żywności.

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

Od 2015 roku jestem członkiem Polskiego Towarzystwa Technologów Żywności **PTTŻ**, a od 2017 roku członkiem Sekcji Fizyki i Inżynierii Żywności Komitetu Nauk o Żywności **PAN**.

W latach 2015-2016 byłam recenzentem 2 projektów międzynarodowych: The Croatian Science Foundation (HRZZ) (recenzja w roku 2015) i Fondecyt Program FONDECYT Regular 2017 (recenzja w roku 2016).

W latach 2014-2016 byłam wykonawcą badań w konsorcjum międzynarodowym w ramach programu ERA-NET SUSFOOD „Sustainable Food Production and Consumption”, tytuł projektu: “Development of sustainable processing technologies for converting by-products into healthy, added value ingredients and food products - Rozwój zrównoważonych technologii przetwarzania do przekształcania produktów ubocznych w prozdrowotne składniki wzbogacające i produkty spożywcze” finansowanym ze strony polskiej przez NCBiR.

#### **7.4. Otrzymane nagrody i wyróżnienia**

W roku 2011 otrzymałam nagrodę zespołową III stopnia JM Rektora SGGW w Warszawie za osiągnięcia naukowe. W roku 2017 otrzymałam wyróżnienie JM Rektora SGGW w Warszawie za dotychczasowe osiągnięcia naukowe i dydaktyczne, które znacząco wpływają na rozwój, promocję oraz prestiż Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie.

Podczas konferencji naukowych moje prezentacje posterowe zostały nagrodzone dyplomem za zajęcie II miejsca w sesji posterowej za najlepszy poster „Wpływ mrożenia, odwadniania osmotycznego i rodzaju substancji osmotycznej na właściwości mechaniczne liofilizowanych truskawek” podczas IV Konferencji Naukowej - Właściwości Geometryczne, Mechaniczne i Strukturalne Surowców i Produktów Spożywczych w Bałszycach w 2009 roku, oraz wyróżnienie w konkursie prac posterowych za pracę „Wpływ parametrów próżniowego suszenia truskawek na właściwości sorpcyjne suszu” podczas Jubileuszowej XL Sesji Naukowej Komitetu Nauk o Żywności Polskiej Akademii Nauk „Tradycja i nowoczesność w życiu i żywieniu” w Warszawie w 2011 roku.

#### **7.5. Współpraca z zagranicą, recenzje publikacji**

Moja współpraca z zagranicą przejawia się przede wszystkim w ramach działalności wydawnictw naukowych. Wykonałam **13** recenzji publikacji naukowych w czasopismach z tzw. listy filadelfijskiej: Journal of Food Quality, Food and Bioproducts Processing, Journal of Food and Nutrition Research, African Journal of Biotechnology, Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria, Food and Bioproducts Processing, Drying Technology, International Journal of Fruit Science, Journal of Food Science, International Journal of Food Properties, The Scientific Pages of Horticulture, LWT - Food Science and Technology.

#### **7.6. Osiągnięcia w zakresie popularyzacji nauki**

Celem promowania nowoczesnych rozwiązań w technologii żywności zwłaszcza z zakresu suszenia żywności i obróbki wstępnej publikowałam wyniki badań w czasopismach branżowych. Do tej pory ukazało się 37 artykułów z moim współautorstwem. Szczegółowy ich spis zamieściłam w Załączniku 5 w punkcie I i II.

Na stronie internetowej Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie dnia 8.03.2017 ukazał się artykuł z wywiadem ze mną „Żywność dla kosmonautów”

[http://www.sggw.pl/aktualnosci/dla-absolwentow\\_/zywnosc-dla-kosmonautow](http://www.sggw.pl/aktualnosci/dla-absolwentow_/zywnosc-dla-kosmonautow),  
<http://www.sggw.pl/aktualnosci/dla-mediow>. Link do tego artykułu zamieszczany był na stronie facebook Katedry Inżynierii Żywności oraz udostępniany na prywatnych kontaktach facebook. Udzieliłam wywiadu do Polskiego Radia na temat żywności liofilizowanej pt.: „Kosmiczna żywność: czym jest proces liofilizacji?”, który był wyemitowany 12.03.2017 o godz. 12.45 w programie Agro-Fakty w programie 1 Polskiego Radia. Obszerniejsza relacja z tej rozmowy zamieszczona została na stronie internetowej Polskiego Radia pod adresem <http://www.polskieradio.pl/42/5202/Artykul/1738385>.

### **7.7. Współpraca z przemysłem**

Obok zadań naukowych i dydaktycznych realizuję się również współpracując z podmiotami gospodarczymi. Za najważniejszą uważam wieloletnią współpracę z Wielobranżowym Przedsiębiorstwem Produkcyjno – Handlowym „Elena”, 62-817 Żelazków, Kokanin 86 w ramach której odbyłam staż przemysłowy (6 miesięcy) oraz byłam współwykonawcą ekspertyzy „Stosowanie zagęstników do produkcji liofilizatów – liofilizowane żele truskawkowe”.

W roku 2009 byłam współwykonawcą ekspertyzy „Ocena właściwości mechanicznych zagęstników agarowych” na zlecenie JAR Jaskółski Aromaty oraz wykonawcą badań na zlecenie HJ Heine Polska S.A., Pudliszki „Oznaczanie aktywności wody produktów garmażeryjnych dostarczonych”.

Organizując ćwiczenia terenowe dla studentów WNoŻ nawiązałam kontakty z zakładami przemysłu spożywczego m.in. Zakład Mięsny "Wierzejki", „Zentis Polska Sp. z o. o.” oraz „Ferrero Polska Sp. z o. o.”.

Na podstawie porozumienia o współpracy z przemysłem zawartej w 2016 roku pomiędzy SGGW a Firmą FM VERTO Sp. Z o.o. zostałam osobą odpowiedzialną za koordynację działań wynikających z w/w porozumienia.

Koniec załącznika 2

