

AUTOREFERAT

z opisem osiągnięć naukowych
związanych z postępowaniem habilitacyjnym

Dr inż. Katarzyna Samborska

Wydział Nauk o Żywności
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

SPIS TREŚCI

1.	Dane osobowe.....	3
2.	Posiadane tytuły, stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....	3
3.	Informacje o zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	3
4.	Wskazanie osiągnięcia stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego.....	4
4.1.	Tytuł osiągnięcia naukowego.....	4
4.2.	Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia stanowiącego podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego.....	4
5.	Syntetyczne omówienie publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego.....	6
5.1.	Wstęp.....	6
5.2.	Wpływ parametrów suszenia rozpyłowego miodu, rodzaju i zawartości zastosowanego nośnika na przebieg suszenia oraz właściwości fizyczne otrzymanych proszków.....	8
5.3.	Wpływ działania podwyższonej temperatury (w trakcie obróbki cieplnej oraz suszenia rozpyłowego) na aktywność enzymatyczną miodów.....	12
5.4.	Wpływ substancji pomocniczej (kazeinianu sodu) na przebieg suszenia rozpyłowego miodów oraz właściwości fizyczne proszków.....	14
5.5.	Badanie możliwości obniżenia zawartości nośnika w suszonym miodzie poprzez obróbkę wstępną roztworów miodu za pomocą oksydazy glukozy.....	15
5.6.	Badanie możliwości obniżenia zawartości nośnika w miodzie suszonym poprzez obróbkę wstępną roztworów miodu za pomocą diafiltracji.....	22
5.7.	Badanie możliwości wytworzenia nowych produktów na bazie „suszzonego miodu” z równoczesnym polepszeniem ich właściwości fizycznych poprzez aglomerację.....	24
5.8.	Wpływ przechowywania na właściwości suszonych miodów.....	25
5.9.	Podsumowanie i wnioski.....	27
6.	Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.....	31
6.1.	Inaktywacja i stabilizacja aktywności α -amylazy z <i>Aspergillus oryzae</i>	32
6.2.	Suszenie rozpyłowe.....	34
6.2.1.	Suszenie miodu.....	34
6.2.2.	Suszenie materiałów pochodzenia mikrobiologicznego.....	37
6.3.	Badanie procesu zamrażania oraz rekrytalizacji w układach modelowych oraz lodach spożywczych.....	42
6.6.	Właściwości teksturalne produktów ekstrudowanych.....	43
7.	Podsumowanie pracy naukowo-badawczej.....	45
8.	Inne osiągnięcia związane z aktywnością dydaktyczną i organizacyjną.....	46
8.1.	Działalność dydaktyczna.....	46
8.2.	Działalność organizacyjna.....	47
8.3.	Działalność w towarzystwach naukowych i zespołach eksperckich oraz konsorcjach i sieciach badawczych, recenzje grantów.....	47
8.4.	Otrzymane nagrody i wyróżnienia.....	47
8.5.	Współpraca z zagranicą, recenzje publikacji.....	48
8.6.	Osiągnięcia w zakresie popularyzacji nauki.....	48
8.7.	Konferencje.....	49
8.8.	Współpraca z przemysłem.....	49

1. Dane osobowe

Imię i nazwisko: **Katarzyna Samborska**
Miejsce pracy: Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Wydział Nauk o Żywności
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa
tel. +48 22 59 37 569, e-mail: katarzyna_samborska@sggw.pl

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

- 10.12.2004 r. Stopień **doktora inżyniera nauk rolniczych w zakresie technologii żywności i żywienia**
Wydział Technologii Żywności
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Praca doktorska pt. „*Wpływ procesu suszenia rozpyłowego na degradację preparatu α -amylazy z *Aspergillus oryzae**” realizowana w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji pod kierunkiem Prof. dr hab. Doroty Witrowej-Rajchert oraz w Laboratory of Food Technology (Katholieke Universiteit Leuven, Belgia) pod kierunkiem Prof. Marc’a Hendrickx’a
- 08.06.2000 r. Stopień **magistra inżyniera nauk rolniczych**
Wydział Technologii Żywności
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Praca magisterska pt. „*Badanie degradacji materiałów biologicznie czynnych w czasie suszenia*” realizowana w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji pod kierunkiem Dr inż. Doroty Witrowej-Rajchert

3. Informacje o zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- od 15.12.2005 **adiunkt**, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Wydział Technologii Żywności (obecnie Wydział Nauk o Żywności), Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
- 15.12.2004–14.12.2005 **asystent**, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Technologii Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
- 01.08.2004–30.11.2004 **analityk**, Krajowy Punkt Kontaktowy Programów Badawczych UE
- 01.10.2000–14.12.2004 **doktorant**, dzienne studia doktoranckie, Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji, Wydział Technologii Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
- 02.12.2007–30.09.2009 (22 miesiące) i 10.12.2012–31.03.2014 (16 miesięcy) urlop macierzyński i wychowawczy

4. Wskazanie osiągnięcia stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Osiągnięciem naukowym wynikającym z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm. Dz. U. z 2011 r. nr 204, poz. 1200) jest cykl publikacji naukowych pt.:

Suszenie rozpyłowe miodu – właściwości fizyko-chemiczne uzyskanych proszków oraz możliwości obniżenia w nich zawartości nośnika

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

H1. **Samborska Katarzyna**, Gajek Paulina, Kamińska-Dwórznicza Anna. 2015. Spray drying of honey: the effect of drying aids on powder properties. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, 65, 2, 109-118

IF 0,679, MNiSW 15 p.

Indywidualny wkład: autor korespondencyjny, autor wniosku o finansowanie badań, kierownik projektu badawczego, w ramach którego prowadzono badania, koncepcja pracy, wiodący udział w planowaniu doświadczeń, przeprowadzeniu badań, sformułowaniu wniosków i przygotowaniu manuskryptu (80%)

H2. **Samborska Katarzyna**, Bieńkowska B. 2013. Physicochemical properties of spray dried honey preparations. **Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych**, 575, 91–105

MNiSW 9 p.

Indywidualny wkład: autor korespondencyjny, autor wniosku o finansowanie badań, kierownik projektu badawczego, w ramach którego prowadzono badania, koncepcja pracy, wiodący udział w planowaniu doświadczeń, przeprowadzeniu badań, sformułowaniu wniosków i przygotowaniu manuskryptu (80%)

H3. **Samborska Katarzyna**, Czelejewska Monika. 2014. The influence of thermal treatment and spray drying on the physico-chemical properties of Polish honeys. **Journal of Food Processing and Preservation**, 38, 413–419

IF 0,938, MNiSW 20 p.

Indywidualny wkład: autor korespondencyjny, autor wniosku o finansowanie badań, kierownik projektu badawczego, w ramach którego prowadzono badania, koncepcja pracy, wiodący udział w planowaniu doświadczeń, przeprowadzeniu badań, sformułowaniu wniosków i przygotowaniu manuskryptu (80%)

H4. **Samborska Katarzyna**, Langa Elwira, Kamińska-Dwórznicza Anna, Witrowa-Rajchert Dorota. 2015. The influence of sodium caseinate on the physical properties of spray dried honey. *International Journal of Food Science and Technology*, 50, 256-262

IF 1,504, MNiSW 25 p.

Indywidualny wkład: autor korespondencyjny, autor wniosku o finansowanie badań, kierownik projektu badawczego, w ramach którego prowadzono badania, koncepcja pracy, wiodący udział w planowaniu doświadczeń, przeprowadzeniu badań, sformułowaniu wniosków i przygotowaniu manuskryptu (75%)

H5. **Samborska Katarzyna**, Langa Elwira, Bakier Sławomir. 2015. Changes in the physical properties of honey powder during storage. *International Journal of Food Science and Technology*, 50, 1359-1365

IF 1,504, MNiSW 25 p.

Indywidualny wkład: autor korespondencyjny, autor wniosku o finansowanie badań, kierownik projektu badawczego, w ramach którego prowadzono badania, koncepcja pracy, wiodący udział w planowaniu doświadczeń, przeprowadzeniu badań, sformułowaniu wniosków i przygotowaniu manuskryptu (75%)

H6. **Samborska Katarzyna**, Sokołowska Paulina, Szulc Karolina. 2017. Diafiltration and agglomeration as methods to improve the properties of honey powder obtained by spray drying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 39, 33-41

IF* 3,758; MNiSW 40 p.

Indywidualny wkład: autor korespondencyjny, autor wniosku o finansowanie badań, kierownik projektu badawczego, w ramach którego prowadzono badania, koncepcja pracy, wiodący udział w planowaniu doświadczeń, przeprowadzeniu badań, sformułowaniu wniosków i przygotowaniu manuskryptu (80%)

H7. **Samborska Katarzyna**, Śledź Magdalena, Witrowa-Rajchert Dorota. Sposób suszenia miodu. Patent PL-222559 opublikowany dn. 31.08.2016 r. WUP 08/16.

MNiSW 25 p.

Indywidualny wkład: autor wniosku o finansowanie badań, kierownik projektu badawczego, w ramach którego prowadzono badania, koncepcja pracy, wiodący udział w planowaniu doświadczeń, przeprowadzeniu badań, sformułowaniu wniosków i przygotowaniu wniosku patentowego (80%)

Sumaryczny IF prac stanowiących podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego wynosi **8,383**, suma punktów według punktacji MNiSW, obliczonej według roku publikacji, wynosi **159**

* IF za 2017 rok nie został obliczony, w związku z tym podany jest 5-letni IF

5. Syntetyczne omówienie publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego

5.1. Wstęp

Miód pszczeli, spożywany ze względu na swój wyjątkowy smak i aromat, charakteryzuje się ponadto licznymi właściwościami prozdrowotnymi. Leczenie produktami pszczelimi stanowi oparty na nauce dział medycyny określany apiterapią. W swej naturalnej formie, w wyniku wysokiej lepkości i gęstości, miód ma jednak niekorzystne cechy, powodujące trudności w transporcie, obrocie i dozowaniu (Cui i wsp. 2008, Shi i wsp. 2013, **H3**). Ponadto, miód jako przesycony roztwór glukozy, ulega spontanicznej krystalizacji, w wyniku której wytwarzają się korzystne warunki do rozwoju drożdży i fermentacji pogarszającej jakość produktu (Bhanardi i wsp. 1999, Hebbar i wsp. 2008, **H1**). Miód skryształizowany często jest traktowany przez konsumentów jako produkt gorszej jakości. Otrzymanie miodu w postaci sproszkowanej mogłoby w znacznym stopniu zniwelować te problemy, jak również mogłoby przyczynić się do stworzenia producentom nowych możliwości zagospodarowania tego cennego produktu.

Suszenie miodu, prowadzące do otrzymania materiału w postaci proszku, jest alternatywną metodą jego utrwalania stwarzającą wiele nowych możliwości zastosowania. Miód w proszku ma wiele zalet, m.in. jest łatwy w dozowaniu, mieszaniu i transporcie, nadaje się do zastosowania w przemyśle spożywczym, zielarskim i farmaceutycznym (Hebbar i wsp. 2008, Sahu 2008, **H4**). Proszek miodowy mógłby być przeznaczony do bezpośredniej konsumpcji, jako dodatek do szeregu produktów spożywczych, np. jogurtów, napojów, sosów, powłok jadalnych, jak również do suplementów diety i preparatów wspomagających leczenie. W literaturze można znaleźć przykłady zastosowania proszku miodowego w funkcji dodatku technologicznego poprawiającego jakość produktów spożywczych, np. zastosowany jako zamiennik cukru w czasie wypieku produktów cukierniczych lub do mięsa z indyka jako substancja przeciwutleniająca wpływająca na polepszenie jakości i wydłużenie trwałości produktów (Ram 2011, Antony i wsp. 2006).

Jednakże, jak dotąd, nie ma o ofercie producentów żywności miodu suszonego o korzystnych właściwościach fizycznych i wysokiej zawartości „miodu w miodzie”. Wynika to z faktu, iż miód, jako substancja o dużej zawartości cukrów prostych, jest materiałem, który mimo ciągłego postępu badań naukowych wciąż sprawia kłopoty w czasie suszenia. Z racji składu chemicznego naturalnego miodu, warunkującego niską temperaturę przemiany szklistej T_g tego produktu, w czasie suszenia występuje szereg niekorzystnych zjawisk, takich jak: pozostawanie materiału w formie syropu nawet przy niskich zawartościach wody, obklejanie komory suszarki i armatury powstającym proszkiem w wyniku jego wysokiej higroskopijności (Truong i wsp. 2005, Shi i wsp. 2013, **H1**, **H4**). Stan, w jakim występuje materiał w czasie suszenia rozpyłowego wynika z zależności między temperaturą produktu i temperaturą przemiany szklistej T_g . Aby możliwe było wysuszenie, materiał musi występować w formie szklistej. Zależności te przedstawiono szczegółowo we wstępie zawartym w publikacji **H1**.

Ze względu na te problemy, jak dotąd nie było w doniesieniach naukowych przykładów suszenia miodu, w których otrzymano proszek miodowy o zawartości „miodu w miodzie” powyżej 50%. Dotychczas, głównym sposobem na uniknięcie szeregu niekorzystnych zjawisk, pojawiających się w czasie suszenia miodu (lub innych materiałów o wysokiej zawartości cukrów prostych, jak np. soki owocowe), było

zastosowanie dodatku substancji podwyższających T_g , tzw. nośników, takich jak skrobia, maltodekstryna, guma arabska. Jednakże, wiąże się to z wprowadzaniem do naturalnego produktu substancji dodatkowej, więc po odtworzeniu tak wysuszonego materiału nie można go już nazwać „naturalnym” lub „100 procentowym”.

Dlatego, w moich badaniach, po określeniu wpływu parametrów suszenia rozpyłowego oraz rodzaju i zawartości nośnika na wydajność suszenia oraz właściwości fizyczne otrzymanych proszków, zaproponowałam zastosowanie substancji pomocniczej (kazeinianu sodu) oraz 2 rodzaje obróbki wstępnej miodu przed suszeniem rozpyłowym (obróbkę enzymatyczną oraz diafiltracyjną), które z różnym powodzeniem pozwoliły na obniżenie ilości dodawanego nośnika i poprawę właściwości fizycznych proszków. Zarówno obróbka enzymatyczna, jak i diafiltracyjna miodu, jako zabiegi wstępne przed suszeniem, nie były dotychczas notowane w literaturze przedmiotu. Również zagadnienie aktywności enzymatycznej miodu, wpływającej istotnie na jego właściwości prozdrowotne, było pomijane w, i tak nielicznych, publikacjach nt. suszenia miodu.

Zagadnienia te stały się dla mnie założeniami do realizacji kilkuletnich badań, prowadzonych w większości w ramach grantu własnego NCN N312 267 140, którego byłam kierownikiem.

Cykl publikacji stanowiący osiągnięcie naukowe obejmuje wyniki badań dotyczących:

- wpływu parametrów suszenia rozpyłowego miodu, rodzaju i zawartości zastosowanego nośnika na przebieg suszenia oraz właściwości fizyczne otrzymywanych proszków (p. 5.2, publikacje **H1**, **H2**, **H3**),
- wpływu działania podwyższonej temperatury (w trakcie obróbki cieplnej oraz suszenia rozpyłowego) na aktywność enzymatyczną miodów (p. 5.3, publikacje **H2** i **H3**),
- wpływu substancji pomocniczej (kazeinianu sodu) na przebieg suszenia rozpyłowego miodów oraz właściwości fizyczne otrzymanych proszków (p. 5.4, publikacja **H4**),
- możliwości obniżenia zawartości nośnika w suszonym miodzie poprzez obróbkę wstępną surowca przed suszeniem za pomocą oksydazy glukozowej (p. 5.5, patent **H7**) oraz za pomocą diafiltracji (p. 5.6, publikacja **H6**),
- możliwości wytworzenia nowych produktów na bazie „suszonego miodu” z równoczesnym polepszeniem ich właściwości fizycznych poprzez aglomerację (p. 5.7, publikacja **H6**),
- wpływu przechowywania na właściwości suszonych miodów (p. 5.8, publikacje **H2**, **H5** i **H6**),

których celem było uzyskanie „miodu w proszku” o korzystnych właściwościach fizycznych (niskiej zawartości i aktywności wody, dobrej sypkości, zwilżalności i rozpuszczalności), wysokiej aktywności enzymatycznej, możliwie jak najniższej zawartości dodanego nośnika, a także stabilnego w czasie przechowywania, poprzez zastosowane zabiegów wstępnych oraz suszenia rozpyłowego przebiegającego z jak najwyższą wydajnością.

Metodyka – krótka charakterystyka

Miód przeznaczony do badań (wielokwiatowy, rzepakowy, gryczany) pochodził bezpośrednio z pasiek zlokalizowanych w woj. mazowieckim i podlaskim. Zawartość wody oraz liczbę diastazową miodów oznaczałam według PN-88/A-77626. Suszenie rozpyłowe roztworów miodu przeprowadzałam w laboratoryjnej suszarce ANHYDRO Lab 1 (Dania). **Przebieg suszenia** opisywałam na podstawie ilości i wyglądu otrzymanego proszku lub też określałam wydajność suszenia na podstawie masy suchej substancji proszku odzyskanego po suszeniu (w literaturze anglojęzycznej parametr ten nazywany jest wydajnością – *yield* lub odzyskiem proszku – *powder recovery*). **Morfologię i wielkość cząstek** określałam na podstawie zdjęć wykonanych za pomocą mikroskopu stereoskopowego lub skaningowego (TM3000 Hitachi, FEI QUANTA 200), wyznaczając rozkład wielkości cząstek oraz skumulowany rozkład wielkości cząstek z zastosowaniem komputerowej analizy obrazu (oprogramowanie Multiscan). **Zawartość wody** oznaczałam metoda suszarkową, a **aktywność wody** w aparacie Hygroskop DT (ROTRONIC). **Sypkość** proszków charakteryzowałam na podstawie: wartości współczynnika Hausnera wyznaczonego w oparciu o wartości **gęstości nasypowej luźnej i utręzionej** (oznaczone za pomocą objętościomierza wstrząsowego STAV 2003, Engelsman GA, lub ręcznego ustukiwania proszku w cylindrze miarowym) oraz kąta naturalnego nasypu. **Gęstość pozorną** cząstek oznaczałam za pomocą piknometru helowego STEREOCYCNOMETER (Quantachrome). **Higroskopijność** określałam na podstawie przyrostu masy próbek proszków przetrzymywanych w środowisku o wilgotności względnej 75% (nasycony roztwór NaCl) i temperaturze 25°C. **Zwilżalność** określałam jako czas potrzebny do zwilżenia określonej ilości proszku w wodzie. **Rozpuszczalność** oznaczałam na podstawie ilości suchej substancji, która rozpuściła się po określonym czasie homogenizacji z wodą próbki proszku o znanej zawartości suchej substancji.

5.2. Wpływ parametrów suszenia rozpyłowego miodu, rodzaju i zawartości zastosowanego nośnika na przebieg suszenia oraz właściwości fizyczne otrzymywanych proszków

W publikacjach **H1** i **H2** przedstawiłam wyniki badań nad zastosowaniem różnych parametrów suszenia rozpyłowego (zmienna temperatura powietrza wlotowego i prędkość obrotowa dysku rozpylającego) wodnych roztworów miodu wielokwiatowego z dodatkiem maltodekstryny niskoscukrzanej, gumy arabskiej i dekstryny o różnym stężeniu oraz zawierających różny stosunek wagowy miodu do nośnika. Przeprowadziłam próbę uzyskania proszku miodowego o zawartości miodu ponad 50% s.s. Obserwowałam przebieg procesu suszenia i oznaczałam następujące właściwości fizyczne proszków: zawartość i aktywność wody, gęstość nasypową luźną i utręzioną (z tych wartości wyznaczano współczynnik Hausnera) gęstość pozorną, higroskopijność, rozpuszczalność i zwilżalność.

W badaniach przedstawionych w publikacji **H1** suszenie prowadziłam w temperaturze powietrza wlotowego 180°C, przy szybkości zasilania surowcem 1 cm³/s i prędkości obrotowej dysku rozpylającego 39 tys. obr/min. Badałam wpływ rodzaju nośnika (maltodekstryna niskoscukrzona, guma arabska lub ich mieszanina 1:1), stężenia suszonego roztworu (20 lub 30%) oraz stosunku wagowego miodu do nośnika w roztworze (2:1, 1:1, 1:2) na przebieg suszenia oraz właściwości proszków. Pierwszym wybranym nośnikiem była maltodekstryna niskoscukrzona, która jest najczęściej stosowana jako nośnik do suszenia rozpyłowego różnych materiałów, w tym soków owocowych i miodu (Domian i Bialik 2006, Papadakis i wsp. 2006, Janiszewska

i wsp. 2008, Ruiz-Cabrera i wsp. 2009, Weerachet i wsp. 2010, Goula i Adamopoulos 2010). Początkowo suszyłam roztwory zawierające 20 i 30% s.s., o stosunku wagowym s.s. miodu do maltodekstryny 1:2 (a więc proszek zawierał w s.s. 67% nośnika). Suszenie w tych wariantach przebiegło bez zakłóceń, produkt miał postać białego proszku o zawartości wody 5,4%, gęstości nasypowej luźnej $0,33 \text{ g/cm}^3$, higroskopijności 72 i 85 g $\text{H}_2\text{O}/100 \text{ g}$ (odpowiednio suszenie roztworu 20 i 30%, różnica nieistotna statystycznie), czasie zwilżania odpowiednio 57 i 54 s. (różnica nieistotna statystycznie). Proszki te, o wartości współczynnika Hausnera poniżej 1,25, scharakteryzowałam jako materiały o niskiej kohezji i dobrej sypkości. Ponieważ dąży się do zmniejszenia zawartości nośnika w otrzymanym produkcie, kolejne warianty suszenia charakteryzowały się stosunkiem wagowym s.s. miodu do nośnika 1:1 (zawartość s.s. w roztworach tak jak poprzednio 20 i 30%). Proszki otrzymane w tych wariantach były bardziej zbite, część miała bardzo wyraźne kryształy, natomiast część występowała w postaci grudek. Miały one bardziej charakterystyczną dla miodu barwę – żółtą. Jednak suszenie przebiegało ze znacznie niższą wydajnością niż w wariantach o większej zawartości maltodekstryny. Zawartość wody w tych proszkach (2,7 i 3,7%, odpowiednio w przypadku suszenia roztworu 20 i 30%) była niższa, a gęstość nasypowa luźna wyższa ($0,55 \text{ g/cm}^3$) w porównaniu z uzyskanymi poprzednio z zastosowaniem wyższego dodatku maltodekstryny. Higroskopijność pozostała na niezmiennym poziomie (różnice nieistotne statystycznie), a zwilżalność uległa poprawie i osiągnęła wartość charakterystyczną dla proszków typu instant (5 s). Również istotnie statystycznie niższe wartości współczynnika Hausnera (1,05 i 1,06) wskazywały na lepsze właściwości tych proszków. Na pierwszy rzut oka, takie wyniki wydają się być paradoksem, ponieważ wskazują na lepsze właściwości fizyczne proszków zawierających więcej miodu. Jednakże, występowała tu korelacja między mniejszą zawartością wody a niższą wartością współczynnika Hausnera (a więc lepszą sypkością) i lepszą zwilżalnością. Jest to zależność często podawana przez autorów publikacji nt. właściwości proszków (Scoville i Peleg 1981, Domian i Poszytek 2005, Moreira i wsp. 2009, Crouter i Briens 2014, Patil i wsp. 2014). Ponadto, wiadomo również z literatury, że czynnikiem, który w znacznym stopniu wpływa na właściwości funkcjonalne proszków, takie jak sypkość i zwilżalność, jest wielkość cząstek. Proszki o większych cząstkach zazwyczaj mają lepszą sypkość i zwilżalność (Fitzpatrick 2005, Jinapong i wsp. 2008, Szulc i Lenart 2012). Z moich późniejszych badań wynika, że zwiększanie ilości miodu w stosunku do ilości nośnika prowadziło do zwiększania rozmiarów cząstek (publikacje **H6** i **H7**), co prawdopodobnie nastąpiło też w przypadku omawianych badań. Z tego mogła również wynikać poprawa właściwości funkcjonalnych proszków otrzymanych po obniżeniu ilości dodawanej maltodekstryny. Podobne zależności zaobserwowano w przypadku zastosowania do suszenia gumy arabskiej, tzn. zmniejszenie ilości nośnika a zwiększenie ilości miodu ponownie skutkowało poprawą sypkości i zwilżalności. Jednakże, zmniejszenie ilości gumy arabskiej nastąpiło z poziomu 1:1 do 1:2, czyli początkowo suszyłam roztwory (20 i 30% s.s.), zawierające 50%, a następnie 67% miodu w s.s. Taki plan badań wynikał z analizy danych literaturowych. Wiadomo bowiem, że guma arabska jako nośnik ma równie dobre (lub lepsze) właściwości jak maltodekstryna, charakteryzuje się jednak dużo wyższą ceną (La Bell 1993). Proszki otrzymane po suszeniu miodu z gumą arabską w stosunku 1:1 (50% miodu w s.s.) miały podobny wygląd do otrzymanych z maltodekstryną, ale o zwiększonej zawartości nośnika (33% miodu w s.s.). Suszenie przebiegało z największą wydajnością, dlatego w kolejnym etapie obniżyłam dodatek gumy arabskiej do poziomu 33% w s.s. (stosunek wagowy miodu do gumy arabskiej

2:1). Suszenie nadal przebiegało bez zakłóceń, nie obserwowano też pogorszenia wyglądu proszków, nie występowały zbrylenia oraz grudki tak jak w przypadku obniżenia ilości maltodekstryny. Pozwoliło to stwierdzić, że guma arabska, jako nośnik do suszenia miodu, ma zdecydowanie lepsze właściwości od maltodekstryny, ponieważ możliwe jest otrzymanie produktu o większej zawartości „miodu w miodzie”. W dalszym etapie badań charakteryzowałam właściwości fizyczne proszków otrzymanych na bazie gumy arabskiej. Zawartość wody była wyższa niż w przypadku proszków na bazie maltodekstryny, i wynosiła odpowiednio około 7,2 i 4,8%, w przypadku proszków o zawartości odpowiednio 50 i 67% miodu w s.s. Podobnie jak w przypadku zastosowania maltodekstryny, obserwowałam zmniejszenie się zawartości wody oraz zwiększenie gęstości nasypowej luźnej po obniżeniu ilości dodawanego nośnika. Równocześnie stwierdziłam, że wyższej zawartości wody w badanych proszkach odpowiadała niższa wartość gęstości nasypowej luźnej. Było to zgodne z obserwacjami Janiszewskiej i wsp. (2008), którzy podali, że wyższa zawartość wody w proszkach powoduje łączenie się cząstek w większe skupiska, co z kolei powoduje powstawanie większej ilości wolnych przestrzeni między cząsteczkami i zmniejszanie gęstości nasypowej. Sypkość proszków otrzymanych na bazie gumy arabskiej również polepszała się, paradoksalnie, po zwiększeniu ilości miodu w s.s. proszku. Podobnie jak poprzednio, można to tłumaczyć mniejszą zawartością wody lub prawdopodobnie większymi rozmiarami cząstek. Higroskopijność i zwilżalność proszków otrzymanych z gumą arabską, zawierających 50% miodu w s.s., była najgorsza wśród wszystkich wariantów suszenia, lecz uległa poprawie po zmniejszeniu zawartości nośnika. Zwilżalność w tym wariantcie była zbliżona do 50% proszku na bazie maltodekstryny, lecz higroskopijność pozostała na istotnie wyższym poziomie. W końcowym etapie tej części badań przeprowadziłam również suszenie, stosując jako nośnik mieszaninę gumy arabskiej i maltodekstryny w stosunku 1:1 (zawartość miodu w s.s. roztworu i proszku 50%), aby połączyć korzystne cechy gumy arabskiej jako nośnika z korzystnymi cechami fizycznymi oraz niższą ceną proszków na bazie maltodekstryny. Suszenie w tym wariantcie przebiegało bez zakłóceń, z wysoką wydajnością, otrzymano proszki o dobrej sypkości i zwilżalności. Jednakże, ich higroskopijność pozostała na wysokim poziomie, charakterystycznym dla proszków na bazie samej gumy arabskiej.

Reasumując, w tym etapie badań stwierdziłam, że metodą suszenia rozpyłowego można otrzymać proszki miodowe o korzystnych właściwościach fizycznych. Zastosowanie gumy arabskiej pozwoliło na otrzymanie proszku miodowego zawierającego więcej „miodu w miodzie” (67% w s.s.) niż użycie maltodekstryny, lecz proszki na bazie gumy arabskiej charakteryzowały się gorszymi właściwościami fizycznymi: wyższą zawartością wody i higroskopijnością oraz gorszą sypkością. Zaobserwowałam polepszanie się właściwości fizycznych proszków miodowych po zmniejszeniu udziału nośnika w s.s.

Właściwości fizyczne proszków miodowych (miód wielokwiatowy) na bazie maltodekstryny niskoscukrzoney i dekstryny, otrzymane po suszeniu rozpyłowym przy różnych parametrach suszenia (temperatura powietrza wlotowego 160 i 200°C, prędkość obrotowa dysku rozpylającego 32 i 38 tys. obr/min) badałam w kolejnym etapie badań, a ich wyniki przedstawiłam w publikacji **H2**. Zawartość wody w otrzymanych proszkach była niższa niż przedstawiona w publikacji **H1**, i wynosiła od 1,0 do 2,1%, a aktywność wody od 0,055 do 0,125. Zbliżony poziom zawartości wody w suszonym rozpyłowo proszku miodowym prezentowałam wcześniej w publikacji **7** (p. 6.2.1), podany był również przez Nurhadi i wsp. (2012). Wzrost temperatury

powietrza wlotowego powodował zmniejszenie zawartości wody w proszkach, jednakże, różnice te były nieistotne statystycznie. Również rodzaj nośnika nie wpłynął istotnie na zawartość oraz aktywność wody, w przeciwieństwie do zmniejszenia prędkości obrotowej dysku rozpylającego, które powodowało zwiększenie zawartości wody w proszkach. Zależność taka wynikała ze zwiększenia wielkości powstających kropeł i cząstek proszku, czego potwierdzeniem były zdjęcia cząstek wykonane pod mikroskopem stereoskopowym. Zwiększanie wielkości cząstek proszku po suszeniu rozpyłowym przy mniejszej prędkości obrotowej dysku obserwowali również Soottitawantaw i wsp. (2005) oraz Rodriguez-Hernandes i wsp. (2005), w badaniach których również wpłynęło to na zwiększenie zawartości wody w proszkach w wyniku pogorszenia warunków wymiany ciepła i masy. Chegini i Ghobadian (2005) oraz Goula i Adamopoulos (2005) stwierdzili, że wielkość kropeł w czasie suszenia (a więc i wielkość otrzymanych cząstek) wpływa na końcową zawartość wody w proszku. Im mniejsze są rozmiary kropeł, tym więcej wody zostaje z nich odparowane. Wynika to z większej powierzchni kontaktu z czynnikiem grzewczym, większej powierzchni parowania oraz mniejszej odległości jaką musi pokonać woda z wnętrza cząstki do powierzchni. Gęstość nasypowa proszków była na podobnym poziomie jak w publikacjach **H1** i **8** (p. 6.2.1) oraz pracach Goula i Adamopoulos (2010) i Rao i Gupta (2002) w przypadku soku pomarańczowego suszonego z maltodekstryną. Podobnie jak w publikacji **H1**, wartości współczynnika Hausnera były niższe niż 1,25, co charakteryzuje proszki o dobrej sypkości. Istotnie statystycznie wyższą wartość tego współczynnika (lecz wciąż poniżej 1,25) obserwowano w wariacie suszenia z dekstryną w temperaturze 160°C, w którym również zanotowano najwyższą wartość higroskopijności. Najniższą higroskopijność obserwowano w wariantach suszenia z zastosowaniem obniżonej prędkości obrotowej dysku, co prawdopodobnie wynikało z większych rozmiarów cząstek oraz większej zawartości wody tych proszków. Zwiększenie rozmiarów cząstek powoduje zmniejszenie całkowitej powierzchni, przez którą może być pochłaniana woda, a wyższa zawartość wody wpływa na zmniejszenie siły napędowej procesu adsorpcji – oba te czynniki skutkowały zmniejszoną higroskopijnością. Wszystkie otrzymane proszki były całkowicie rozpuszczalne w wodzie, jednakże czas rozpuszczania (od 28 do 148 s) zależał od rodzaju nośnika (proszki na bazie maltodekstryny były lepiej rozpuszczalne) oraz parametrów suszenia. W publikacji **H2** badano również aktywność enzymatyczną proszków miodowych oraz zmiany ich właściwości fizycznych w czasie przechowywania. Wyniki te przedstawiono w punktach 5.3 oraz 5.8.

Reasumując, w tym etapie badań stwierdziłam, że proszki miodowe otrzymane na bazie maltodekstryny i dekstryny, przy różnych parametrach suszenia rozpyłowego, miały korzystne właściwości fizyczne: niską zawartość i aktywność wody, dobrą rozpuszczalność i sypkość. Proszki na bazie dekstryny charakteryzowała większa higroskopijność i gorsza rozpuszczalność.

W kolejnej publikacji **H3**, której część stanowiło badanie właściwości fizycznych proszków otrzymanych po suszeniu rozpyłowym miodu rzepakowego i wielokwiatowego z dodatkiem gumy arabskiej, potwierdzono możliwość uzyskania proszków miodowych o niskiej zawartości wody i średniej lub dobrej sypkości (wartość współczynnika Hausnera 1,24 i 1,29). Na podstawie komputerowej analizy obrazu zdjęć cząstek proszków wykonanych pod mikroskopem stereoskopowym wyznaczano rozkład wielkości cząstek oraz skumulowany rozkład wielkości cząstek. Cząstki charakteryzowały się kulistymi kształtami o różnej wielkości. Proszek otrzymany po suszeniu miodu rzepakowego miał większe cząstki (najczęstsza średnica 8,4 µm) niż

uzyskany po suszeniu miodu wielokwiatowego (najczęstsza średnica 6,2 μm). Ponownie obserwowano większą zawartość wody w proszkach mających większe cząstki (zawartość wody wynosiła odpowiednio 7,3 i 7,1%).

5.3. Wpływ działania podwyższonej temperatury (w trakcie obróbki cieplnej oraz suszenia rozpyłowego) na aktywność enzymatyczną miodów

Zagadnienie aktywności enzymatycznej proszków miodowych jest ważne z punktu widzenia określenia wpływu suszenia na aktywność biologiczną miodu, która jest jednym z ważniejszych wyróżników jakości tego produktu. Jednakże, wśród kilkunastu prac na temat suszenia miodu opublikowanych w czasopismach naukowych w ciągu ostatniej dekady, zaledwie w jednej (nie będącej mojego autorstwa) autorzy prezentowali, jaka była aktywność enzymów amyloolitycznych w proszkach miodowych. Nurhadi i wsp. (2012) podali wartości liczby diastazowej proszków miodowych otrzymanych metodą suszenia rozpyłowego oraz konwekcyjnego pod obniżonym ciśnieniem z dodatkiem gumy arabskiej i maltodekstryny. Jednakże, według mojej opinii, sposób prezentacji metodyki badań oraz wyników w tej publikacji budzi wiele wątpliwości (*objaśnienia poniżej*). Podjęta przeze mnie próba określenia aktywności enzymów amyloolitycznych w proszkach miodowych miała na celu uzupełnienie charakterystyki proszków miodowych o ten ważny wskaźnik jakości. Pierwsze wyniki w tym zakresie zaprezentowałam w publikacji **H2**, jednakże wnioskiem z tych badań było stwierdzenie, że zastosowana metoda oznaczenia wymaga dalszych udoskonaleń (otrzymywane wyniki charakteryzowały się bardzo dużymi odchyleniami standardowymi). Trudność w oznaczeniu aktywności enzymów amyloolitycznych w tych badaniach wynikała, według mnie, głównie z faktu, że nośnikami zastosowanymi do suszenia była dekstryna i maltodekstryna, będące również substratami reakcji katalizowanej przez badane enzymy amyloolityczne. W powyżej cytowanej pracy Nurhadi i wsp. (2012) nie opisali w ogóle metodyki oznaczenia liczby diastazowej, podali jedynie miejsce wykonania badań. Brak również informacji, w jaki sposób potraktowano nośnik-maltodekstrynę, która jest równocześnie substratem reakcji. Wyniki oznaczeń również budzą wątpliwości, ponieważ wartości podane są bez odchyżeń standardowych, a wartość liczby diastazowej w przypadku miodu świeżego jest niższa niż w przypadku proszku miodowego suszonego rozpyłowo. Według mnie, brak wyników na temat aktywności enzymatycznej miodów w publikacjach nt. jego suszenia lub prezentowanie wyników budzących wątpliwości, wskazują na dalszą potrzebę prac w tym zakresie i udoskonalenia metodyki oznaczenia. Dlatego w kolejnej pracy **H3**, w której planowałam porównanie wpływu działania podwyższonej temperatury w czasie tradycyjnej obróbki cieplnej z działaniem podwyższonej temperatury w czasie suszenia rozpyłowego na aktywność enzymatyczną miodu wielokwiatowego i rzepakowego, jako nośnik do suszenia rozpyłowego zastosowałam gumę arabską, która nie zakłócała oznaczenia liczby diastazowej. Ponadto, aby możliwe było porównanie wartości pomiędzy miodem świeżym a suszonym, w czasie przygotowywania roztworu miodu z proszku wzięłam pod uwagę obecność 50% nośnika w suchej substancji proszku. Ponieważ do przygotowania roztworu, z którego oznacza się liczbę diastazową miodu (według PN), odważa się 10 g miodu świeżego, w przypadku proszków odważałam taką ilość materiału, w której znajdowała się taka sama ilość suchej substancji pochodzącej z miodu jak w 10 g miodu świeżego. Pod uwagę brałam zawartość suchej substancji w miodzie świeżym oraz w proszku. Otrzymane wyniki były powtarzalne. Stwierdziłam, że obecność gumy arabskiej nie zakłócała oznaczenia. Wartość liczby diastazowej

miodów suszonych porównałam z odpowiednimi wartościami miodów świeżych oraz poddanych obróbce cieplnej w temperaturze 50, 70 i 90°C przez 15, 30, 60 i 120 min. Suszenie rozpyłowe prowadziłam przy temperaturze powietrza wlotowego 180°C, a temperatura powietrza wylotowego wynosiła 70°C. Był to celowy zamysł, aby porównać wpływ obróbki cieplnej w tej samej temperaturze, w jakiej przebywał materiał w czasie suszenia rozpyłowego. Zgodnie z teorią przedstawioną przez Masters'a (1991), temperatura materiału w czasie suszenia rozpyłowego, w wyniku tzw. efektu chłodzącego odparowania, osiąga co najwyżej temperaturę powietrza wylotowego. Oznaczano także zawartość HMF w proszkach miodowych oraz próbkach poddanych obróbce cieplnej.

Liczba diastazowa świeżego miodu rzepakowego wynosiła $17,9 \pm 1,4$, a wielokwiatowego $38,5 \pm 3,5$. Zwiększanie temperatury oraz wydłużanie czasu ogrzewania miodów w czasie obróbki cieplnej wywoływało obniżenie liczby diastazowej oraz wzrost zawartości HMF. Enzymy amylolityczne zawarte w miodzie rzepakowym były bardziej wrażliwe na ogrzewanie. Dawka ciepła, przy której liczba diastazowa przestała spełniać normy zawarte w Codex Alimentarius, Dyrektywie Rady Unii Europejskiej oraz Polskiej Normie (minimalna wymagana wartość liczby diastazowej to 8) to 70°C/120 min, natomiast w przypadku miodu wielokwiatowego było to 90°C/30 min, co mogło również częściowo wynikać z niższej wartości początkowej. Zastosowanie temperatury 70°C, a więc takiej samej jak temperatura materiału w czasie suszenia rozpyłowego, spowodowało obniżenie wartości liczby diastazowej miodu wielokwiatowego już po 15 min, a miodu rzepakowego dopiero po 60 min obróbki cieplnej.

Zawartość HMF w obu odmianach miodu świeżego, wielokwiatowym (12,4 mg/kg) oraz rzepakowym (1,8 mg/kg) była zgodna z wymaganiami stawianymi przez PN-88/A-77626 (maksymalnie 30 mg/kg) oraz Codex Alimentarius i Dyrektywę Rady Unii Europejskiej (dopuszczalna zawartość 40 mg/kg). Działanie podwyższonej temperatury powodowało stopniowy wzrost zawartości HMF w miodach, jednak dawka ciepła, którą trzeba było dostarczyć do obu odmian miodów, aby przekroczona została dopuszczalna wartość wyznaczona przez Dyrektywę Rady Europy (40 mg/kg), to 90°C/120 min. Wartość dopuszczalną przez PN miód wielokwiatowy przekroczył po ogrzaniu w 90°C w czasie 60 min, natomiast miód rzepakowy po ogrzaniu w 90°C przez 120 min.

Suszenie rozpyłowe miodu wpłynęło na wzrost zawartości HMF w obu odmianach miodów: w wielokwiatowym wartość HMF po suszeniu wzrosła z 12,4 mg/kg do 23,3 mg/kg, a w rzepakowym z 1,8 do 47,1 mg/kg, co stanowiło 26-krotność wartości miodu świeżego, tak więc można stwierdzić, że pod względem tworzenia się HMF w czasie suszenia, miód rzepakowy jest bardziej wrażliwy na ogrzewanie. Podczas suszenia rozpyłowego czas kontaktu materiału z gorącym powietrzem był bardzo krótki, jednak nastąpił większy wzrost zawartości HMF niż podczas obróbki termicznej prowadzonej w tej samej temperaturze (70°C), nawet przez 120 minut. W miodzie wielokwiatowym suszonym wartość HMF była większa o prawie 5 mg/kg, natomiast w miodzie rzepakowym o około 37 mg/kg niż w próbce ogrzewanej w 70°C przez 120 minut.

Liczba diastazowa miodów suszonych rozpyłowo pozostała na takim samym poziomie jak w miodach świeżych. Jak wcześniej wspomniano, obróbka termiczna miodu wielokwiatowego w tej samej temperaturze, co temperatura materiału w czasie suszenia rozpyłowego (70°C) powodowała obniżenie liczby diastazowej już po 15 min ogrzewania, a w miodzie rzepakowym obniżenie nastąpiło po 60 min. Czas kontaktu materiału z podwyższoną temperaturą w czasie suszenia rozpyłowego wynosi kilka-

kilkanaście sekund, a więc był zbyt krótki, aby spowodować inaktywację enzymów amylolitycznych. W moich innych badaniach prezentowałam wyniki nt. suszenia rozpyłowego preparatu enzymatycznego α -amylazy z *Aspergillus oryzae* (publikacje **13-15**, p. 6.2.2) oraz pektynometyloesterazy z *Aspergillus aculeatus* (publikacja **20**, p. 6.2.2) i stwierdziłam, że suszenie rozpyłowe można z powodzeniem stosować do odwadniania materiałów wrażliwych na ciepło, czyli także enzymów. Jest to związane z krótkim czasem suszenia, ale też szybkim usunięciem wody z materiału, zwiększającym stabilność termiczną enzymów (poprzez zmniejszenie swobody zmian konformacyjnych cząsteczek białek). Tę zależność, zwiększania termostabilności w warunkach obniżonej zawartości i aktywności wody, badałam również w przypadku α -amylazy z *Aspergillus oryzae* (publikacje **1** i **2**, p. 6.1), lecz z literatury wiadomo, że jest to ogólna właściwość enzymów (Meerdink i Van't Riet, 1991; Saraiva i wsp. 1996, Teebiznik i wsp. 1997).

Reasumując ten etap badań, można stwierdzić, że podczas suszenia rozpyłowego, kiedy następuje bardzo szybkie odparowanie wody, stabilność termiczna enzymów również szybko wzrasta, co w połączeniu z bardzo krótkim czasem kontaktu z podwyższoną temperaturą stwarza dogodne warunki do otrzymania suszonego materiału (np. „miodu w proszku”) o niezmienionej aktywności enzymatycznej.

5.4. Wpływ substancji pomocniczej (kazeinianu sodu) na przebieg suszenia rozpyłowego miodów oraz właściwości fizyczne proszków

Na podstawie danych literaturowych wybrałam pierwszą z metod mogących wpłynąć na poprawę wydajności suszenia miodu oraz właściwości proszków miodowych – modyfikację powierzchniową kropel suszonego materiału przez zastosowanie niewielkiego dodatku białka. Według Adhikari i wsp. (2009b) oraz Jayasundera i wsp. (2009, 2011a), dzięki skłonności białek do migracji do granicy międzyfazowej między powietrzem i rozpylonym ciekłym materiałem oraz ich zdolności do tworzenia powierzchniowego filmu o podwyższonej T_g , mogą one zapobiegać sklejanemu się cząstek ze sobą i przyklejaniu się ich do ściany komory suszarki. Skuteczność działania maltodekstryn, jako substancji wspomagających proces suszenia, wynika również częściowo ze zdolności do tworzenia powierzchniowego filmu. Proces ten trwa jednak dłużej, a otrzymane powłoki są grubsze niż w przypadku zastosowania białek (Wang i Langrish, 2010). Ponadto, do zamiany produktów bogatych w cukry w formę sypką potrzebny jest niewielki dodatek białek w porównaniu z ilością powszechnie stosowanych nośników takich jak maltodekstryna. Przykładowo, dodatek kazeinianu sodu lub izolatów białek serwatkowych na poziomie 0,125% był wystarczający do wysuszenia rozpyłowego roztworu sacharozy, a do osiągnięcia podobnych rezultatów w porównywalnych warunkach procesu należało zastosować ponad 40% dodatek maltodekstryny (Jayasundera i wsp. 2011b).

Wyniki badań nad wpływem kazeinianu sodu (dodatek 1 lub 2%) na przebieg suszenia rozpyłowego miodu rzepakowego i gryczanego z gumą arabską jako nośnikiem oraz właściwości fizyczne proszków przedstawiłam w publikacji **H4**. W celach porównawczych przeprowadziłam również suszenie samej gumy arabskiej. Wydajność suszenia rozpyłowego wahała się, w zależności od rodzaju suszonego roztworu, od 66,2 do 75,8%, a więc spełnione było kryterium „udanego” suszenia rozpyłowego, mówiące, że wydajność prawidłowo przeprowadzonego procesu powinna być wyższa niż 50% (Bhanardi i wsp. 1997). Suszenie roztworu gumy arabskiej przebiegało z najniższą wydajnością, co tłumaczyłam możliwością wywiewania drobnych cząstek proszku podczas suszenia wraz z powietrzem wylotowym, najbardziej intensywne w przypadku tego suszenia, ze względu na najmniejsze rozmiary cząstek tego proszku.

Wielkość cząstek proszków wyznaczyłam na podstawie komputerowej analizy obrazu zdjęć cząstek proszków wykonanych pod mikroskopem skaningowym. Cząstki proszków charakteryzowały się głównie kolistymi kształtami oraz „pofalowanymi” powierzchniami. Stwierdziłam, że dodatek kazeinianu sodu do roztworów miodu powodował zwiększenie tych powierzchniowych pofałdowań, zmniejszenie sił adhezji (zgodnie z teorią przedstawioną przez Wang i Langrish, 2010), co wpływało na poprawę wydajności suszenia. Dodatek miodu do roztworów gumy arabskiej powodował powstanie proszków o większych rozmiarach. Na zdjęciach nie obserwowano obecności tak dużej ilości małych cząstek pomiędzy dużymi, a po dodatku kazeinianu sodu znów zaobserwowano ich pojawienie się i ponowne zmniejszenie rozmiarów cząstek. Zależności te świadczyły o zbliżaniu się charakterystyki proszków miodowych do charakterystyki gumy arabskiej po dodaniu do suszonych roztworów kazeinianu sodu. Zmniejszenie wielkości cząstek po dodaniu kazeinianu sodu skorelowane było ze zmniejszeniem lepkości roztworów, jednak biorąc pod uwagę fakt, że cząstki otrzymane po suszeniu roztworu gumy arabskiej o najwyższej lepkości miały najmniejsze rozmiary, stwierdziłam, że lepkość roztworów nie była najważniejszym czynnikiem decydującym o rozmiarach powstających cząstek, ważniejszym był skład chemiczny roztworów. Widoczna była tendencja wzrostu wydajności suszenia po dodaniu kazeinianu sodu do roztworów miodu, jednak analiza statystyczna nie wskazała na istotny wpływ tego czynnika. Zwiększenie ilości kazeinianu sodu z 1 do 2% nie wpływało na dalszą poprawę wydajności suszenia, co znalazło potwierdzenie w pracach Shi i wsp. (2013) oraz Adhikari i wsp. (2009).

Proszki miodowe charakteryzowały się zbliżonymi wartościami zawartości i aktywności wody oraz wzrostem gęstości nasypowej i pozornej wraz ze wzrostem dodatku białka. Proszek uzyskany poprzez suszenie gumy arabskiej bez dodatku miodu miał najwyższą zawartość wody oraz najniższą gęstość nasypową i pozorną, wynikającą ze zdolności do tworzenia nieprzepuszczalnej błony („skin forming”) na powierzchni kropli w czasie suszenia, która utrudnia odparowanie wody i powoduje zatrzymywanie powietrza wewnątrz cząstek. Proszki miodowe charakteryzowały się bardzo dobrą sypkością i niską kohezynością, a dodatek NaCas wpływał korzystnie na wartości tych parametrów.

Stwierdziłam, że dodatek 1% kazeinianu sodu, jako substancji pomocniczej w czasie suszenia miodu rzepakowego oraz gryczanego z gumą arabską, przynosi korzyści w postaci podwyższonej wydajności suszenia oraz lepszej sypkości, a dalsze zwiększanie dodatku do 2% nie przynosi zadowalających efektów ze względu na podwyższanie higroskopijności i brak wpływu na wydajność suszenia.

Badałam również zmiany właściwości tych proszków w czasie przechowywania, wyniki te przedstawiłam w publikacji **H5** oraz omówiłam je w p. 5.8 niniejszego autoreferatu.

5.5. Badanie możliwości obniżenia zawartości nośnika w suszonym miodzie poprzez obróbkę wstępną roztworów miodu za pomocą oksydazy glukozowej

Część moich badań nad suszeniem rozpyłowym miodu, dotyczącą opracowania takiej metody obróbki wstępnej miodu, która umożliwiłaby uzyskanie proszku o obniżonej zawartości nośnika, opublikowałam w postaci patentu **H7**. Cel ten został osiągnięty dzięki obniżeniu zawartości glukozy w miodzie przed suszeniem, za pomocą reakcji utlenienia glukozy katalizowanej enzymatycznie przez oksydazę glukozową. Enzym ten występuje naturalnie w miodzie. Z jego aktywności wynikają w znacznym

stopniu właściwości antybakteryjne miodu, ponieważ w czasie reakcji utleniania glukozy do kwasu glukuronowego powstaje nadtlenek wodoru o działaniu antyseptycznym. Jednakże, w nierozcieńczonym miodzie enzym charakteryzuje się niską aktywnością, dlatego do obniżenia zawartości glukozy w miodzie przed suszeniem rozpyłowym, zgodnie z metodyką zaproponowaną w patencie **H7**, wprowadzić można dodatkową ilość oksydazy glukozowej, np. pod postacią preparatu handlowego dostępnego na rynku Gluzyme Mono 10000 BG (Novozymes).

W ostatnich latach oksydaza glukozowa zyskała na znaczeniu dzięki wielu możliwościom jej zastosowania w przemyśle chemicznym, farmaceutycznym, spożywczym, biotechnologicznym. Może być z powodzeniem stosowana do usuwania glukozy i tlenu z żywności lub napojów w celu przedłużenia ich trwałości. Jednym z kierunków jej zastosowania jest wytwarzanie win o obniżonej zawartości alkoholu, dzięki usunięciu części glukozy, która dzięki temu nie ulega przemianie do alkoholu w czasie fermentacji (Bankar i wsp. 2009). Pickering i wsp. (1998) zmniejszyli fermentacyjny potencjał soku z winogron, stosując oksydazę glukozową, dzięki której zmniejszono zawartość glukozy o 87%. Nadtlenek wodoru, powstający jako produkt uboczny reakcji utleniania glukozy, ma działanie bakteriostatyczne, a jego nadmiar może być usunięty za pomocą innego enzymu – katalazy. Taki właśnie kompleks enzymatyczny jest stosowany do usuwania glukozy z masy jajecznej przed suszeniem rozpyłowym, zapobiegając zachodzeniu reakcji Maillarda, w których bierze udział glukoza (Bankar i wsp. 2009). Sisak i wsp. (2006), dzięki zastosowaniu immobilizowanej oksydazy glukozowej w 3-sekcyjnym reaktorze o działaniu ciągłym, osiągnęli całkowite usunięcie glukozy z masy białka jaj, a proszek po suszeniu rozpyłowym był również całkowicie wolny od pozostałości enzymu.

Ze względu na brak publikacji dokładnych wyników badań, w oparciu o które przygotowałam wniosek patentowy, poniżej zamieściłam bardziej szczegółowy ich opis niż w przypadku badań opublikowanych w artykułach H1-H6.

Przed rozpoczęciem obróbki enzymatycznej przygotowałam roztwory wodne miodu gryczanego o składzie zależnym od pożądanej końcowej zawartości miodu w proszku (3 warianty: proszki o zawartości miodu 50, 75 i 83% s.s.). W tak przygotowanych roztworach miodu przeprowadzałam obróbkę enzymatyczną (przez 24, 48 i 72 h), dodając odpowiednią ilość enzymu i inkubując mieszaninę w temperaturze 40°C. W czasie obróbki enzymatycznej w określonych odstępach czasu mierzyłam pH i zawartość ekstraktu. Po zakończeniu obróbki enzymatycznej do roztworów dodawałam obliczoną wcześniej ilość gumy arabskiej (spełniającej rolę nośnika) i przeprowadzałam suszenie rozpyłowe (temperatura powietrza wlotowego 180°C, wylotowego 70°C, szybkość zasilania surowcem 1 ml/s, prędkość obrotowa dysku rozpylającego 36 000 obr/min). W wariacie o zawartości miodu 50% przeprowadziłam również suszenie bez wstępnej obróbki enzymatycznej w celu porównania wydajności suszenia i właściwości fizycznych proszków powstałych z materiału wstępnie poddanego oraz niepoddanego obróbce. W otrzymanych proszkach oznaczałam następujące właściwości fizyczne: zawartość i aktywność wody, gęstość nasypową luźną, kąt nasypu, rozpuszczalność, morfologię oraz rozkład wielkości cząstek. W opisie wyników tej części badań stosowałam symbole 50, 75 i 83, określające procentowy udział suchej substancji miodu w suchej substancji proszków (litera „e” - warianty z obróbką enzymatyczną, GA - guma arabska).

Oksydaza glukozowa katalizuje reakcję utlenienia glukozy do kwasu glukuronowego, czego efektem jest obniżenie kwasowości, obserwowane jako obniżające się pH. Aktywność enzymu ulega zwiększeniu w rozcieńczonych roztworach

miodu, dlatego sporządziłam roztwory kontrolne, aby określić jaka część obniżenia pH wynikała z aktywności naturalnie występującego enzymu. Początkowe pH roztworów wynosiło 3,7, w roztworach kontrolnych (50, 75, 83) po 72 h inkubacji w temperaturze 40°C obniżyło się ono do wartości 3,2-3,3, a w roztworach z dodatkiem oksydazy glukozowej (50e, 75e, 83e) do wartości 2,8-2,9. Świadczyło to o postępującej reakcji utleniania glukozy do kwasu glukuronowego, zachodzącej znacznie intensywniej w obecności dodatkowej ilości enzymu. Wpływ na przebieg reakcji miało również rozcieńczenie roztworów: w roztworach 50 i 50e o największym rozcieńczeniu zachodziła ona najszybciej (największe obniżenie pH).

Cząstki proszków otrzymanych po suszeniu rozpyłowym miały morfologię i rozmiary charakterystyczne dla proszków otrzymywanych tą metodą. W większości wariantów najczęściej występująca średnica w rozkładzie wielkości cząstek była mniejsza niż 20 µm (Rys. 1-3). Podobnie jak w przypadku badań przedstawionych w publikacji **H4**, najmniejszymi rozmiarami charakteryzowały się cząstki gumy arabskiej suszonej bez dodatku miodu, a zwiększanie zawartości miodu prowadziło do zwiększania rozmiarów cząstek. Zwiększanie zawartości miodu prowadziło również do powstawania cząstek o mniej pofałdowanych powierzchniach oraz mających tendencję do zlepiania się, np.: cząstki proszków GA, 50 i 50e miały pofałdowane pojedyncze cząstki, a zwiększenie zawartości miodu w wariacie 75e skutkowało powstawaniem cząstek większych, bardziej gładkich i tworzących zlepiania. Porównując morfologię i wielkość cząstek otrzymanych w wariantach o tej samej zawartości miodu, poddanych i niepoddanych obróbce enzymatycznej (czyli warianty 50 i 50e), można stwierdzić, że proszki poddane obróbce enzymatycznej zbliżały się w swojej charakterystyce (morfologii i wielkości cząstek) do właściwości gumy arabskiej (zależność podobna jak obserwowana w publikacji **H4** po dodaniu do roztworów miodu kazeinianu sodu). Zależności te świadczą o zmianie właściwości materiału poddawanego suszeniu w wyniku przeprowadzonej obróbki enzymatycznej. Wydłużenie czasu obróbki enzymatycznej spowodowało znaczne różnice w morfologii i wielkości cząstek, zwłaszcza w wariacie 75e, który po 24 h obróbki charakteryzował się obecnością gładkich pozlepianych cząstek o dużych wymiarach. Po 48 h obróbki enzymatycznej obserwowano również obecność cząstek pofałdowanych, zmniejszyła się równocześnie ilość zlepień. Wielkość cząstek znacznie zmniejszyła się, również po kolejnych 24 h obróbki. A zatem, ponownie można stwierdzić, że obróbka enzymatyczna zmieniała właściwości materiału poddawanego suszeniu, w wyniku czego otrzymywano proszki o różnej charakterystyce, zbliżającej się do charakterystyki nośnika. W wariacie 83e nie określano wielkości cząstek za pomocą komputerowej analizy obrazu z powodu ich morfologii, czyli występowania tylko cząstek pozlepianych, których nie można było traktować jako oddzielnych w czasie analizy obrazu.

Wydajność suszenia rozpyłowego, w zależności od czasu obróbki enzymatycznej oraz zawartości miodu, wynosiła od 25 do 95%. Bhandari i wsp. (1997) stwierdzili, że za kryterium „udanego” suszenia rozpyłowego można uznać wydajność wyższą niż 50%, a zatem tylko 3 warianty (suszenie gumy arabskiej oraz roztworów miodu 50/24 h i 83e/72 h) nie spełniły tego kryterium. Najniższą wydajność suszenia (25 i 28%) zanotowano w wariacie 83e i w przypadku suszenia gumy arabskiej. Tak niska wydajność w czasie suszenia roztworu nośnika mogła wynikać z wywiewania drobnych cząstek proszku podczas suszenia wraz z powietrzem wylotowym, ponieważ proszek GA miał cząstki o najmniejszej wielkości. Podobną zależność, najniższej wydajności suszenia nośnika, w porównaniu z roztworami miodu i nośnika, przedstawiłam w publikacji **H4** (p. 5.4). Niska wydajność wariantu 83e wynikała z wysokiej zawartości

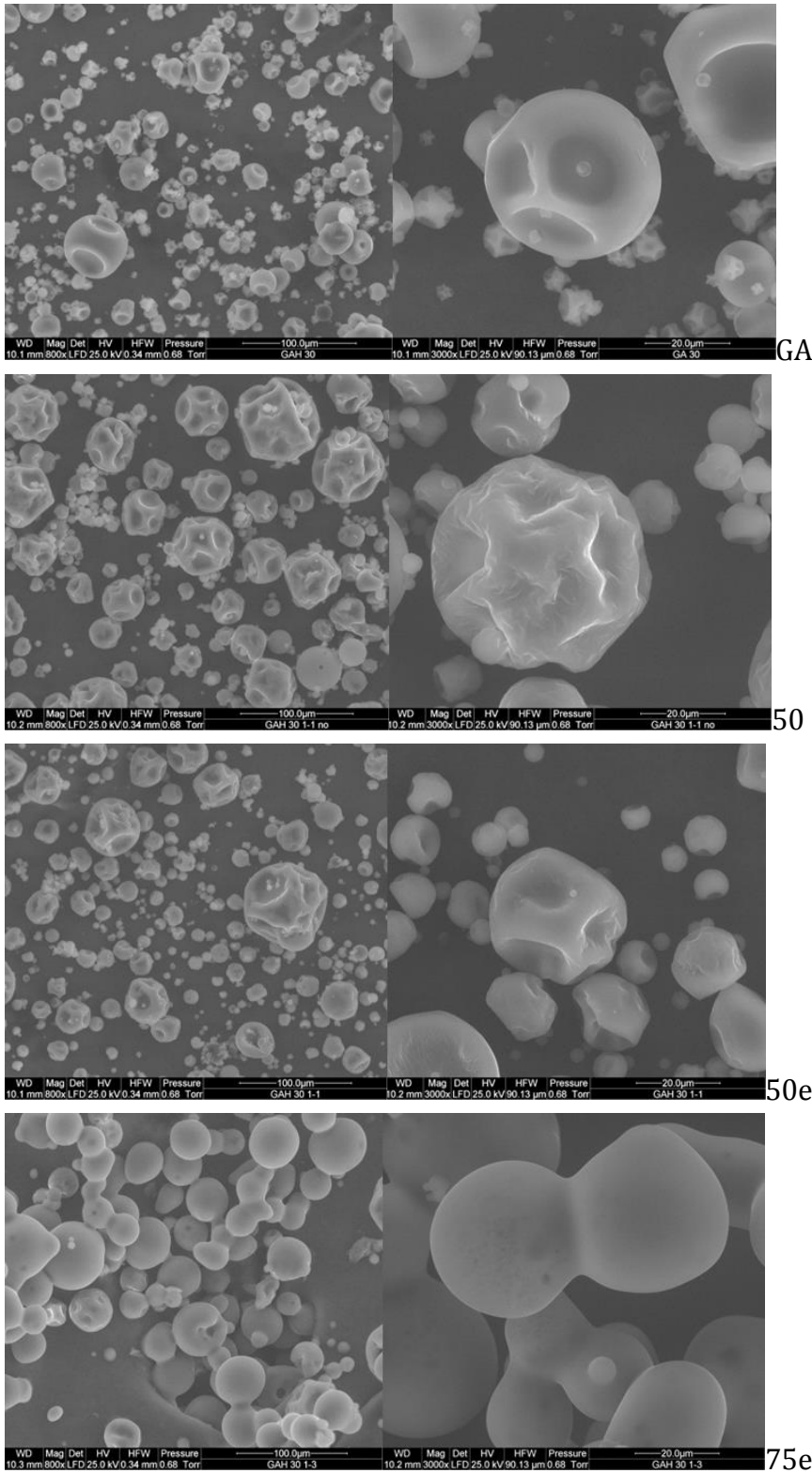
miodu (83% s.s. roztworu), która skutkowałą występowaniem szeregu niekorzystnych zjawisk związanych z suszeniem miodu, uniemożliwiających jego wysuszenie bez dodatku nośnika.

Jednakże, obniżenie zawartości glukozy za pomocą obróbki enzymatycznej pozwoliło na skuteczne przeprowadzenie procesu suszenia w tym wariantcie i otrzymanie proszku o wysokiej zawartości „miodu w miodzie”, dotychczas nienotowanej w żadnej publikacji naukowej.

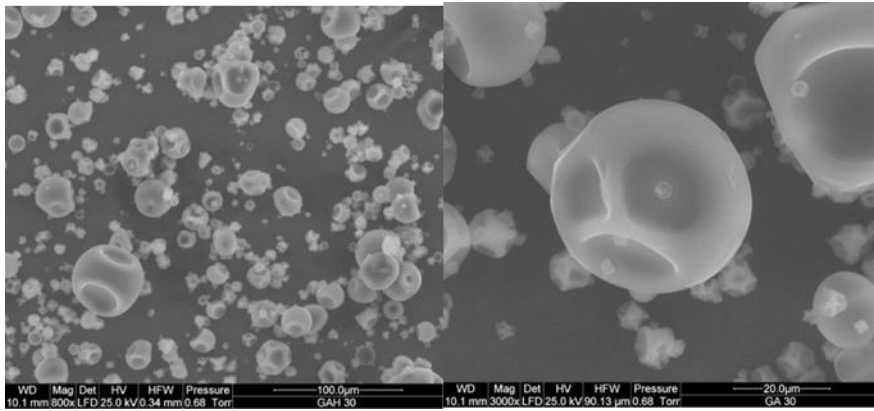
Właściwości fizyczne proszków otrzymanych po suszeniu rozpyłowym (Tabela 1) były typowe dla proszków miodowych suszonych rozpyłowo. Zawartość wody wahała się od 1,5 do 5,5%, a ich aktywność wody od 0,031 do 0,144. Podobnie jak w publikacji **H4** (p. 5.4), zawartość wody w proszkach miodowych była niższa (lub równa), a aktywność wody wyższa niż w samym nośniku suszonym w tych samych warunkach. Zawartość wody w materiałach suszonych zależy od intensywności suszenia. Goula i Adamopoulos (2005) stwierdzili, że intensywność suszenia rozpyłowego wzrasta wraz ze zmniejszaniem wielkości kropeł, które jest związane z: 1) większą ogólną powierzchnią wymiany ciepła i masy; 2) krótszą drogą, którą musi pokonać ciepło wnikać do wnętrza kropeł; 3) krótszą drogą, którą musi pokonać woda dyfundująca z wnętrza do powierzchni kropeł. Jednakże, w niniejszych badaniach otrzymano odwrotną zależność: proszek GA o najmniejszych rozmiarach cząstek miał największą zawartość wody. Mogło to wynikać ze zdolności gumy arabskiej do tworzenia nieprzepuszczalnej powłoki na powierzchni kropeł, która utrudniała parowanie wody z ich wnętrza (Gharsallaoui i wsp. 2007). Wyższe wartości a_w proszków miodowych niż GA mogły wynikać z obecności pewnej ilości wody wolnej wydzielonej w czasie krystalizacji cukrów (Jayasundera i wsp. 2011).

Tabela 1. Właściwości fizyczne proszków otrzymanych po suszeniu rozpyłowym w zależności od czasu obróbki enzymatycznej oraz zawartości miodu.

	Zawartość wody [%]	a_w	Gęstość nasypowa luźna [g/cm ³]	Higroskopijność [g/100 g]	Kąt nasypu [°]	Rozpuszczalność [%]
GA	5,5	0,031	0,60	11,0	54,9	100,0
24 h						
50	3,2	0,102	0,55	13,7	49,5	99,3
50e	3,3	0,098	0,59	13,3	42,5	99,9
75e	2,2	0,088	0,44	15,3	54,7	98,9
48h						
50	5,2	0,102	0,53	26,0	39,6	97,6
50e	4,7	0,078	0,56	28,0	37,2	99,1
75e	2,3	0,058	0,42	32,1	43,4	97,1
72h						
50	5,5	0,144	0,47	18,3	47,2	99,0
50e	5,5	0,123	0,48	19,7	44,5	99,4
75e	2,5	0,078	0,38	21,0	45,4	96,6
83e	1,5	0,068	0,41	23,4	48,6	95,4

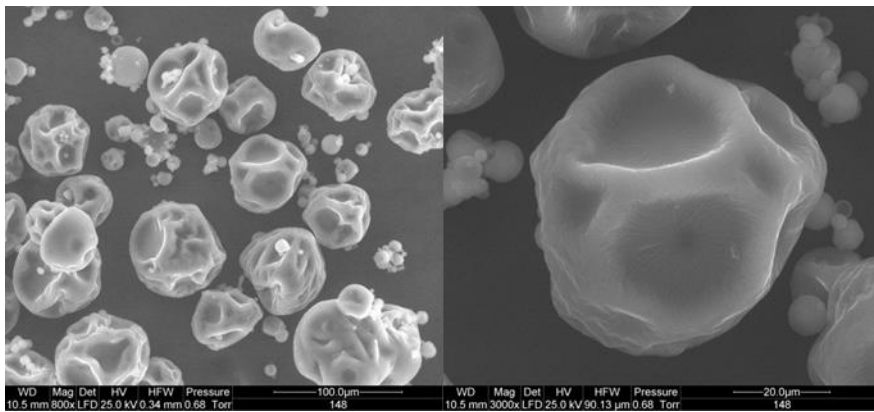


Rys. 1. Cząstki proszków otrzymanych po suszeniu rozpyłowym po 24 h obróbki enzymatycznej

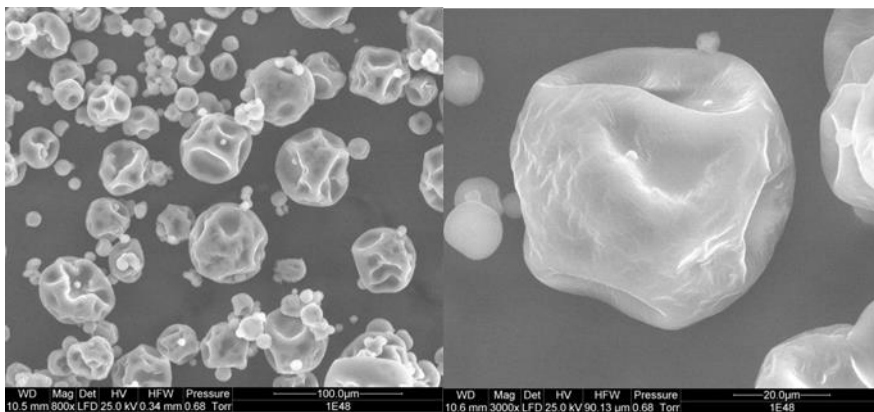


Rys. 2. Cząstki proszków otrzymanych po suszeniu rozpyłowym po 48 h obróbki enzymatycznej

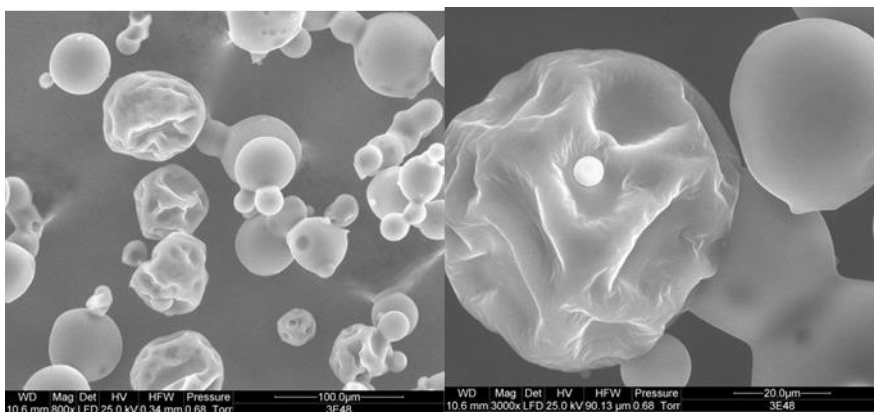
GA



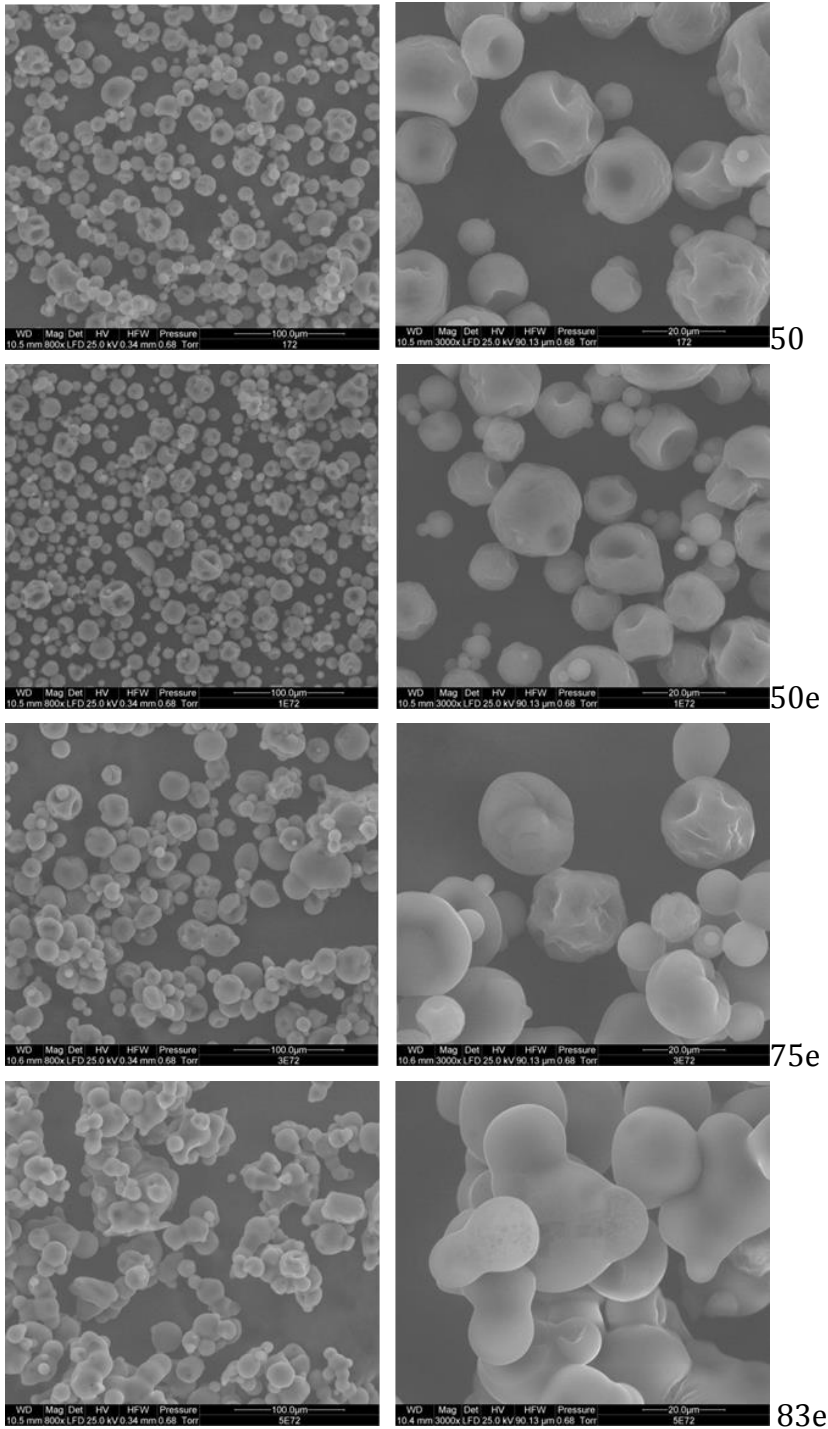
50



50e



75e



Rys. 3. Cząstki proszków otrzymanych po suszeniu rozpyłowym po 72 h obróbki enzymatycznej

Gęstość nasypowa proszków wynosiła od 0,38 do 0,60 g/cm³, i była największa w przypadku GA, co mogło być związane z najmniejszymi rozmiarami cząstek tego proszku. Zmniejszanie rozmiarów cząstek proszków 50e w porównaniu z 50 również skutkowało podwyższaniem wartości gęstości nasypowej. Gęstość nasypowa proszków malała wraz ze zwiększaniem się zawartości miodu, co również mogło być efektem zwiększania się rozmiarów cząstek. Higroskopijność otrzymanych proszków zależała od zawartości miodu, proszki o większej zawartości miodu chłoneły większą ilość wody w czasie 48 h przetrzymywania nad nasyconym roztworem NaCl. Proszek GA niezawierający miodu, o najmniejszych cząstkach i najwyższej początkowej zawartości wody, miał najniższą higroskopijność. Wpływ przeprowadzonej obróbki enzymatycznej

na higroskopijność był niejednoznaczny: po 24 h próbki 50 i 50e miały zbliżoną higroskopijność, lecz po 48 i 72 h próbki 50e charakteryzowały się podwyższoną zdolnością do chłonięcia wody niż próbki 50, co mogło być związane ze zmniejszaniem wielkości cząstek i zwiększaniem ich całkowitej powierzchni, poprzez którą następowało pochłanianie wody.

Sypkość proszków, oznaczana jako kąt nasypu, była lepsza w proszkach poddanych obróbce enzymatycznej w porównaniu z próbkami bez tej obróbki (porównanie wariantów 50e i 50). Zwiększanie zawartości miodu skutkowało pogarszaniem sypkości (wyższa wartość kąta nasypu wariantów 75e niż 50e), mimo zwiększenia rozmiarów cząstek, które w proszkach o zbliżonym składzie chemicznym zazwyczaj skutkuje polepszeniem sypkości. Cząstki GA o najmniejszych cząstkach charakteryzowały się najgorszą sypkością. Proszek GA był całkowicie rozpuszczalny, a dodatek coraz większych ilości miodu powodował stopniowe obniżanie wartości tego parametru. Rozpuszczalność proszków poddanych obróbce enzymatycznej była lepsza w porównaniu z próbkami bez tej obróbki (warianty 50e i 50). Mimo obniżania się rozpuszczalności wraz ze zwiększaniem dodatku miodu, najniższa rozpuszczalność zanotowana w przypadku wariantu 83e była wysoka i wynosiła 95,4%.

Podsumowując, w tym etapie badań stwierdziłam, że dzięki obróbce enzymatycznej miodu za pomocą oksydazy glukozowej możliwe było otrzymanie proszku o zawartości 83% miodu, a proszki otrzymane z materiału poddanego obróbce enzymatycznej charakteryzowały się lepszą rozpuszczalnością i sypkością.

5.6. Badanie możliwości obniżenia zawartości nośnika w miodzie suszonym poprzez obróbkę wstępną roztworów miodu za pomocą diafiltracji

Celem dalszej części badań, których wyniki przedstawiłam w artykule **H6**, była ocena możliwości zastosowania procesu diafiltracji do rozdzielania miodu rzepakowego na poszczególne składniki, a w szczególności usunięcia części cukrów prostych, co mogłoby umożliwić zmniejszenie ilości nośnika dodawanego przed suszeniem rozpyłowym.

Diafiltracja jest procesem, który można prowadzić za pomocą tych samych membran, co ultrafiltrację. Polega ona na cyklicznym dodawaniu rozpuszczalnika (wody) do filtrowanego roztworu, dzięki czemu można uzyskać wymycie takich związków niskocząsteczkowych jak cukry, sole i kwasy z roztworów zawierających białka, pektyny i inne związki wielkocząsteczkowe (Yazdanshenas i wsp., 2005; Gawroński 2007). Związkami, które chciano usunąć z roztworu miodu, były cukry proste, przechodzące przez pory membrany, a stanowiące główną przeszkodę w efektywnym przeprowadzeniu suszenia rozpyłowego miodu bez dodatku nośnika.

Miód rzepakowy rozcieńczałam wodą w stosunku masowym 1:1, diafiltrację prowadziłam z zastosowaniem membrany ceramicznej o przepuszczalności cząstek MWCO 15 kDa, w temperaturze 25°C metodą recyrkulacyjną. Obserwowałam przebieg procesu diafiltracji (zmiany strumienia permeatu i ciśnienia transmembrańowego), oznaczałam właściwości fizykochemiczne (zawartość ekstraktu, liczbę diastazową, zawartość białka, glukozy, fruktozy, sacharozy i maltozy) surówki, permeatu i retentatu, wyznaczałam współczynnik retencji i transmisji poszczególnych składników na podstawie bilansu masy. Do otrzymanego retentatu dodawałam odpowiednią ilość wody i gumy arabskiej, aby otrzymać roztwory o stosunku zawartości s.s. pochodzącej z miodu do pochodzącej z nośnika 50:50 oraz 75:25. Suszeniu rozpyłowemu poddawałam również surówkę po uprzednim dodaniu odpowiedniej ilości wody i gumy arabskiej, aby

otrzymać roztwór o zawartości s.s. 30%, w którym stosunek zawartości s.s. pochodzącej z miodu do pochodzącej z nośnika wynosił 50:50. Oceniałam przebiegu suszenia rozpyłowego oraz właściwości fizyczne proszków: zawartość i aktywność wody, gęstość nasypową luźną i utręzioną, higroskopijność, kąt nasypu, morfologię oraz rozkład wielkości cząstek.

Proces diafiltracji prowadziłam przez 150 min, w ciągu których otrzymałam 2500 cm³ permeatu, a do roztworu krążącego w instalacji dodałam taką samą ilość wody. W czasie trwania procesu diafiltracji zawartość ekstraktu w roztworze krążącym w instalacji, jak również w odbieranym permeacie, stopniowo zmniejszała się w wyniku wymywania składników do permeatu. Strumień wypływającego permeatu od 12 min ulegał niewielkim wahaniom wokół wartości średniej $8,9 \times 10^{-7} \text{ cm}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{s})$, co w połączeniu ze stałą wartością ciśnienia transmembranowego wskazywało, że proces przebiegał w sposób stabilny, a warstwa osadu tworząca się na powierzchni membrany nie pogarszała warunków jego przebiegu. Skład chemiczny surówki, permeatu i retentatu różnił się istotnie statystycznie. Stwierdziłam, że proces diafiltracji był selektywny w stosunku do składników miodu, współczynnik retencji R był inny w przypadku cukrów (glukoza R=0,78, fruktoza R=0,81) niż w przypadku białka (R=0,90). Otrzymane wartości współczynnika retencji oraz transmisji wskazywały, że 20% glukozy i 22% fruktozy zostało wymytych z roztworu miodu. Bilans masy wykazał również, że znaczna część składników (odpowiednio 19,6% ekstraktu, 17,9% glukozy i 27,0% fruktozy) pozostała wewnątrz instalacji, prawdopodobnie w warstwie osadu lub wewnątrz membrany, co jednak nie pogorszyło warunków przebiegu procesu. Według Barhate i wsp. (2003) przybliżony rozmiar cząsteczek enzymów znajdujących się w miodzie to: 24 kDa (α -amylaza), 51 kDa (α -glukozydaza), i powyżej 100 kDa (oksydaza glukozy), a więc zastosowana membrana o wartości MWCO 15 kDa prawdopodobnie zatrzymała wszystkie cząsteczki enzymów. Potwierdzeniem tego założenia, opartego na danych literaturowych, była wartość liczby diastazowej permeatu równa 0, wskazująca na brak aktywności enzymów amylolitycznych. Pomimo prawdopodobnego zatrzymania wszystkich białek enzymatycznych w retentacie, stwierdzono obecność pewnej ilości związków azotowych w permeacie, współczynnik transmisji związków azotowych wynosił 0,1. Prawdopodobnie były to związki azotowe o niskich masach cząsteczkowych, jak np. wolne aminokwasy, wśród których w miodzie najliczniej występuje prolina o masie cząsteczkowej 115 Da, stanowi ona około 80-90% całej ilości wolnych aminokwasów (Hermosin i wsp. 2003). Analogiczną obserwację przedstawili Żulewska i Barbano (2014) – podczas diafiltracji mleka laktoza oraz niskocząsteczkowe związki azotowe zostały wymyte do permeatu, podczas gdy kazeina została zatrzymana przez membranę. Wartość liczby diastazowej retentatu była niższa w porównaniu z surówką (aby możliwe było porównanie tych wyników do sporządzenia roztworów miodu, z których oznaczano liczbę diastazową pobierano taką ilość surówki, permeatu i retentatu, która odpowiadała ilości s.s. zawartej w 10 g miodu), co mogło wynikać z inaktywacji enzymów w czasie procesu diafiltracji lub zatrzymania części enzymów w warstwie osadu. Bardziej prawdopodobna była druga z wymienionych przyczyn, ponieważ temperatura roztworu krążącego w instalacji była utrzymywana na poziomie 25°C, była więc zbyt niska, by spowodować inaktywację w czasie 150 min.

Wydajność suszenia surówki z dodatkiem gumy arabskiej wynosiła 52,5%, a usunięcie z niej części cukrów i innych składników ekstraktu pozwoliło na polepszenie wydajności suszenia do 64,9%. Możliwe było przeprowadzenie suszenia po zwiększeniu zawartości miodu w stosunku do zawartości nośnika do poziomu 75:25, jednakże wydajność tego suszenia była niska i wynosiła 25,3%, a proszek charakteryzował się

znacznie zmienioną morfologią cząstek w porównaniu z dwoma pozostałymi proszkami. Cząstki o gładkich powierzchniach nie występowały w postaci osobnych cząstek, lecz były pozlepiane i tworzyły skupiska o różnych rozmiarach. Zawartość i aktywność wody oraz gęstość nasypowa otrzymanych proszków była typowa dla materiałów suszonych rozpyłowo, a wartości współczynnika Hausnera wskazywały na ich średnią kohezynność i sypkość, na takim samym poziomie jak w publikacji **H3**, natomiast niższa wartość kąta naturalnego nasypu proszku otrzymanego z retentatu wskazywała na jego lepszą sypkość. Również zwilżalność i higroskopijność uległa poprawie w wyniku usunięcia części cukrów w czasie diafiltracji.

Reasumując ten etap badań, stwierdziłam, że dzięki zastosowaniu procesu diafiltracji możliwe było usunięcie z surówki około 20% masy ekstraktu oraz cukrów prostych, co pozwoliło na zwiększenie wydajności suszenia roztworu zawierającego 50% s.s. pochodzącej z miodu i 50% z nośnika, a także na obniżenie ilości dodawanego nośnika i otrzymanie proszku miodowego o zawartości 75% „miodu w miodzie”. Ponadto, proszki otrzymane z retentatu charakteryzowały się niższą higroskopijnością niż otrzymane z surówki.

5.7. Badanie możliwości wytworzenia nowych produktów na bazie „suszonego miodu” z równoczesnym polepszeniem ich właściwości fizycznych poprzez aglomerację

Celem tej części badań, przedstawionych w publikacji **H6**, była próba wytworzenia nowych produktów na bazie miodu rzepakowego suszonego rozpyłowo z równoczesnym polepszeniem właściwości fizycznych poprzez poddanie go procesowi aglomeracji, czyli powiększenia rozmiarów cząstek. Aglomerację prowadziłam metodą pneumatyczną z dodatkiem mleka odtłuszczonego w proszku i cieczy nawilżającej (roztworu lecytyny), a efektem tego procesu było otrzymanie nowych produktów na bazie suszonego miodu. Badałam właściwości fizyczne otrzymanych miodowo-mlecznych napojów instant.

Aglomeracji poddawałam dwie mieszaniny: miód rzepakowy suszony rozpyłowo (zawierający 50% miodu w s.s.) z mlekiem w proszku w stosunku wagowym 50:50 (25% miodu w s.s., wariant A25) oraz miód rzepakowy suszony rozpyłowo z mlekiem w proszku w stosunku wagowym 20:80 (10% miodu w s.s., wariant A10). Aglomerację prowadziłam w urządzeniu STREA 1/Niro-Areomatic AG (roztwór lecytyny jako ciecz nawilżająca) w następujących warunkach: strumień przepływu powietrza 50–80 m³/h, ciśnienie sprężonego powietrza w dyszy rozpylającej 0,1 MPa, nawilżanie z przerwami trwające do 10 min, suszenie aglomeratu 10 min w temperaturze powietrza wlotowego 50°C. W otrzymanych proszkach oznaczałam: zawartość i aktywność wody, gęstość nasypową luźną i utrzęsioną, sypkość jako współczynnik Hausnera i kąt nasypu, higroskopijność, zwilżalność oraz morfologię cząstek.

Wygląd i rozmiary cząstek suszonego miodu były charakterystyczne dla tego rodzaju materiału suszonego tą metodą – kształt kulisty, cząstki oddzielne, niepozlepiane, o częściowo pofałdowanych powierzchniach i średniej średnicy znacznie poniżej 100 µm. Na zdjęciach przedstawiających aglomeraty widoczne były skupiska i sklejenia cząstek powstałe w wyniku procesu aglomeracji. Zawartość oraz aktywność wody w miodzie suszonym rozpyłowo była typowa dla tego rodzaju materiału suszonego tą metodą. Zawartość i aktywność wody w aglomeratach A25 i A10 była wyższa niż w proszku miodowym nieaglomerowanym, w wyniku nawilżania w czasie aglomeracji. Gęstość nasypowa luźna i utrzęsiona była znacznie wyższa w przypadku proszku miodowego nieaglomerowanego niż obu aglomeratów, co było

skutkiem zwiększenia wielkości cząstek po aglomeracji. Jednym z celów aglomeracji jest polepszenie sypkości proszków (Domian, 2005). Zazwyczaj proszki o mniejszych cząstkach, a więc takie jak uzyskiwane bezpośrednio po suszeniu rozpyłowym (średnice poniżej 200 μm), mają średnią lub wysoką kohezyjność, a więc średnią lub słabą sypkość, co wyrażane jest wartością współczynnika Hausnera powyżej 1,2 (Geldart i wsp. 1984) i wysokimi wartościami kąta naturalnego nasypu (Peleg 1987, Sinka i wsp. 2004). W publikacji **H3** (p. 5.3) prezentowałam wartość HR miodu wielokwiatowego oraz rzepakowego suszonego rozpyłowo z gumą arabską na poziomie 1,29 i 1,24. Podobną wartość uzyskano w przypadku proszku miodowego nieaglomerowanego uzyskanego po suszeniu rozpyłowym. Produkty uzyskane po aglomeracji charakteryzowały się znacznie korzystniejszymi wartościami współczynnika Hausnera (1,18 i 1,19) i kąta naturalnego nasypu, które wskazywały na polepszenie sypkości proszków. Lepszą sypkość obserwowano w przypadku wariantu A25 (najniższa wartość HR), co mogło być związane z większymi wymiarami powstałych skupisk cząstek. Ze względu na małą średnicę cząstek proszki rozpyłowe są słabo zwilżalne, a parametr ten ulega znacznej poprawie po procesie aglomeracji. Proszek miodowy nieaglomerowany był słabo zwilżalny, gdyż porcja proszku utrzymywała się na powierzchni cieczy przez czas dłuższy niż 3 min, a aglomeraty A15 i A10 miały zwilżalność odpowiadającą właściwości błyskawicznej rozpuszczalności instant (czas zwilżania <15 s).

Aglomeraty charakteryzowały się znacznie niższą higroskopijnością od proszku miodowego nieaglomerowanego, co było związane zarówno z obniżoną zawartością miodu (z 50% s.s. do 25% w A25 i 10% w A10), jak i zwiększeniem rozmiarów cząstek, a przez to zmniejszeniem powierzchni kontaktu międzyfazowego między proszkiem a parą wodną w otaczającym środowisku.

Wyniki, jakie otrzymałam w tej części badań, wskazują na możliwość zastosowania proszku miodowego do wytwarzania aglomerowanych napojów mleczno-miodowych o właściwościach typu „instant”, dobrej sypkości i niskiej higroskopijności.

5.8. Wpływ przechowywania na właściwości suszonych miodów

Proszki miodowe, ze względu na wysoką zawartość cukrów, są materiałami silnie higroskopijnymi, a więc mogą w szybki sposób chłonać wodę z otoczenia oraz zmieniać przez to swoje właściwości fizyczne w czasie przechowywania. Jednakże, wśród kilkunastu dostępnych w literaturze prac nt. suszenia miodu, w żadnej z nich autorzy nie analizowali, w jaki sposób przechowywanie zmienia właściwości tych proszków. Ten brak spowodował, że w publikacje **H2** i **H6** są częściowo, a **H5** całkowicie, poświęcone tym zagadnieniom.

Zmiany morfologii cząstek, zawartości i aktywności wody, higroskopijności oraz rozpuszczalności proszków miodowych (miód wielokwiatowy) otrzymanych na bazie maltodekstryny i dekstryny w czasie 9 tygodni przechowywania w temperaturze 25°C przedstawiłam w publikacji **H2**. Analiza zdjęć przedstawiających morfologię cząstek proszków pozwoliła stwierdzić, że przechowywanie wyraźnie wpłynęło na ich strukturę. Po upływie 9 tygodni przechowywania cząstki proszków sklejały się, tworząc większe skupiska, co spowodowane było właściwościami higroskopijnymi proszków, które przyczyniają się do chłonięcia wody z otoczenia. Ponadto, zbrylanie cząstek proszków w trakcie przechowywania jest charakterystyczne dla materiałów, w których przeważa stan amorficzny, ulegający powolnemu przejściu fazowemu do stanu krystalicznego. Podczas tego procesu uwalniana jest pewna ilość wody wolnej, co powoduje jakościowe zmiany produktu, np. łączenie się cząstek proszku i zbrylanie, a także wzrost aktywności wody, który również był obserwowany podczas przechowywania (Truong i wsp. 2005, Pałacha i Sitkiewicz 2008, Das i Langrish

2012). Wzrost aktywności wody następował we wszystkich badanych proszkach, w przeciwieństwie do zmian zawartości wody, które zależały od rodzaju zastosowanego nośnika oraz parametrów otrzymywania proszków (szybkości obrotowej dysku). Największy przyrost zawartości wody obserwowano w przypadku proszków z dekstryną, a najmniejszy w proszkach uzyskanych z maltodekstryną, z zastosowaniem zmniejszonej prędkości obrotowej dysku. Zależność tę tłumaczyłam prawdopodobnym wpływem zmniejszenia prędkości obrotowej dysku na zwiększenie rozmiarów cząstek i znaną z literatury zależnością, że proszki o większych cząstkach mają mniejszą zdolność do chłonięcia wody (wynika to ze zmniejszonej powierzchni kontaktu), co obserwowali np. Unde i wsp. (2011). Jak przedstawiono w punkcie 5.2., proszki te, o prawdopodobnie zwiększonych rozmiarach cząstek, były mniej higroskopijne bezpośrednio po suszeniu (co wynikało zarówno z mniejszej powierzchni kontaktu, jak i z ich wyższej zawartości wody). Tak jak bezpośrednio po suszeniu, proszki na bazie dekstryny pozostały najbardziej higroskopijne po 9 tygodniach przechowywania, a wspomniane już proszki z maltodekstryną otrzymane przy zmniejszonej prędkości obrotowej dysku, najmniej higroskopijne. Ogólnie, higroskopijność proszków miodowych po 9 tygodniach przechowywania była niższa niż bezpośrednio po suszeniu, co wynikało ze wzrostu zawartości i aktywności wody oraz zmniejszenia siły napędowej procesu adsorpcji wody.

Zmiany morfologii cząstek proszków miodowych w trakcie przechowywania (12 tygodni/25°C) zostały znacznie ograniczone dzięki diafiltracyjnej obróbce wstępnej roztworu miodu rzepakowego, jak przedstawiłam w publikacji **H6**. Proszek miodowy otrzymany po suszeniu roztworu miodu niepoddanego diafiltracji, podobnie jak w publikacji **H2**, po przechowywaniu charakteryzował się obecnością cząstek posklejanych, tworzących struktury podobne do aglomeratów, natomiast w proszku otrzymanym po suszeniu roztworu miodu poddanego diafiltracji obserwowano jedynie wzrost rozmiarów cząstek. Jednakże, paradoksalnie, zmiany te nie były niekorzystne, ponieważ zwiększenie rozmiarów cząstek oraz tworzenie struktur jak w aglomeratach wpłynęło korzystnie na sypkość proszków – obserwowałam świadczące o tym zmniejszenie współczynnika Hausnera oraz kąta naturalnego nasypu. Zależności te były odwrotne do przedstawianych w literaturze w nielicznych pracach na temat zmian właściwości proszków spożywczych w czasie przechowywania. Zazwyczaj ich autorzy twierdzą, że sypkość ulega pogorszeniu na skutek wzrostu zawartości wody oraz sił kohezji (Teunou i Fitzpatrick 2000, Domian i Poszytek 2005, Fitzpatrick i wsp. 2007). Jednakże, proszki zawierające miód, ze względu na wyjątkowy charakter tego produktu, charakteryzują się zupełnie odmiennymi właściwościami. Proszek o zwiększonej zawartości miodu (75% w s.s.) po przechowywaniu również miał zmienioną morfologię – cząstki miały nadal gładkie powierzchnie, ale były jeszcze bardziej pozlepiane niż bezpośrednio po suszeniu, a właściwie obserwowałam już ich łączenie poprzez ciekłe mostki w wyniku zwiększonej zawartości i aktywności wody. Wzrost zawartości i aktywności wody był istotny statystycznie w przypadku wszystkich proszków. W publikacji **H6** przedstawiałam również wpływ przechowywania na właściwości aglomerowanych proszków mleczno-miodowych (właściwości bezpośrednio po aglomeracji omówiłam w p. 5.7). Zmiany właściwości tych proszków były dużo mniej intensywne: morfologia, zwilżalność oraz sypkość nie uległy zmianie, istotny statystycznie był jedynie wzrost zawartości i aktywności wody.

Publikacja **H5** była w całości poświęcona zmianom właściwości fizycznych proszków miodowych (miód rzepakowy i gryczany) w czasie przechowywania. Badałam proszki otrzymane z gumą arabską oraz dodatkiem kazeinianu sodu, których

właściwości bezpośrednio po suszeniu przedstawiłam w publikacji **H4** (oraz w p. 5.4 niniejszego autoreferatu). W trakcie przechowywania (20°C) w proszkach następował wzrost zawartości i aktywności wody, lecz końcowa wartość aktywności wody była wciąż niska (poniżej 0,15), co było gwarancją utrzymania trwałości tych produktów. W przeciwieństwie do opisanych powyżej wyników z publikacji **H6** i **H2**, obserwowałam zmniejszenie rozmiarów cząstek proszków miodowych w trakcie przechowywania oraz związany z tym wzrost współczynnika Hausnera. Jednakże, wartość ta była wciąż poniżej 1,2, co jest charakterystyczne dla proszków o dobrej sypkości. Zmiany gęstości nasypowej luźnej i utręsionej w trakcie przechowywania były skorelowane ze zmianami wielkości cząstek – zmniejszenie wielkości cząstek w czasie przechowywania powodowało wzrost gęstości nasypowej luźnej i utręsionej. Na podstawie pomiaru barwy stwierdziłam, że największa zmiana barwy roztworów odtworzonych z proszków w stosunku do roztworu poddawanego suszeniu następowała bezpośrednio po procesie suszenia. W trakcie przechowywania następowała jednak dalsza zmiana parametrów barwy odtworzonych roztworów, związana z zachodzeniem reakcji nieenzymatycznego brunatnienia. Dodatek kazeinianu sodu istotnie ograniczał te zmiany, dlatego stwierdziłam, że korzystne jest jego zastosowanie, nie tylko jako czynnika poprawiającego wydajność i sypkość bezpośrednio po suszeniu, lecz także jako substancji stabilizującej w czasie przechowywania.

Reasumując tę część badań stwierdziłam, że właściwości fizyczne proszków miodowych w trakcie przechowywania w temperaturze 20-25°C zmieniały się. Wzrastała w nich zawartość i aktywność wody oraz obniżała się higroskopijność. Zmiany morfologii i wielkości cząstek były różnorodne. W zależności od rodzaju miodu oraz typu nośnika obserwowano wzrost lub zmniejszenie rozmiarów cząstek. Wynikiem zmian wielkości cząstek była zmiana sypkości proszków: zwiększenie rozmiarów cząstek wpływało na jej poprawę, a zmniejszanie pogarszało współczynnik Hausnera, lecz wciąż w zakresie charakterystycznym dla proszków o dobrej sypkości.

5.9. Podsumowanie i wnioski

Roztwory miodu rzepakowego, gryczanego i wielokwiatowego z dodatkiem różnych nośników (dekstryna, maltodekstryna, guma arabska), ich mieszanin, a także z dodatkiem substancji ułatwiającej suszenie (kazeinian sodu) suszono stosując różne parametry suszenia (temperatura powietrza wlotowego 160, 180 i 200°C, prędkość obrotowa dysku rozpylającego 32 000, 36 000 i 38 000 obr/min). Po tym etapie badań stwierdzono, że:

1. Metodą suszenia rozpyłowego można otrzymać proszki miodowe o **korzystnych właściwościach fizycznych i wysokiej aktywności enzymów amylolitycznych**.
2. Najkorzystniejszymi właściwościami fizycznymi, wśród proszków otrzymanych z dodatkiem różnych nośników z miodu niepoddanego obróbce wstępnej, charakteryzują się te zawierające maltodekstrynę – mają one niższą zawartość wody, lepszą sypkość i niższą higroskopijność niż otrzymane z dodatkiem gumy arabskiej i dekstryny.
3. Zastosowanie kazeinianu sodu wpływa na zwiększenie wydajności suszenia oraz na poprawę właściwości fizycznych proszków.

4. Zastosowanie gumy arabskiej pozwala na zmniejszenie ilości nośnika w „suszonego miodzie”. Jednakże, maksymalna zawartość miodu w proszkach otrzymanych z gumą arabską wynosi 67% s.s., a proszki o tej zawartości „miodu w miodzie” charakteryzują się gorszymi właściwościami fizycznymi.

W kolejnym etapie badań analizowano możliwość obniżenia zawartości nośnika w miodzie suszonym i poprawy właściwości fizycznych proszków dzięki wstępnej obróbce surowca przed suszeniem za pomocą oksydazy glukozowej (w temperaturze 40°C przez 24, 48 i 72 h) oraz diafiltracji (membrana ceramicznej o granicznej rozdzielczości MWCO 15 kDa). Po tym etapie badań stwierdzono, że:

5. Obróbka miodu za pomocą oksydazy glukozowej w czasie 72 h pozwala na obniżenie zawartości nośnika dodawanego przed suszeniem, w efekcie czego można uzyskać proszek miodowy o zawartości **83% „miodu w miodzie”**. Jednakże, suszenie w tym wariantcie przebiega z niską wydajnością (25%).
6. Suszenie miodu poddanego obróbce enzymatycznej za pomocą oksydazy glukozy, prowadzące od otrzymania proszku o zawartości **75% „miodu w miodzie”**, przebiega z bardzo wysoką wydajnością (95%).
7. Proszki otrzymane z miodu poddanego obróbce enzymatycznej charakteryzują się **lepszą rozpuszczalnością i sypkością**, a z poddanego diafiltracji **niższą higroskopijnością** niż z miodu niepoddanego żadnej obróbce
8. Dzięki zastosowaniu procesu diafiltracji możliwe jest usunięcie z roztworu wodnego miodu części glukozy i fruktozy, przy jednoczesnym zatrzymaniu składników azotowych (w tym wszystkich enzymów), co pozwala na zwiększenie wydajności suszenia, a także na obniżenie ilości dodawanego nośnika i otrzymanie proszku miodowego o zawartości **75% „miodu w miodzie”**.

W kolejnym etapie badań analizowano wpływ przechowywania na właściwości fizyczne proszków miodowych, stwierdzając, że:

9. Przechowywanie wpływa istotnie na zmiany właściwości fizycznych proszków miodowych, wzrasta w nich zawartość i aktywność wody oraz obniża się higroskopijność. Zmiany morfologii i wielkości cząstek mogą być różnorodne, w zależności od rodzaju miodu oraz typu nośnika obserwowany może być wzrost lub też zmniejszanie się rozmiarów cząstek. Wynikiem zmian wielkości cząstek jest zmiana sypkości proszków: zwiększanie się rozmiarów cząstek wpływa na jej poprawę, a zmniejszanie pogarsza współczynnik Hausnera, lecz wciąż w zakresie charakterystycznym dla proszków o **dobrej sypkości**.

W kolejnym etapie badań podjęto próbę wytworzenia nowych produktów na bazie miodu rzepakowego suszonego rozpyłowo z równoczesnym polepszeniem właściwości

fizycznych poprzez poddanie go procesowi aglomeracji metodą pneumatyczną z dodatkiem mleka pełnego w proszku i cieczy nawilżającej (roztworu lecytyny). Badano właściwości fizyczne otrzymanych miodowo-mlecznych napojów instant. Po tym etapie badań stwierdzono, że:

10. Proszki miodowe otrzymane metodą suszenia rozpyłowego mogą być wykorzystane do wytwarzania metodą aglomeracji mleczno-miodowych **napojów typu „instant”** o korzystnych właściwościach fizycznych.

Spis literatury

1. Adhikari B, Howes T, Bhandari BR, Langrish TAG. (2009). Effect of addition of proteins on the production of amorphous sucrose powder through spray drying. *Journal of Food Engineering*, 94, 144-153.
2. Antony S, Rieck JR, Acton J, Han IY, Halpin EL, Dawson PL. (2006). Effect of dry honey on the shelf life of packaged turkey slices. *Poultry Science*, 85, 1811-1820.
3. Bankar SB, Bule MV, Singhal RS, Ananthanarayan L. (2009). Glucose oxidase - An overview. *Biotechnology Advances*, 27, 489-501.
4. Barhate RS, Subramanian R, Nandini KE, Hebbar HU. (2003). Processing of honey using polymeric microfiltration and ultrafiltration membranes. *Journal of Food Engineering*, 60, 49-54.
5. Bhanardi BR, Howes T. (1999). Implication of glass transition for the drying and stability of dried foods. *Journal of Food Engineering*, 40, 71-79.
6. Bhandari BR, Datta N, Howes T. (1997). Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. *Drying Technology - An International Journal*, 15, 671-684.
7. Chegini GR, Ghobadian B. (2005). Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*, 23, 657-668.
8. Codex Alimentarius. Codex Standard for honey 12-1981 (Vol. III). Rome: FAO.
9. Crouter A, Briens L. (2012). The effect of moisture on the flowability of pharmaceutical excipients. *AAPS PharmSciTech*, 15(1), 66-74.
10. Cui ZW, Sun LJ, Chen W, Sun DW. (2008). Preparation of dry honey by microwave-vacuum drying. *Journal of Food Engineering*, 84, 582-590.
11. Das D, Langrish TAG. (2012). Combined crystallization and drying in a pilot-scale spray dryer. *Drying Technology*, 9(30), 998-1007.
12. Domian E, Bialik E. (2006). Wybrane właściwości fizyczne soku jabłkowego w proszku. *Acta Agrophysica*, 8(4), 803-814.
13. Domian E. (2005). Właściwości fizyczne modelowej żywności w proszku w aspekcie metody aglomeracji. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4(45), 87-97.
14. Domian E, Poszytek K. (2005). Wheat flour flowability as affected by water activity, storage time and consolidation. *International Agrophysics*, 19, 119-124.
15. Dyrektywa Rady Wspólnoty Europejskiej 2001/110/WE z grudnia 2001 r. dotycząca miodu. *Dziennik Urzędowy Wspólnot Europejskich*, L10/47-52.
16. Fitzpatrick J J. (2005). Food powder flowability. In C. Onwulata (Ed.), *Encapsulated and powdered foods*. Boca Raton, FL: CRC Press, 247-260.
17. Fitzpatrick JJ, Barry K, Cerqueira PSM., Iqbal T, O'Neill J, Roos YH. (2007). Effect of composition and storage conditions on the flowability of dairy powders. *International Dairy Journal*, 17, 383-392.
18. Gawroński R. (2007). Wydzielanie, oczyszczanie i utrwalanie bioproduktów. W: *Podstawy biotechnologii przemysłowej* (red. W. Bednarski, J. Fiedurk). Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, str. 207-214.
19. Geldart D, Harnby N, Wong ACY. (1984). Fluidization of cohesive powders. *Powder Technology*, 37, 25-37.
20. Gharsallaoui A, Roudaut G, Chambin O, Voilley A, Saurel R. (2007): Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107-1121.
21. Goula AM, Adamopoulos KG. (2005). Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. *Journal of Food Engineering*, 66, 35-42.
22. Goula AM, Adamopoulos KG. (2010). A new technique for spray drying orange juice concentrate. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(2), 342-351.

23. Hebbar HU, Rastogi NK, Subramanian R. (2008). Properties of dried and intermediate moisture honey products: A review. *International Journal of Food Properties*, 11(4), 804-819.
24. Hermosin I, Chicon RM, Cabezudo MD. (2003). Free amino acid composition and botanical origin of honey. *Food Chemistry*, 83(2), 263-268.
25. Janiszewska E, Cupiał D, Witrowa-Rajchert D. (2008). Wpływ parametrów suszenia rozpyłowego na jakość hydrolizatu białkowego. *Żywność, Nauka, Technologia, Jakość*, 5(60), 206-216.
26. Jayasundera M, Adhikari B, Aldred P, Ghandi A. (2009). Surface modification of spray dried food and emulsion powders with surface-active proteins: A review. *Journal of Food Engineering*, 93, 266-277.
27. Jayasundera M, Adhikari B, Adhikari R, Aldred P. (2011a). The effect of protein types and low molecular weight surfactants on spray drying of sugar-rich foods. *Food Hydrocolloids*, 25(3), 459-469.
28. Jayasundera M, Adhikari B, Adhikari R, Aldred P. (2011b). The effects of proteins and low molecular weight surfactants on spray drying of model sugar-rich foods: Powder production and characterization. *Journal of Food Engineering*, 104, 259-271.
29. La Bell F. (1993). Gum arabic effective for dry flavors. *Food Processing*, 1(5), 12-13.
30. Masters K. (1991). *Spray Drying Handbook*, 5th ed., Longman Scientific & Technical, London.
31. Meerdink G, Van't Riet K. (1991). Inactivation of a thermostable α -amylase during drying. *Journal of Food Engineering*, 14, 83-102.
32. Moreira GEG, Costa MGM, Souza ACR, Brito ES, Medeiros MFD, Azeredo HMC. (2009). Physical properties of spray dried acerola pomace extract as affected by temperature and drying aids. *LWT - Food Science and Technology*, 42(1), 641-645.
33. Nurhadi B, Andoyo R, Mahani, Indiarito R. (2012). Study the properties of honey powder produced from spray drying and vacuum drying method. *International Food Research Journal*, 19(3), 907-912.
34. Pałacha Z, Sitkiewicz I. (2008). Temperatura przemiany szklistej – parametr stabilności żywności. *Przemysł Spożywczy*, 9, 32-37.
35. Papadakis SE, Gardeli C, Tzia C. (2006). Spray drying of raisin juice concentrate. *Drying Technology*, 24(2), 173-180.
36. Patil V, Chauhan AK, Singh SP. (2014). Influence of spray drying technology on the physical and nutritional properties of guava powder. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(9), 1224-1237.
37. Peleg M. (1987). Flowability of food powders and methods for its evaluation – a review. *Journal of Food Process Engineering*, 1, 303-328.
38. Pickering GJ, Heatherbell DA, Barnes MF. (1998). Optimising glucose conversion in the production of reduced alcohol wine using glucose oxidase. *Food Research International*, 31(10), 685-692.
39. Polska Norma. PN-88/A-77626. Miód pszczeleli.
40. Ram AK. (2011). Production of spray-dried honey powder and its application in bread (Master's thesis, Louisiana State University, United States). Retrieved from http://etd.lsu.edu/docs/available/etd-07052011-085925/unrestricted/KosalRam_Thesis.pdf.
41. Rao RHG, Gupta PM. (2002). Development of spray dried orange juice blended skim milk powder. *Dairy Science & Technology*, 82(4), 523-529.
42. Rodriguez-Hernandez GR., Gonzalez-Garcia R, Grajales-Lagunes A, Ruiz-Cabrera MA. (2005). Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. *Drying Technology*, 23(4), 955-973.
43. Ruiz-Cabrera MA, Espinosa-Munoz LC, Aviles-Aviles C, Gonzalez-Garcia R, Moscota-Santillan M, Grajales-Lagunes A, Abud-Archila M. (2009). Spray-drying of passion fruit juice using lactose-maltodextrin blends as the support material. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 52(4), 1011-1018.
44. Sahu JK. (2008). The effect of additives on vacuum dried honey powder properties. *International Journal of Food Engineering*, 4(8), article 9.
45. Saraiva J, Oliveira JC, Hendrickx M, Oliveira FAR, Tobback P. (1996). Analysis of the inactivation kinetics of freeze dried α -amylase from *Bacillus amyloliquefaciens* at different moisture contents. *LWT - Food Science and Technology*, 29, 260-266.
46. Scoville E, Peleg M. (1981). Evaluation of the effect of liquid bridges on the bulk properties of model powders. *Journal of Food Science*, 46, 174-177.
47. Shi Q, Fang Z, Bhandari B. (2013). Effect of addition of whey protein isolate on spray-drying behavior of honey with maltodextrin as a carrier material. *Drying Technology*, 31(13-14), 1681-1692.
48. Sinka C, Schneider LCR, Cocks ACF. (2004). Measurement of the flow properties of powders with special reference to die fill. *International Journal of Pharmaceutics*, 280, 27-38.
49. Sisak C, Csanadi Z, Ronay E, Szajani B. (2006). Elimination of glucose in egg white using immobilized glucose oxidase. *Enzyme and Microbial Technology*, 39, 1002-1007.

50. Terebiznik MR, Buera MP, Pilosof AMR. (1997). Thermal stability of dehydrated α -amylase in trehalose matrices in relation to its phase transitions. *LWT- Food Science and Technology*, 30, 513-518.
51. Teunou E, Fitzpatrick JJ, Synnott EC. (1999). Characterisation of food powder flowability. *Journal of Food Engineering*, 39, 31-37.
52. Truong V, Bhandari BR, Howes T. (2005). Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods. Part I – moisture and glass transition temperature profile during drying. *Journal of Food Engineering*, 71, 55-65.
53. Unde PA, Adagale PV, Syed Imran Hashmi Raheem A. (2011). Effect of different particle sizes of jaggery powder on storability. *World Journal of Agricultural Sciences*, 7(2), 157-160.
54. Wang S, Langrish T. (2010). The use of surface active compounds as additives in spray drying. *Drying Technology*, 28(3), 341-348.
55. Weerachet J, Niti-Att S, Techanuntachaikul O. (2010). Study of spray drying of pineapple juice using maltodextrin as an adjunct. *Chiang Mai Journal Science*, 37(3), 498-506.
56. Yazdanshenas M, Tabatabaeezhad AR, Roostaazad R, Khoshfetrat AB. (2005). Full scale analysis of apple juice ultrafiltration and optimization of diafiltration. *Separation and Purification Technology*, 47, 52-57.
57. Żulewska J, Barbano DM. (2014). The effect of linear velocity and flux on performance of ceramic graded permeability membranes when processing skim milk at 50°C. *Journal of Dairy Science*, 97(5), 2619-2632.

6. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Urodziłam się 9 lipca 1977 r. w Jeleniej Górze. Egzamin maturalny zdałam w 1995 r. w I LO im. Jana Zamoyskiego w Zamościu, po czym w latach 1995-2000 studiowałam kierunek technologia żywności i żywienie człowieka na Wydziale Technologii Żywności (obecnie Wydział Nauk o Żywności) SGGW w Warszawie. Pracę magisterską pt. „*Badanie degradacji materiałów biologicznie czynnych w czasie suszenia*” wykonywałam w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji pod kierunkiem dr hab. Doroty Witrowej-Rajchert. Po ukończeniu studiów magisterskich w 2000 r. zostałam przyjęta na studia doktoranckie na tym samym wydziale. Pracę doktorską pt. „*Wpływ procesu suszenia rozpyłowego na degradację preparatu α -amylazy z *Aspergillus oryzae**” realizowałam w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji pod kierunkiem Prof. dr hab. Doroty Witrowej-Rajchert oraz w Laboratory of Food Technology (Katholieke Universiteit Leuven, Belgia) pod kierunkiem Prof. Marc’a Hendrickx’a, w czasie rocznego pobytu na tamtejszym uniwersytecie jako stypendystka programu Marie Curie. Pod koniec studiów doktoranckich, od sierpnia do grudnia 2004 r., pracowałam w Krajowym Punkcie Kontaktowym Programów Badawczych UE, biorąc udział w tworzeniu Krajowego i Regionalnego Centrum Informacji dla Naukowców oraz organizacji „Tygodnia Marii Skłodowskiej-Curie” w Warszawie.

Po uzyskaniu stopnia doktora (grudzień 2004 r.) zostałam zatrudniona w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji Wydziału Nauk o Żywności SGGW w Warszawie na stanowisku asystenta, a rok później adiunkta. Tematyka badawcza zespołu katedry obejmuje zagadnienia związane z operacjami jednostkowymi oraz wymianą ciepła i masy w czasie przetwarzania i utrwalania żywności (szczególnie przez suszenie i zamrażanie) oraz właściwościami fizykochemicznymi żywności (m.in. właściwościami sorpcyjnymi, funkcjonalnymi, teksturalnymi, akustycznymi). Profil moich zainteresowań naukowych od początku związany był z tematyką suszenia (w szczególności rozpyłowego) oraz materiałów biologicznie czynnych (w szczególności enzymów), a także z połączeniem tych dwóch kierunków, czyli utrwalaniem termolabilnych materiałów biologicznych poprzez suszenie oraz badaniem wpływu różnych czynników na ich stabilność cieplną. Po kilku latach koncentracji na ww.

tematach podjęłam próby częściowej zmiany kierunku badań i zajęłam się problematyką suszenia miodu. Ten temat również częściowo pokrywał się z moimi poprzednimi zainteresowaniami, ponieważ najbardziej obiecującą metodą suszenia miodu jest suszenie rozpyłowe, a materiał ten można również traktować jako biologicznie czynny ze względu na obecność w nim enzymów. Ścisła współpraca z kierownikiem zespołu (do 2008 r. Prof. dr hab. Dorota Witrowa-Rajchert, od 2008 r. Prof. dr hab. Andrzej Lenart) oraz jego członkami pozwoliła mi podjąć badania w kilku kierunkach, wśród których dominujący jest ten autorski, związany z suszeniem rozpyłowym miodu i materiałów biologicznie czynnych, a pozostałe wynikają ze współpracy z innymi członkami zespołu. Poniżej zaprezentowałam opis moich kierunków badawczych, z przedstawieniem publikacji i doniesień z nimi związanych, według następującej kolejności:

- Inaktywacja i stabilizacja aktywności α -amylazy z *Aspergillus oryzae* (p. 6.1)
- Suszenie rozpyłowe (p. 6.2)
 - Suszenie miodu (p. 6.2.1)
 - Suszenie materiałów biologicznie czynnych (p. 6.2.2)
- Badanie procesu zamrażania i rekrytalizacji w układach modelowych oraz lodach spożywczych (p. 6.3)
- Właściwości teksturalne produktów ekstrudowanych (p. 6.4)

6.1. Inaktywacja i stabilizacja aktywności α -amylazy z *Aspergillus oryzae*

Na temat inaktywacji i stabilizacji aktywności α -amylazy z *Aspergillus oryzae* opublikowałam po uzyskaniu stopnia doktora 5 artykułów, z czego 2 w czasopismach znajdujących się w bazie Web of Science. Część badań prezentowanych w tych publikacjach wykonywałam pod kierownictwem Prof. Marc'a Hendrickx'a w Laboratory of Food Technology (Katholieke Universiteit Leuven, Belgia), w czasie rocznego pobytu na stypendium Marie Curie, w ramach utworzonego tam Marie Curie Training Site: „Enzyme kinetics during thermal and non-thermal food processing”. Część z nich stała się także tematem mojej rozprawy doktorskiej.

Badania nad wpływem zawartości wody na kinetykę inaktywacji cieplnej α -amylazy z *Aspergillus oryzae* (opublikowane w artykułach **1** i **2** oraz prezentowane jako doniesienie **D1**) stały się podstawą wyjaśnienia pozytywnego wpływu suszenia rozpyłowego na aktywność tego enzymu. Aby zbadać stabilność cieplną enzymu przy różnych zawartościach wody, przygotowałam preparaty zawierające badany enzym o różnej aktywności i zawartości wody, susząc sublimacyjnie roztwór enzymu z maltodekstryną, a następnie doprowadzając materiał w postaci proszku do różnych zawartości wody poprzez przetrzymywanie w określonych wilgotnościach względnych (stosując odpowiednie nasycone roztwory soli). Po przygotowaniu 6 preparatów o różnych zawartościach wody badałam wpływ obróbki cieplnej na aktywność enzymu. Kinetykę inaktywacji opisywałam modelem reakcji pierwszego rzędu i modelem czasu śmierci cieplnej. Jedynie w systemie o najniższej zawartości wody 0,029 g H₂O/g s.s. stosowałam model „biphasic”, zakładający istnienie dwóch frakcji enzymu o różnej stabilności cieplnej. Stwierdziłam znaczne zwiększanie stabilności cieplnej α -amylazy wraz z obniżaniem zawartości wody, co prawdopodobnie było wynikiem zmniejszenia możliwości zachodzenia zmian konformacyjnych (prowadzących do denaturacji) w rezultacie ograniczania ruchliwości cząsteczek. Inną możliwą przyczyną stabilizacji enzymu mógł być wpływ węglowodanów, polegający na zastępowaniu w cząsteczce białka enzymatycznego cząsteczek wody niezbędnych do utrzymania natywnej

struktury białka. Istnienie dwóch frakcji enzymu o różnej stabilności cieplnej w systemie o najniższej zawartości wody powiązałam z możliwością występowania maltodekstryny w stanie szklistym, ponieważ zakres temperatur stosowanych podczas badania kinetyki inaktywacji cieplnej był niższy od temperatury przemiany szklistej maltodekstryny przy tej zawartości wody. Stabilna frakcja enzymu, unieruchomiona prawdopodobnie w stanie szklistym, charakteryzowała się mniejszą stałą szybkości reakcji inaktywacji niż frakcja labilna, znajdująca się w częściowo uplastycznionych regionach polimeru.

Wyniki tej części pracy były pomocne w wyłumaczeniu korzystnego wpływu suszenia rozpyłowego preparatu α -amylazy z *Aspergillus oryzae* na zachowanie aktywności enzymu (badania procesu suszenia tego preparatu opisałam w publikacjach **12-15** oraz **17** oraz w p. 6.2.2 niniejszego autoreferatu). Ta metoda suszenia pozwala na otrzymanie preparatu enzymatycznego o wysokiej aktywności, ponieważ w czasie szybkiego odparowania wody następuje równocześnie szybki wzrost odporności α -amylazy na podwyższoną temperaturę, a czas działania podwyższonej temperatury na enzym o niskiej odporności cieplnej (w środowisku o wysokiej zawartości wody) jest bardzo krótki.

Wpływ dodatków stabilizujących na kinetykę inaktywacji cieplnej α -amylazy badałam w ramach szerszego projektu badań stabilności enzymów „Enzyme kinetics during thermal and non-thermal food processing”. Wyniki te są zawarte w publikacjach **3-5**, były też prezentowane w formie doniesienia **D2** na konferencji Młodej Kadry Naukowej PTTŻ. Badanymi dodatkami stabilizującymi były alkohole wielowodorotlenowe i dwucukry: mannitol, laktitol, sorbitol, glicerol, trehaloza, sacharoza. Ponieważ celem tej części pracy była weryfikacja hipotezy o wpływie ilości grup OH w roztworach na efekt stabilizujący zastosowanych substancji stabilizujących (Guiavarc'h i wsp., 2003), ilości dodawanych substancji były dobrane tak, aby zapewnić tę samą liczbę grup OH, ale pochodzących z różnych źródeł. Zastosowanie substancji dodatkowych wpłynęło na zwiększenie stabilności cieplnej α -amylazy, a ten pozytywny wpływ zwiększał się wraz ze wzrostem ich stężenia (zwiększenie to miało charakter wykładniczy). Otrzymane wyniki nie potwierdziły hipotezy o wpływie liczby grup OH w cząsteczce substancji dodatkowej (lub całkowitej liczbie grup OH w jednostce roztworu) na stabilność cieplną α -amylazy. Wykazano, że większy wpływ miało stężenie i rodzaj zastosowanej substancji. W przypadku mannitolu i laktitolu wzrost czasu dziesięciokrotnej redukcji aktywności w stosunku do roztworu buforowego był niewielki. Zastosowanie sorbitolu, glicerolu i trehalozy, zwłaszcza w wyższych stężeniach, spowodowało większy wzrost stabilności enzymu, a najbardziej skutecznym dodatkiem stabilizującym okazała się być sacharoza.

Podsumowując, w tym etapie badań stwierdziłam, że stabilność cieplna α -amylazy z *Aspergillus oryzae*: 1) znacznie wzrastała w środowisku o obniżonej zawartości i aktywności wody, co było prawdopodobnie związane z ograniczeniem ruchliwości cząsteczek oraz zastępowaniem cząsteczek wody strukturalnej stabilizującej natywną strukturę białka enzymatycznego przez cząsteczki węglowodanów pochodzące z nośnika; 2) wzrastała w obecności sorbitolu, glicerolu i trehalozy dużo bardziej niż w przypadku dodatku mannitolu i laktitolu, a najbardziej skutecznym dodatkiem ochronnym była sacharoza; 3) liczba grup OH w cząsteczce substancji dodatkowej (lub całkowitej liczbie grup OH w jednostce roztworu) nie była czynnikiem istotnie wpływającym na stabilność cieplną badanego enzymu.

1. **Samborska Katarzyna**, Guiavarc'h Yann, Van Loey Ann, Hendrickx Marc. 2005. The influence of moisture content on the thermostability of *Aspergillus oryzae* α -amylase. *Enzyme and Microbial Technology*, 37, 167-174.
2. **Samborska Katarzyna**, Witrowa-Rajchert Dorota. 2005. Wpływ zawartości wody na kinetykę inaktywacji cieplnej α -amylazy z *Aspergillus oryzae*. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 44(36) 4s, 94-96.
3. **Samborska Katarzyna**, Guiavarc'h Yann, Van Loey Ann, Hendrickx Marc. 2006. The thermal stability of *Aspergillus oryzae* alpha-amylase in presence of sugars and polyols. *Journal of Food Process Engineering*, 29, 287-303.
4. **Samborska Katarzyna**. 2006. Wpływ dodatków stabilizujących na kinetykę inaktywacji cieplnej α -amylazy z *Aspergillus oryzae*. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4 (49), 32-38.
5. **Samborska Katarzyna**. 2007. Enhancement of thermal stability of *Aspergillus oryzae* alpha-amylase using stabilizing additives. *Acta Agrophysica*, 9(1), 233-244.
- D1. **Samborska Katarzyna**, Guiavarc'h Yann, Van Loey Ann, Hendrickx Marc. 2003. Heat inactivation of *Aspergillus oryzae* α -amylase at high and reduced water content. Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences, Proceedings of 9th PhD Symposium on Applied Biological Sciences, Leuven, Belgium, 16 October 2003, vol 68(3), 247-250.
- D2. **Samborska Katarzyna**. Wpływ dodatków stabilizujących na kinetykę inaktywacji cieplnej alfa-amylazy z *Aspergillus oryzae*. Materiały konferencyjne XI Sesji Młodej Kadry Naukowej PTTŻ, Warszawa 24-25 maja 2006, str. 98.

6.2. Suszenie rozpyłowe

Metoda suszenia rozpyłowego jest tematem spajającym moje autorskie badania naukowe związane zarówno z utrwalaniem termolabilnych materiałów biologicznych, jak i z otrzymywaniem innowacyjnego produktu, jakim jest „miód w proszku”. Ta metoda suszenia jest jedną z najważniejszych technik w przetwórstwie żywności, prowadzącą do otrzymania z wyjściowego płynnego surowca suchego produktu końcowego w postaci proszku, w wyniku jednej ciągłej i krótkiej operacji. Gama produktów otrzymywanych tą metodą jest bardzo szeroka: od mleka w proszku i napojów instant, poprzez dodatki do żywności, jak np. aromaty i barwniki, aż do utrwalanych tą metodą mikroorganizmów i produktów biosyntezy (drożdże, enzymy). W artykule przeglądowym 6, opublikowanym na początkowym etapie działalności naukowej, przedstawiłam specyficzne cechy procesu, scharakteryzowałam podstawowe parametry warunkujące jego przebieg i przedstawiłam zagadnienia związane z suszeniem trzech grup produktów: napojów typu instant, produktów pochodzenia mikrobiologicznego oraz soków owocowych. Omówiłam również aktualne i najnowsze kierunki rozwoju procesu suszenia rozpyłowego. Zdanie kończące artykuł: „Technika ta, ze względu na swoje zalety, z pewnością będzie znajdowała wciąż nowe zastosowania, czy to w odpowiedzi na nowe potrzeby konsumentów, czy też kreując te potrzeby w wyniku nieustającej kreatywności i współpracy technologów i konstruktorów tych urządzeń”, znalazło potwierdzenie po kilku latach, gdy rozpoczęłam badania nad suszeniem rozpyłowym miodu.

6. **Samborska Katarzyna**. 2008. Suszenie rozpyłowe w przemyśle spożywczym. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 63-69

6.2.1. Suszenie miodu

Suszenie miodu to mój autorski temat badawczy, realizowany w całości po uzyskaniu stopnia doktora, od około 2011 r., kiedy rozpoczęłam realizację grantu własnego NCN nt. „Suszenie rozpyłowe miodu oraz preparatów enzymatycznych - próba zmniejszenia dodatku nośnika i degradacji substancji biologicznie czynnych”. W sumie z zakresu tej tematyki opublikowałam w ciągu 5 lat 10 publikacji, z tego połowę

w czasopismach znajdujących się w bazie Web of Science, a najważniejszych 6 (**H1-H6**), łącznie z patentem **H7**, wybrałam jako osiągnięcie stanowiące podstawę postępowania habilitacyjnego. Poniżej przedstawiłam listę oraz opis pozostałych publikacji z tej tematyki, będących podsumowaniem badań wstępnych nt. suszenia miodu oraz spis 16 doniesień naukowych przedstawionych na konferencjach krajowych oraz międzynarodowych, w formie referatów oraz plakatów (doniesienia **D5**, **D13**, **D14** i **D18** zostały wyróżnione przez organizatorów konferencji).

Publikacja **7** była pierwszą, jaka opublikowałam na temat suszenia miodu. We wstępie (jak również w publikacji przeglądowej **9**) przedstawiłam teorię dotyczącą zależności między temperaturą przemiany szklistej materiału poddawanego suszeniu i właściwą temperaturą materiału w czasie suszenia, a możliwością uzyskania proszku. Zakres przedstawionych w niej badań obejmował suszenie rozpyłowe (temperatura powietrza wlotowego 180°C, szybkość zasilania surowcem 0,9 cm³/s) wodnych roztworów miodu wielokwiatowego z maltodekstryną, roztworów modelowych (mieszaniny glukozy i fruktozy z maltodekstryną) o stężeniach 20, 30 i 40% s.s. oraz oznaczenie podstawowych właściwości fizycznych uzyskanych proszków. W przypadku roztworów modelowych widoczny był wzrost wielkości cząstek proszku wraz ze wzrostem stężenia roztworu wyjściowego (tłumaczyłam to wzrostem lepkości roztworów), natomiast proszki miodowe miały zbliżoną wielkość cząstek, niezależnie od stężenia roztworu przed suszeniem. Z różnicami w wielkości cząstek skorelowana była zawartość wody w proszkach, a wynosiła ona od 1,1 do 3,7%. Zauważalny był wzrost zawartości wody wraz ze wzrostem stężenia roztworów modelowych (równocześnie ze wzrostem wielkości cząstek), natomiast parametr ten nie zmienił się istotnie w przypadku proszków miodowych po zwiększeniu stężenia roztworów (nie zmieniła się też wielkość cząstek). Na podstawie różnic pomiędzy właściwościami roztworów modelowych oraz miodu stwierdziłam, że zawarte w miodzie cukry proste nie są substancjami decydującymi o przebiegu suszenia i właściwościach proszku. Uzyskane wielkości współczynników Hausnera i Carra pozwoliły stwierdzić, że proszki charakteryzowały się średnią lub dobrą sypkością. W publikacji **10** rozszerzono zakres prac nad badaniem właściwości suszarniczych roztworów modelowych. Suszeniu poddawano zarówno roztwory glukozy i fruktozy o różnych stężeniach (20, 30 i 40%), jak również ich mieszaninę, z dodatkiem maltodekstryny (stały stosunek s.s. cukrów prostych do maltodekstryny wynosił 1:2). Stwierdzono, że wśród wszystkich roztworów najgorszymi właściwościami suszarniczymi charakteryzował się roztwór fruktozy – prawidłowe suszenie możliwe było tylko przy stężeniu 20%. Związane to było z niższą temperaturą przemiany szklistej fruktozy (10°C) niż glukozy (36°C) (Papadakis i wsp. 2006). Zawartość i aktywność wody w otrzymanych proszkach zależała od stężenia roztworu, wykazując większe wartości przy większych stężeniach. Największą gęstością nasypową charakteryzowały się proszki otrzymane z roztworów 40%-owych. Otrzymane proszki charakteryzowały się dobrą i średnią sypkością oraz błyskawiczną rozpuszczalnością. Oprócz metody rozpyłowej do suszenia miodu zastosowałam również suszenie sublimacyjne (publikacja **8**). Suszono roztwory miodu wielokwiatowego o zawartości s.s. 20 i 30% i stosunku wagowym s.s. miodu do s.s. maltodekstryny 1:2. Przed suszeniem sublimacyjnym roztwory miodu rozlewano do plastikowych pojemników o wymiarach 20×30 mm (warstwie o grubości około 7 mm), a następnie zamrażano w temperaturze -30°C. Zamrożone kostki suszono przez 24 h (temperatura półek 30°C, ciśnienie 63 Pa). Cząstki proszków otrzymanych metodą rozpyłową miały regularne, kuliste kształty. Na podstawie wykonanych zdjęć mikroskopowych stwierdzono, że wzrost stężenia roztworów nie spowodował zmian

rozmiarów cząstek. Susz sublimacyjny otrzymywano w postaci kostek o kształcie pojemników, do których wlewano roztwór przed zamrażaniem. Kostki te rozcierano po suszeniu w młynku na proszek, którego cząstki miały nieregularne kształty, niezależnie od początkowego stężenia roztworów. Proszki otrzymane w wyniku suszenia sublimacyjnego wykazywały istotnie większą zawartość wody (tłumaczono to mniejszymi odległościami jakie ma do pokonania woda w drobnych kroplach w czasie suszenia rozpyłowego). Zauważono też istotny wzrost zawartości wody wraz ze wzrostem stężenia roztworu wyjściowego (przy większej zawartości maltodekstryny opory dyfuzyjnego ruchu masy w czasie suszenia były większe, co ograniczyło stopień usunięcia wody). Proszki miodowe zarówno otrzymane rozpyłowo, jak i sublimacyjnie charakteryzowały się dobrą sypkością oraz błyskawiczną zwilżalnością w wodzie. Ze względu na wysokie koszty suszenia sublimacyjnego, skomplikowaną procedurę i czasochłonność tego procesu, a także konieczność rozdrabniania materiału do postaci proszku oraz podobne właściwości otrzymanych proszków miodowych, stwierdziłam, że dużo korzystniejsze jest zastosowanie suszenia rozpyłowego.

Podsumowując, w badaniach wstępnych nt. suszenia miodu przedstawionych powyżej, stwierdziłam, że: 1) fruktoza charakteryzowała się dużo gorszymi właściwościami suszarniczymi niż glukoza, a występujące w miodzie cukry proste nie były jedynymi substancjami wpływającymi na przebieg suszenia oraz właściwości otrzymywanych proszków; 2) metodą suszenia rozpyłowego oraz sublimacyjnego, stosując maltodekstrynę jako nośnik, można otrzymać „miód w proszku” o korzystnych właściwościach fizycznych, zawierający 33% miodu w suchej substancji; 3) lepsze rezultaty daje zastosowanie suszenia rozpyłowego, ponieważ bezpośrednio po suszeniu uzyskuje się materiał w postaci proszku, proces jest mniej skomplikowany i czasochłonny oraz tańszy niż w przypadku suszenia sublimacyjnego.

7. **Samborska Katarzyna**, Choromańska Aleksandra, Witrowa-Rajchert Dorota, Bakier Sławomir. 2011. Suszenie rozpyłowe miodu pszczelego z maltodekstryną. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 19-23.
8. Jedlińska Aleksandra, **Samborska Katarzyna**, Witrowa-Rajchert Dorota. 2012. Właściwości fizyczne proszków na bazie miodu pszczelego otrzymanych metodą suszenia rozpyłowego i sublimacyjnego. *Acta Agrophysica*, 19(3), 563-574.
9. Jedlińska Aleksandra, **Samborska Katarzyna**, Witrowa-Rajchert Dorota. 2012. Aspekty techniczno-technologiczne suszenia miodu. *Nauki Inżynierskie i Technologie*, 2(5), 35-43.
10. Jedlińska Aleksandra, **Samborska Katarzyna**, Witrowa-Rajchert Dorota. 2012. Właściwości fizyczne proszków otrzymanych metodą suszenia rozpyłowego modelowych roztworów glukozy, fruktozy i ich mieszanin. *Acta Agrophysica*, 19(2), 303-317.
- D3. **Samborska Katarzyna**, Choromańska Aleksandra, Witrowa-Rajchert Dorota, Bakier Sławomir. Suszenie miodu pszczelego. Materiały konferencyjne II Sympozjum Inżynierii Żywności, 9-11 czerwca 2010 r., str. 118.
- D4. Jedlińska Aleksandra, **Samborska Katarzyna**, Witrowa-Rajchert Dorota. Właściwości fizyczne proszków otrzymanych poprzez suszenie rozpyłowe roztworów modelowych glukozy, fruktozy i ich mieszanin. Materiały konferencyjne XL Sesji Naukowej Komitetu Nauk o Żywności Polskiej Akademii Nauk, Warszawa, 30 czerwca-1 lipca 2011 r., str. 96.
- D5. **Samborska Katarzyna**, Supera Paulina. Właściwości fizyczne miodu pszczelego suszonego rozpyłowo z dodatkiem maltodekstryny i gumy arabskiej. Materiały konferencyjne V Konferencji Naukowej „Właściwości geometryczne, mechaniczne i strukturalne surowców i produktów spożywczych”, Marózek k. Olsztynka, 24-27 maja 2011 r., str. 30.
- D6. **Samborska Katarzyna**, Bieńkowska B. Zmiany właściwości fizycznych miodu suszonego rozpyłowo w czasie przechowywania. Materiały konferencyjne Konferencji Naukowej „Metody fizyczne w badaniu środowiska rolno-spożywczego i leśnego”, Białowieża, 7-9 września 2011 r., str. 98-99.
- D7. **Samborska Katarzyna**, Czelejewska Monika. Wpływ obróbki termicznej oraz suszenia na właściwości fizyko-chemiczne wybranych miodów. Materiały konferencyjne VIII Konferencji

- Naukowej PTTŻ z cyklu Jakość i Bezpieczeństwo Żywności, Warszawa, 23-24 listopada 2011 r., str. 61.
- D8. Kruszewski Bartosz, Jedlińska Aleksandra, Antczak Michał, Lipińska Ewa, **Samborska Katarzyna**, Witrowa-Rajchert Dorota. Wpływ procesu fermentacji oraz suszenia rozpyłowego na aktywność biologiczną miodu gryczanego. Materiały konferencyjne III Sympozjum Inżynierii Żywności, Warszawa 26-27 czerwca 2012 r, str. 59.
- D9. **Samborska Katarzyna**, Witrowa-Rajchert Dorota. Suszenie miodu – stan wiedzy, wyzwania i perspektywy. Materiały konferencyjne III Sympozjum Inżynierii Żywności, Warszawa, 26-27 czerwca 2012, str. 97.
- D10. **Samborska Katarzyna**, Langa Elwira, Pomarańska-Łazuka Wanda. Próba zastosowania kazeinianu sodu jako substancji ułatwiającej suszenie rozpyłowe miodu. Materiały konferencyjne XV Konferencji Naukowo-Technicznej BEMS, Koszalin-Kołobrzeg, 5-8 września 2012 r., str. 149.
- D11. **Samborska Katarzyna**, Śledź Magdalena, Witrowa-Rajchert Dorota. Badanie wpływu wstępnej obróbki enzymatycznej roztworów miodu za pomocą glukooksydazy na przebieg suszenia rozpyłowego oraz właściwości otrzymanych proszków. Materiały konferencyjne IV Sympozjum Inżynierii Żywności, Warszawa, 1-2 lipca 2014 r., str. 143.
- D12. **Samborska Katarzyna**, Śledź Magdalena, Kamińska-Dwórznicza Anna, Witrowa-Rajchert Dorota. A new method to obtain honey powder containing a reduced amount of the carrier material. Materiały konferencyjne 1st Congress on Food Structure Design, Porto, 14-17 października 2014 r., str. 127.
- D13. **Samborska Katarzyna**, Kamińska-Dwórznicza Anna, Witrowa-Rajchert Dorota, Bakier Sławomir, Miastkowski Krzysztof. Badanie wpływu obróbki wstępnej miodu za pomocą ultrafiltracji na przebieg procesu suszenia rozpyłowego oraz właściwości otrzymanych proszków. Materiały konferencyjne Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Metody fizyczne w badaniu środowiska rolno-spożywczego i leśnego”, Malinówka k. Ełku, 9-11 września 2015 r., str. 51.
- D14. **Samborska Katarzyna**, Jaworski Paweł, Kamińska-Dwórznicza Anna, Witrowa-Rajchert Dorota. Właściwości fizyczne miodów suszonych rozpyłowo. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Inżynieria rolnicza w ochronie i kształtowaniu środowiska”, Lublin, 23-24 września 2015 r.
- D15. **Samborska Katarzyna**, Jaworski Paweł, Kamińska-Dwórznicza Anna. Właściwości sorpcyjne proszków otrzymanych poprzez suszenie rozpyłowe soków owocowych i miodów. Materiały konferencyjne IX Konferencji Naukowej „Jakość i Bezpieczeństwo Żywności”, Warszawa, 17-18 listopada 2015 r. str. 56.
- D16. **Samborska Katarzyna**, Sokołowska Paulina, Kamińska-Dwórznicza Anna, Gondek Ewa, Jakubczyk Ewa, Witrowa-Rajchert Dorota. Czy możliwe jest polepszenie właściwości suszarniczych miodu za pomocą procesów membranowych? XXIII Sympozjum Naukowe „Postęp Naukowo-Techniczny i Organizacyjny w Rolnictwie”, Zakopane, 1-5 lutego 2016 r.
- D17. **Katarzyna Samborska**, Paulina Sokołowska, Karolina Szulc. Diafiltracja i aglomeracja jako metody poprawy właściwości fizycznych miodu suszonego rozpyłowo. Materiały konferencyjne V Sympozjum Inżynierii Żywności, Warszawa, 21-23 czerwca 2016 r, str. 130.
- D18. **Samborska Katarzyna**, Wasilewska Aleksandra, Witrowa-Rajchert Dorota, Kamińska-Dwórznicza Anna. Wpływ obróbki cieplnej i suszenia na aktywność enzymatyczną miodu. Materiały konferencyjne XVII Konferencji Naukowo-Technicznej BEMS, Białowieża, 21-23 września 2016 r., str. 119.

6.2.2. Suszenie materiałów pochodzenia mikrobiologicznego

Przetwórstwo żywności jest jednym z największych odbiorców preparatów enzymatycznych oraz preparatów zawierających żywe mikroorganizmy, które mają spełnić określoną funkcję w czasie procesu przetwórczego, wśród wszystkich gałęzi przemysłu. Materiały te muszą charakteryzować się wysoką jakością, aby mogły właściwie spełniać swoje funkcje w procesie produkcyjnym. O ich jakości i przydatności decyduje aktywność i zdolność do spełniania określonej funkcji biologicznej, lecz także trwałość, ściśle związana z formą preparatów. Dlatego, celem suszenia jest otrzymanie aktywnych preparatów zdolnych do długiego przechowywania, a celem prowadzonych

przeze mnie badań było określenie wpływu metod i parametrów suszenia na aktywność biologiczną wybranych materiałów pochodzenia mikrobiologicznego bezpośrednio po suszeniu oraz w trakcie przechowywania.

Tematyką badania wpływu procesu suszenia materiałów pochodzenia mikrobiologicznego na ich aktywność biologiczną zajmuję się od czasu wykonywania pracy dyplomowej magisterskiej i doktorskiej. Również w ostatnich latach publikowałam artykuły z tej tematyki, jako wynik prac prowadzonych w ramach grantu własnego NCN pt: „Suszenie rozpyłowe miodu oraz preparatów enzymatycznych - próba zmniejszenia dodatku nośnika i degradacji substancji biologicznie czynnych”.

Pierwszą z moich publikacji dotyczących tych zagadnień, był artykuł przeglądowy **11**. Charakteryzowałam w nim materiały pochodzenia mikrobiologicznego jako obiekty suszenia, opisywałam przyczyny degradacji mikroorganizmów oraz inaktywacji enzymów w czasie suszenia, najczęściej stosowane metody suszenia stosowane do ich odwadniania, jak również metody będące w fazie badań. Kolejne publikacje (**12-15** oraz **17**) dotyczyły wpływu suszenia rozpyłowego, w tym parametrów suszenia oraz dodatków stabilizujących, na aktywność α -amylazy w suszonym preparacie. Wyniki tych badań prezentowałam też na 4 konferencjach naukowych (doniesienia **D20-D23**). W publikacjach **12-15** przedstawiłam wyniki kilkuletnich badań wpływu temperatury powietrza wlotowego (160, 180, 200 i 220°C) i szybkości zasilania surowcem (0,4; 0,8; 1,3 i 1,7 cm³/s) w czasie suszenia rozpyłowego na aktywność α -amylazy z *Aspergillus oryzae* (Fungamyl 800L, Novozymes A/S) w suszonych preparatach otrzymywanych z dodatkiem maltodekstryny, właściwości proszków oraz przebieg procesu suszenia. Przebieg suszenia był ściśle uzależniony od zmian badanych parametrów: temperatury powietrza wlotowego oraz strumienia surowca. Suszenie przy niższych strumieniach surowca prowadziło do uzyskania proszków o niższej zawartości wody, co wynikało z różnic w temperaturze wylotowej powietrza. Zmniejszanie strumienia surowca powodowało zmniejszenie strumienia odparowywanej wody, w rezultacie czego temperatura powietrza wylotowego była wyższa niż przy zastosowaniu wyższych strumieni surowca. Zwiększenie temperatury powietrza wylotowego powodowało lepsze wysuszenie cząstek. Ponadto, rozmiary kropeł przy mniejszych strumieniach surowca są mniejsze (Masters, 1991), co również umożliwia ich lepsze wysuszenie. Podwyższanie temperatury powietrza wlotowego, przy danym strumieniu surowca, powodowało zwiększenie temperatury powietrza wylotowego oraz zmniejszenie zawartości wody w suszach. Strumień surowca miał również wpływ na zużycie ciepła i powietrza podczas procesu suszenia. Znacznie wydajniej, ze względu na ilość ciepła i powietrza zużytego na odparowanie jednostki wody, przebiegało suszenie przy wyższych strumieniach surowca. Aktywność względna α -amylazy w otrzymanych suszach wahała się od 51,9 do 91,8 %. Zależała ona zarówno od zastosowanej temperatury suszenia, jak i strumienia surowca. Susze otrzymane podczas suszenia przy najniższym strumieniu surowca charakteryzowały się najniższą aktywnością względną enzymu, a przy każdej z zastosowanych temperatur powietrza wlotowego zwiększanie strumienia surowca wpływało na zwiększenie aktywności enzymu w suszu. Analizując uzyskane wyniki stwierdziłam, że czynnikiem, który najbardziej wpływał na końcową aktywność enzymu po suszeniu była zawartość wody w proszkach. Jednakże, na podstawie parabolicznego kształtu krzywej obrazującej tę zależność w zakresie wyższych zawartości wody, stwierdziłam, że aktywność względna osiąga maksimum na pewnym poziomie zawartości wody, a dalsze zwiększanie zawartości wody w suszu nie prowadzi do uzyskania większej aktywności względnej. Poziom zawartości wody, odpowiadający maksymalnej aktywności względnej enzymu, nazwałam optymalną

zawartością wody w suszu, ze względu na zachowanie aktywności α -amylazy. Na podstawie danych eksperymentalnych wartość tę oszacowałam na 0,07-0,09 g H₂O/g s.s. Zawartość wody na takim poziomie otrzymano po suszeniu z zastosowaniem większych szybkości zasilania surowcem, wpływających na zwiększenie rozmiarów kropeł w czasie suszenia i przez to powodujących, że suszenie było mniej intensywne.

Inaktywacja enzymów w czasie suszenia jest wywołana głównie działaniem podwyższonej temperatury. Jednakże, zgodnie z teorią przedstawioną przez Masters'a (1991), temperatura materiału w czasie suszenia rozpyłowego, w wyniku tzw. efektu chłodzącego odparowania, osiąga co najwyżej temperaturę powietrza wylotowego, co znacznie ogranicza zachodzenie inaktywacji termicznej. Inaktywacja w czasie suszenia może też mieć charakter ksero-inaktywacji, jeśli przy bardzo intensywnych warunkach suszenia, jak np. w czasie suszenia rozpyłowego z zastosowaniem niższych strumieni surowca, dochodzi do usunięcia z układu również części wody strukturalnej stabilizującej strukturę białka (16, Strumiłło i wsp. 1991). Ten efekt prawdopodobnie był przyczyną obniżenia aktywności względnej enzymu po suszeniu w bardziej intensywnych warunkach, prowadzących do zmniejszenia zawartości wody w suszach. Jak wykazano w toku wcześniejszych badań (p. 6.1) badany enzym charakteryzuje się zwiększoną odpornością na podwyższoną temperaturę w warunkach obniżonej zawartości wody. Właściwość ta sprawia, że po suszeniu rozpyłowym (przy zastosowaniu odpowiednich parametrów suszenia), w czasie którego czas działania podwyższonej temperatury na materiał o wysokiej i średniej zawartości wody, charakteryzujący się mniejszą termostabilnością, jest bardzo krótki, względna aktywność enzymu jest wysoka. Fakt, iż zwiększanie zawartości wody w suszu powyżej wartości nazwanej optymalną nie prowadziło do uzyskania większej aktywności względnej, również był związany z wpływem zawartości wody na stabilność cieplną enzymu. Przy wyższych zawartościach wody stabilność cieplna była niższa, i enzym ulegał degradacji, nawet mimo występowania tzw. efektu chłodzącego odparowania.

Po zakończeniu powyższych badań opublikowałam ponownie artykuł przeglądowy (16), tym razem nt. suszenia rozpyłowego enzymów, będący podsumowaniem tej części badań. Przedstawiam w nim analizę najważniejszych przyczyn inaktywacji enzymów w czasie suszenia rozpyłowego (wraz z podaniem przykładów badań obrazujących opisane mechanizmy), do których zaliczyłam działanie podwyższonej temperatury, niekorzystny wpływ ubytku wody z układu, niekorzystny wpływ adsorpcji białek na powierzchni międzyfazowej oraz uszkodzenia mechaniczne. Opisałam również oraz zilustrowałam przykładami metody i mechanizmy stabilizacji aktywności enzymów w czasie suszenia rozpyłowego, takie jak: zastępowanie wody, stan szklisty oraz adsorpcja międzyfazowa. Kolejne prace z tej tematyki (18 i 19) dotyczyły wpływu suszenia sublimacyjnego oraz dodatków ochronnych na aktywność sacharolityczną drożdży *Saccharomyces cerevisiae* bezpośrednio po procesie suszenia oraz po przechowywaniu. Wyniki tych badań prezentowałam, również w formie referatu, na 2 konferencjach (doniesienia D24-D25). Celem badań przedstawionych w publikacji 18 było zbadanie wpływu rodzaju oraz stężenia substancji ochronnych (glicerol, sacharoza, fruktoza, maltodekstryna) na aktywność sacharolityczną drożdży piekarskich *Saccharomyces cerevisiae* po suszeniu sublimacyjnym oraz przechowywaniu. Stwierdziłam pozytywny wpływ dodatku 4% glicerolu, 8% fruktozy oraz 4 i 8% maltodekstryny na zachowanie aktywności sacharolitycznej drożdży po suszeniu. Drożdże suszone bez żadnych dodatków wykazywały aktywność sacharolityczną na poziomie 34,6% aktywności przed suszeniem, a badane dodatki pozwoliły ją zwiększyć. Najlepszymi właściwościami ochronnymi w czasie suszenia i przechowywania

charakteryzowała się maltodekstryna, jej 8% dodatek pozwolił na otrzymanie drożdży suszonych o aktywności sacharolitycznej na poziomie 69,6% aktywności drożdży przed suszeniem. W publikacji **19** przedstawiłam wpływ temperatury oraz rodzaju opakowania na zmiany aktywności sacharolitycznej drożdży *Saccharomyces cerevisiae* suszonych sublimacyjnie w czasie przechowywania. Drożdże po uprzednim wymieszaniu z maltodekstryną (dodatek 8%), stosowaną jako substancja ochronna, zamrażałam w temperaturze -30°C i suszyłam w temperaturze 40°C przy ciśnieniu 0,63 mbar przez 20 h. Suszone próbki przechowywałam w temperaturze -18, 4 i 25°C w opakowaniach o różnej barierowości. Stwierdziłam, że aby utrzymać aktywność sacharolityczną drożdży suszonych po 12 tyg. przechowywania na poziomie co najmniej 80% aktywności po suszeniu, należy przechowywać je w temperaturze 4°C w opakowaniu o wysokiej barierowości względem tlenu i wody (PETmet/PE) lub w temperaturze -18°C w dowolnym opakowaniu. Aby zapewnić utrzymanie ponad 90% aktywności konieczne jest przechowywanie w wysoce barierowych opakowaniach (PETmet/PE lub PET/AL/PE) w temperaturze -18°C.

W ostatnich latach ponownie zajmowałam się wpływem suszenia rozpyłowego na aktywność preparatu enzymatycznego, tym razem wybranym enzymem była pektynometyloesteraza z *Aspergillus aculeatus*. Wyniki tych prac przedstawiłam w publikacji **20**. Badałam wpływ zmiennej temperatury powietrza wlotowego (160, 180 i 200°C) oraz prędkości obrotowej dysku (34 000, 35 000 i 36 000 obr./min) na aktywność enzymu oraz właściwości fizyczne proszków. Tak jak w przypadku α -amylazy, stwierdziłam ponownie, że suszenie rozpyłowe jest dobrą metodą utrwalania preparatu enzymatycznego, ponieważ względna aktywność enzymu po suszeniu wynosiła od 67,8 do 81,0%. Zastosowanie niższych temperatur suszenia i najwyższej prędkości obrotowej dysku było korzystne z punktu widzenia zachowania aktywności PME. Zwiększanie intensywności procesu suszenia poprzez zwiększanie prędkości obrotowej prowadziło do podwyższenia aktywności względnej PME po suszeniu. Podobną zależność prezentowałam w publikacji **14**: zwiększanie intensywności suszenia preparatu α -amylazy prowadziło do zwiększenia aktywności względnej, co tłumaczyłam szybszym osiągnięciem podwyższonej termoodporności enzymu w środowisku o niskiej zawartości wody. Otrzymane suche preparaty pektynometyloesterazy miały dobrą rozpuszczalność oraz sypkość, a właściwości fizyczne preparatów uzależnione były od parametrów suszenia. Po 12 tygodniach przechowywania średnia aktywność względna PME wynosiła od 75 do 100% w stosunku do aktywności ciekłego preparatu, a więc była na poziomie zbliżonym lub wyższym niż bezpośrednio po suszeniu. Henley i Sadana (1984) przedstawili mechanizm dezaktywacji termicznej enzymów, w którym enzym natywny może przechodzić odwracalnie w formy pośrednie, a każda z tych form może podlegać dezaktywacji nieodwracalnej. Zgodnie z tym modelem można przypuszczać, że w czasie suszenia rozpyłowego następowała częściowo odwracalna inaktywacja PME – po ustaniu działania czynnika denaturującego struktura natywna białka mogła wracać do stanu wyjściowego, dlatego w niektórych wariantach aktywność względna PME po przechowywaniu była wyższa niż bezpośrednio po suszeniu. Wysoka stabilność PME w suszonym preparacie może też wynikać z właściwości ochronnych maltodekstryny, związanych z wytwarzaniem stanu szklistego w czasie suszenia.

Podsumowując, w tym etapie badań stwierdziłam, że 1) metodą suszenia rozpyłowego można otrzymywać preparaty enzymatyczne pektynometyloesterazy z *Aspergillus aculeatus* oraz α -amylazy z *Aspergillus oryzae* w postaci proszku, charakteryzujące się wysoką aktywnością względną enzymów oraz korzystnymi

właściwościami fizycznymi (niska zawartość i aktywność wody, dobra rozpuszczalność i sypkość); 2) w przypadku α -amylazy z *Aspergillus oryzae* istniała pewna zawartość wody w proszku, przy której aktywność względna enzymu była najwyższa. Wartość tę nazwałam optymalną zawartością wody, a zależność wpływu zawartości wody na zachowanie aktywności enzymatycznej tłumaczyłam na podstawie charakterystycznych cech przebiegu suszenia rozpyłowego oraz znajomości stabilności cieplnej enzymu przy różnych zawartościach wody; 3) suszony preparat pektynometyloesterazy charakteryzował się wysoką stabilnością w czasie przechowywania, aktywność względna po 12 tygodniach przechowywania była na poziomie zbliżonym lub wyższym niż bezpośrednio po suszeniu, co tłumaczyłam możliwością odwracalności degradacji następującej w czasie suszenia; 4) aby otrzymać wysoko aktywny preparat drożdży *Saccharomyces cerevisiae* metodą suszenia sublimacyjnego, konieczne było zastosowanie dodatków stabilizujących, np. z grupy węglowodanów, a aby utrzymać aktywność preparatu po 12 tyg. przechowywania na poziomie co najmniej 80% aktywności po suszeniu, należy przechowywać go w temperaturze 4°C w opakowaniu o wysokiej barierowości względem tlenu i wody (np. PETmet/PE) lub w temperaturze -18°C w dowolnym opakowaniu.

11. Witrowa-Rajchert Dorota, **Samborska Katarzyna**. 2002. Metody suszenia mikroorganizmów i produktów syntezy mikrobiologicznej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2(31), 5-15.
12. **Samborska Katarzyna**, Witrowa-Rajchert Dorota. 2002. Effect of spray-drying temperature on the activity of α -amylase. *Acta Agrophysica*, 77, 127-135.
13. **Samborska Katarzyna**, Witrowa-Rajchert Dorota. 2002. Ocena procesu suszenia rozpyłowego handlowego, płynnego preparatu α -amylazy. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 3(32), 170-178.
14. **Samborska K**, Witrowa-Rajchert Dorota, Gonçaves Andre. 2005. Spray drying of α -amylase – the effect of process variables on the enzyme inactivation. *Drying Technology*, 23(4), 941-953.
15. **Samborska Katarzyna**, Witrowa-Rajchert Dorota. 2006. Enzyme spray-drying. The influence of water content on alpha-amylase activity. *Inżynieria Chemiczna i Procesowa*, 27, 559-565.
16. **Samborska Katarzyna**. 2010. Suszenie rozpyłowe enzymów - przyczyny inaktywacji oraz metody i mechanizmy ich stabilizacji. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 6(73), 7-17
17. **Samborska Katarzyna**, Wronka Mariusz, Witrowa-Rajchert Dorota. 2010 Wpływ suszenia rozpyłowego oraz dodatków stabilizujących na degradację preparatu α -amylazy. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 552, 227-236
18. **Samborska Katarzyna**, Drzazga Agata. 2011. Wpływ dodatków stabilizujących na przeżywalność drożdży piekarskich *Saccharomyces cerevisiae* w czasie suszenia sublimacyjnego oraz przechowywania. *Acta Scientiarum Polonorum: Biotechnologia*, 10(3), 5-14.
19. **Samborska Katarzyna**, Drzazga Agata. 2012. Wpływ warunków przechowywania na aktywność sacharolityczną drożdży *Saccharomyces cerevisiae* suszonych sublimacyjnie. *Acta Scientiarum Polonorum: Biotechnologia*, 11(2), 17-26.
20. **Samborska Katarzyna**, Zdrojewska Justyna, Witrowa-Rajchert Dorota, Kamińska-Dwórznička Anna. 2014. Wpływ parametrów suszenia rozpyłowego na aktywność pektynometyloesterazy i właściwości fizyczne suchych preparatów. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 577, 103-114.
- D19. Witrowa-Rajchert Dorota, **Jakubas Katarzyna**. Badanie przeżywalności drożdży piekarskich *Saccharomyces cerevisiae* w czasie suszenia. Materiały konferencyjne XXXII Sesji Naukowej Komitetu Technologii i Chemii Żywności PAN (red. T. Haber, H. Porzucek), Warszawa, 6–7 września 2001. Materiały dostępne na CD-romie (6 stron).
- D20. **Samborska Katarzyna**, Witrowa-Rajchert Dorota. Badanie degradacji α -amylazy w czasie suszenia rozpyłowego. „Jakość i prozdrowotne cechy żywności - Nauka w praktyce”. Materiały konferencyjne VII Sesji Młodej Kadry Naukowej PTTŻ, Wrocław-Oleśnica 21-22 maja 2002, str. 119.
- D21. **Samborska Katarzyna**, Witrowa-Rajchert Dorota. Wpływ wybranych parametrów suszenia rozpyłowego na aktywność α -amylazy i przebieg procesu. Materiały konferencyjne XXXIV Sesji Naukowej Komitetu Nauk o Żywności PAN, Wrocław 10-11 września 2003, str. 299.

- D22. **Samborska Katarzyna**, Witrowa-Rajchert Dorota. 2005. Alpha-amylase spray drying. XI Polskie Sympozjum Suszarnictwa, Poznań 13-16 września 2005, str. 82-83.
- D23. **Samborska Katarzyna**, Wronka Mariusz, Witrowa-Rajchert Dorota. Wpływ dodatków stabilizujących na degradację preparatu α -amylazy w czasie suszenia rozpyłowego. Materiały konferencyjne VII Konferencji Naukowej z cyklu Jakość i Bezpieczeństwo Żywności, Warszawa, 3-4 grudnia 2009 r., str. 84.
- D24. **Samborska Katarzyna**, Drzazga Agata. Przeżywalność drożdży piekarskich *Saccharomyces cerevisiae* w czasie suszenia sublimacyjnego. Jubileuszowa Międzynarodowa Konferencja Naukowa "Techniki i Technologie w Inżynierii Rolniczej", Lublin, 22-24 września 2010 r.
- D25. **Samborska Katarzyna**, Drzazga Agata. Zmiany aktywności sacharolitycznej drożdży *Saccharomyces cerevisiae* suszonych sublimacyjne w czasie przechowywania. Materiały XL Sesji Naukowej Komitetu Nauk o Żywności PAN, Warszawa, 30 czerwca-1 lipca 2011 r., str. 202.

6.3. Badanie procesu zamrażania oraz rekrystalizacji w układach modelowych oraz lodach spożywczych

Prace w zakresie badania procesu zamrażania oraz rekrystalizacji w układach modelowych i lodach spożywczych prowadziłam jako wykonawca w granicę własnym Narodowego Centrum Nauki N312 077 238 pt.: „Otrzymywanie, charakterystyka i badanie wpływu wybranych biopolimerów na przebieg procesu rekrystalizacji w układach modelowych i lodach spożywczych”, którego kierownikiem w latach 2010-2014 była dr inż. Anna Kamińska-Dwórznička. W ramach tych badań określano wpływ substancji ochronnych (alkohol etylowy, chlorek sodu, kwas askorbinowy, kappa karagen i jego kwasowe hydrolizaty) na zakres temperatury krioskopowej i przebieg procesu zamrażania soku z ziemniaka oraz roztworów sacharozy.

W publikacji **21** wykazano, że hydrolizaty kappa karagenu wpływały na przebieg procesu zamrażania i podwyższenie temperatury krioskopowej roztworów sacharozy. Skróceniu uległa faza przemiany fazowej, a wydłużeniu czas domrażania, przy czym całkowity czas zamrażania w odniesieniu do roztworu sacharozy bez dodatków był krótszy. W publikacji **26** przedstawiono, że dodatek substancji ochronnych powodował obniżenie temperatury krioskopowej oraz skrócenie czasu zamrażania. Hydrolizaty kappa karagenu testowano następnie jako stabilizatory, wpływające na przebieg procesu zamrażania oraz ograniczające proces rekrystalizacji w modelowym roztworze sacharozy (**23**), lodach mlecznych (**22**) oraz lodach typu sorbet (**24**). We wszystkich przypadkach wykazano korzystny wpływ tych substancji na ograniczanie rekrystalizacji. W publikacji **25** przedstawiono wyniki badania wpływu różnych mieszanek stabilizujących na przebieg procesu rekrystalizacji w sorbetach truskawkowych. Mój wkład w powstanie tych prac polegał na pomocy w opisie obrazów mikroskopowych kryształów lodu oraz wyznaczeniu rozkładu ich wielkości na podstawie komputerowej analizy obrazu.

21. Kamińska-Dwórznička Anna, Antczak Andrzej, **Samborska Katarzyna**, Pomarańska-Łazuka W. 2013. Wpływ kappa karagenu i jego hydrolizatów na proces zamrażania modelowych roztworów sacharozy. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 575, 63-70.
22. Kamińska-Dwórznička Anna, **Samborska Katarzyna**, Rybak Katarzyna., 2015. Wpływ hydrolizatów kappa karagenu na ograniczenie nadmiernego wzrostu kryształów lodu w lodach mlecznych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 5(102), 87-98.
23. Kamińska-Dwórznička Anna, Antczak Andrzej, **Samborska Katarzyna**, Lenart Andrzej. 2015. Acid hydrolysis of kappa-carrageenan as a way of gaining new substances for freezing process modification and protection from excessive recrystallisation of ice. *International Journal of Food Science and Technology*, 50, 1799-1806.
24. Kamińska-Dwórznička Anna, Matusiak Magdalena, **Samborska Katarzyna**, Witrowa-Rajchert Dorota, Gondek Ewa, Jakubczyk Ewa, Antczak Andrzej. 2015. The influence of kappa

- carrageenan and its hydrolysates on the recrystallization process in sorbet. *Journal of Food Engineering*, 167(B), 162-165.
25. Kamińska-Dwórznička Anna, **Samborska Katarzyna**, Gondek Ewa, Jakubczyk Ewa. 2016. Wpływ stabilizatorów na ograniczenie rekrytalizacji w lodach typu sorbet. *Przemysł Spożywczy*, 70(9), 32-35.
26. Kamińska-Dwórznička Anna, Kozłowska Karolina, **Samborska Katarzyna**, Gondek Ewa, Jakubczyk Ewa. 2016. Wpływ dodatku substancji ochronnych na zakres temperatury krioskopowej i przebieg procesu zamrażania soku z ziemniaka. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 584, 39-46.
- D26. Kamińska-Dwórznička Anna, **Samborska Katarzyna**, Rybak Katarzyna. Wpływ hydrolizatów kaapa karagenu na ograniczenie nadmiernego wzrostu kryształów w lodach mlecznych. Materiały konferencyjne IV Sympozjum Inżynierii Żywności, Warszawa, 1-2 lipca 2014 r., str. 73.
- D27. Kamińska-Dwórznička Anna, **Samborska Katarzyna**, Matusiak Magdalena. Wpływ wybranych stabilizatorów na ograniczenie rekrytalizacji w lodach spożywczych typu sorbet. Materiały konferencyjne „XVI Konferencji Naukowo-Technicznej BEMS”, Lublin, 9-12 września 2014, str. 50.
- D28. Kamińska-Dwórznička Anna, Matusiak Magdalena, **Samborska Katarzyna**, Witrowa-Rajchert D. The influence of kappa carrageenan and its hydrolystaes on recrystallization process in sorbets. Materiały konferencyjne 1st Congress On Food Structure Design, Porto, 14-17 października 2014 r., str. 128.
- D29. Kamińska-Dwórznička Anna, Skrzypczak Paulina, **Samborska Katarzyna**. Enzymatyczne hydrolizaty kappa karagenu jako ochrona przed nadmiernym wyrostem kryształów lodu przy przechowywaniu żywności mrożonej. Materiały konferencyjne Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Metody fizyczne w badaniu środowiska rolno-spożywczeo i leśnego”, Malinówka k. Ełku, 9-11 września 2015 r., str. 29.
- D30. Kamińska-Dwórznička Anna, **Samborska Katarzyna**, Kozłowska Karolina. Wpływ dodatku substancji ochronnych na zakres temperatury krioskopowej i przebieg procesu zamrażania soku z ziemniaka. Materiały konferencyjne IX Konferencji Naukowej „Jakość i Bezpieczeństwo Żywności”, Warszawa, 17-18 listopada 2015 r. str. 32.
- D31. Kamińska-Dwórznička Anna, Rosiak Ewelina, **Samborska Katarzyna**. Wpływ enzymatycznych hydrolizatów kappa karagenu na ograniczenie rekrytalizacji w sorbecie truskawkowym. Materiały konferencyjne V Sympozjum Inżynierii Żywności, Warszawa, 21-23 czerwca 2016 r, str. 63.
- D32. Kamińska-Dwórznička Anna, Tarkowska Sylwia, **Samborska Katarzyna**. Ocena metod badania i opisu procesu rekrytalizacji w układach modelowych i lodach spożywczych. Materiały konferencyjne XVII Konferencji Naukowo-Technicznej BEMS, Białowieża, 21-23 września 2016 r., str. 77.

6.6. Właściwości teksturalne produktów ekstrudowanych

Badania z zakresu właściwości teksturalnych i akustycznych produktów ekstrudowanych prowadziłam we współpracy z innymi członkami zespołu Katedry Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji. W pracy 27 badano wpływ dodatku mąki z żołądzi na wybrane właściwości fizyczne bezglutenowego pieczywa ryżowego otrzymanego metodą ekstruzji. Wykazano, że dodatek mąki z żołądzi pogarszał współczynnik ekspandowania, powodował wzrost gęstości pozornej oraz niewielkie zmniejszenie porowatości, ale nie wpływało to na twardość materiału, określoną za pomocą siły maksymalnej testu penetracji. Badania aktywności akustycznej wykazały, że obie badane próby pieczywa cechowały się znaczną chrupkością. Stwierdzono, że dodatek mąki z żołądzi, poza poprawą walorów żywieniowych, miał również korzystny wpływ na teksturę pieczywa ryżowego. W publikacji 28 przedstawiono wyniki badania właściwości teksturalnych pieczywa chrupkiego ekstrudowanego z dodatkiem fitosteroli, w których stwierdzono, że dodatek ten wpływał na zwiększenie twardości i chrupkości. Mój wkład w powstanie obu tych prac polegał na udziale w interpretacji wyników.

27. Gondek Ewa, Nowak Dorota, Jakubczyk Ewa, Kamińska-Dwórznicza Anna, **Samborska Katarzyna**. 2016. Wybrane właściwości fizyczne ekstrudowanego pieczywa bezglutenowego wzbogaconego dodatkiem mąki z żołądź. *Zeszyty Naukowe Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Witelona w Legnicy*, 20 (3), 33-41.
28. Jakubczyk Ewa, Linde Martyna, Gondek Ewa, Kamińska-Dwórznicza Anna, **Samborska Katarzyna**, Antoniuk Aleksandra. 2015. The effect of phytosterols addition on the textural properties of extruded crisp bread, *Journal of Food Engineering*, 167(B), 156-161.

Spis literatury

1. Guiavarc'h Y.P., Sila, D., Duvetter T., Van Loey A., Hendrickx M.E., 2003. Influence of sugars and polyols on the thermal stability of purified tomato and cucumber pectinmethylesterases: a basis for TTI development. *Enzyme and Microbial Technology*, 33, 544-555.
2. Henley J.P, Sadana A., 1984. A mathematical analysis of enzyme stabilization by a series type mechanism: influence of chemical modifiers. *Biotechnology and Bioengineering*, 26, 959-969.
3. Strumiłło C., Markowski A., Adamiec J. 1991. Selected aspects of drying of biotechnological products. *Drying'91* (eds. AS Mujumdar, J Filkova), Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
4. Masters K. (1991). *Spray drying handbook*, fifth ed. Longman Scientific & Technical, London.

7. Podsumowanie pracy naukowo-badawczej

Publikacje (oryginalne prace twórcze)	34
w tym:	
publikacje w czasopismach z Web of Science	12
publikacje przeglądowe	4
Cytowania według Web of Science	59 (bez autoc. 49)
według Scopus	69 (bez autoc. 54)
Index Hirsha	4
Sumaryczny Impact Factor	19,763
Suma punktów wg listy MNiSW	523
Doniesienia konferencyjne	35
Referaty	10
Patenty	1
Kierownictwo grantu NCN	1

Zestawienie oryginalnych prac twórczych

	Liczba	IF	Punkty wg MNiSW	Numer w autoreferacie
Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Web of Science (po doktoracie)	12	19,763	329	
Drying Technology (2005)	1	1,029	32	14
Enzyme and Microbial Technology (2005)	1	1,705	27	1
Innovative Food Science and Emerging Technologies (2017)	1	3,758	40	H6
International Journal of Food Science and Technology (2015)	3	3×1,504	3×25	H4, H5, 23
Journal of Food Engineering (2015)	2	2×3,199	2×40	24, 28
Journal of Food Process Engineering (2006)	1	0,646	27	3
Journal of Food Processing and Preservation (2014)	1	0,938	20	H3
Polish Journal of Food and Nutrition Sciences (2015)	1	0,679	15	H1
Inżynieria Chemiczna i Procesowa (2006)	1	0,098	13	15
Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się na liście B MNiSW	22		169	
<i>Przed doktoratem</i>	3		24	
Acta Agrophysica (2002)	1		6	12
Żywność. Nauka. Technologia. Jakość (2002)	2		2×9	11, 13
<i>Po doktoracie</i>	19		145	
Acta Agrophysica (2007, 2012)	3		2×5, 1×6	5, 8, 10
Acta Scientiarum Polonorum: Biotechnologia (2011, 2012)	2		2×5	18, 19
Inżynieria i Aparatura Chemiczna (2005)	1		6	2
Nauki Inżynierskie i Technologie (2012)	1		5	9
Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego (2008, 2011)	2		1×6, 1×5	6, 7
Przemysł Spożywczy (2016)	1		13	25
Zeszyty Naukowe PWSZ im. Witelona w Legnicy (2016)	1		7	27
Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych (2016, 2014, 2013, 2010)	5		1×13,	17, 20, 21
Żywność. Nauka. Technologia. Jakość (2006, 2010, 2015)	3		3×9, 1×6	H2, 26
Patenty (po doktoracie)	1		25	H7
SUMA	35	19,763	523	
<i>Przed doktoratem</i>	3	-	24	
<i>Po doktoracie</i>	32	19,763	499	

8. Inne osiągnięcia związane z aktywnością dydaktyczną i organizacyjną

8.1. Działalność dydaktyczna

Rozpoczynając pracę na stanowisku adiunkta, w 2005 r., ukończyłam **Studium Doskonalenia Pedagogicznego** prowadzone na SGGW w Warszawie.

Prowadziłam, i nadal prowadzę, zajęcia dydaktyczne dla studentów następujących kierunków studiów: **technologia żywności i żywienie człowieka, bezpieczeństwo żywności** oraz **towaroznawstwo** na Wydziale Nauk o Żywności, **biotechnologia** na Wydziale Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu (do roku akad. 2013/2014 na Międzywydziałowym Studium Biotechnologii), **ochrona środowiska** na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska, w średnim wymiarze rocznym około 300 h (w tym około 20% stanowią aktualnie wykłady).

Zajęcia prowadzone przeze mnie dla studentów Wydziału Nauk o Żywności należą do grupy **przedmiotów obligatoryjnych, jak i fakultatywnych**. Są one kierowane do studentów przed wyborem specjalności (*innowacyjne procesy i aparatura w inżynierii żywności, rysunek techniczny z elementami maszynoznawstwa, maszynoznawstwo przemysłu spożywczego, inżynieria i aparatura przemysłu spożywczego, inżynieria procesowa, inżynieria żywności, aparatura i inżynieria procesów produkcyjnych*), jak i do studentów specjalności inżynieria żywności (*współczesne trendy w nauce o żywności i żywieniu, innowacyjne procesy i aparatura w inżynierii żywności, technologiczne projektowanie zakładów przemysłu spożywczego, projektowanie produktu, suszarnictwo, odwadnianie i suszenie żywności*).

Zajęcia dla studentów kierunku *biotechnologia* są oferowane zarówno przed wyborem specjalności (*analiza i sterowanie procesów biotechnologicznych, inżynieria procesów biotechnologicznych, przemysłowe procesy biotechnologiczne*), jak i studentom specjalności *biotechnologia spożywcza: bioinżynieria, suszarnictwo produktów biosyntezy i biologicznie aktywnych*. Na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska prowadzę zajęcia z przedmiotu *technologia żywności a środowisko*, kierowanego do studentów kierunku *ochrona środowiska*.

Opracowałam **koncepcję wielu nowych zajęć laboratoryjnych**, przygotowałam samodzielnie konspekty i instrukcje do następujących ćwiczeń: kinetyka reakcji enzymatycznych, dobór parametrów suszenia soku, właściwości fizyczne proszków, właściwości elektryczne produktów spożywczych, reologia. Jestem także (lub byłam) koordynatorem przedmiotów: *inżynieria procesowa, inżynieria żywności, bioinżynieria, technologia żywności a środowisko*.

Wszystkie prowadzone przeze mnie **wykłady** opracowałam samodzielnie w oparciu o najnowszą literaturę, informacje zdobywane na konferencjach naukowych, materiały gromadzone w czasie ich trwania, a także wzbogacając je o najciekawsze wyniki i spostrzeżenia wynikające z prowadzonych przeze mnie badań. Z moich zainteresowań naukowych, skupiających się na tematyce suszenia oraz zagadnień związanych z inaktywacją i stabilizacją materiałów biologicznie czynnych (również w czasie suszenia), wyniknęło opracowanie koncepcji i przygotowanie całości wykładów z przedmiotów *suszarnictwo* oraz *suszarnictwo produktów biosyntezy i biologicznie aktywnych*. Prowadzę je zarówno dla studentów kierunku *technologia żywności i żywienie człowieka*, jak i *biotechnologia*.

Od roku akad. 2009/2010 prowadzę **zajęcia w jęz. angielskim** (wykłady oraz ćwiczenia laboratoryjne) dla studentów studiów wymiennych Erasmus+.

z przedmiotów: *Biotechnology and food engineering in production of some biopolymers, Bioengineering in food industry*, które są autorskim opracowaniem tematyki suszenia i inaktywacji materiałów biologicznie czynnych (przedmiot jako całość opracowany we współpracy z innym członkiem zespołu).

W czasie pracy na Wydziale Nauk o Żywności byłam **promotorem** 8 prac magisterskich oraz 20 inżynierskich, a także **promotorem pomocniczym** w przewodzie doktorskim mgr inż. Aleksandry Jedlińskiej „Optymalizacja otrzymywania proszkowych aromatów spożywczych w skali laboratoryjnej i w warunkach przemysłowych” (postępowanie zakończone w 2016 r.).

W latach 2014-2015 uczestniczyłam w realizowanym przez Wydział Nauk Ekonomicznych SGGW w Warszawie projekcie „**Program doskonalenia dydaktyki SGGW w dziedzinie bioekonomii oraz utworzenia kwalifikacji Młodszy menadżer jakości**”, w ramach którego uczestniczyłam w opracowaniu programu przedmiotu *Gospodarcze znaczenie biotechnologii*.

8.2. Działalność organizacyjna

Od początku mojego zatrudnienia biorę aktywny udział w życiu Katedry, Wydziału i Uczelni. Byłam członkiem Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej oraz komitetów organizacyjnych konferencji organizowanych przez zespół Katedry: V, VII i IX Konferencji z cyklu Jakość i Bezpieczeństwo Żywności (lata 2005, 2009 i 2015), oraz III i V Sympozjum Inżynierii Żywności (lata 2012 i 2016). Byłam redaktorem monografii „Systemy zarządzania bezpieczeństwem i jakością żywności - teraźniejszość i przyszłość”, podsumowującej IX Konferencję Naukową z cyklu Jakość i Bezpieczeństwo Żywności, która odbyła się w dn. 17-18 listopada 2015 r. w Warszawie.

Przez prawie cały okres zatrudnienia pełniłam **funkcje koordynatora lub pełnomocnika Dziekana**. Jako Koordynator ds. Praktyk Zagranicznych (2005-2007) oraz Pełnomocnik Dziekana ds. Współpracy Międzynarodowej (2015-2016) zajmowałam się naborem studentów na wymienne studia i praktyki Erasmus, wyjazdy zagraniczne

w ramach programu CEEPUS oraz ALFABET-Erasmus Mundus. Organizowałam pobyty nauczycieli z uczelni partnerskich programu Erasmus i CEEPUS wizytujących nasz Wydział. Koordynowałam podpisywanie nowych umów z uczelniami partnerskimi w ramach programu Erasmus. Jako Pełnomocnik Dziekana ds. Informatyzacji (2009-2012) oraz Pełnomocnik Dziekana ds. Promocji i Informatyzacji (2012-2016) zajmowałam się opracowaniem oraz aktualizacją zawartości wydziałowej strony internetowej.

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

Od 2011 r. jestem członkiem Polskiego Towarzystwa Agrofizycznego.

8.4. Otrzymane nagrody i wyróżnienia

W czasie pracy na Wydziale Nauk o Żywności SGGW w Warszawie otrzymałam nagrodę JM Rektora SGGW w Warszawie zespołową stopnia II za osiągnięcia naukowe (2007), dwukrotnie nagrodę JM Rektora SGGW w Warszawie indywidualną stopnia III za osiągnięcia organizacyjne (2010, 2011) oraz nagrodę JM Rektora SGGW w Warszawie

zespołową III stopnia za osiągnięcia organizacyjne (2012 r.) (Zał. 4, p.IIJ i p.IIID). Doniesienia naukowe, które prezentowałam w czasie konferencji krajowych i międzynarodowych, w formie plakatów lub wystąpień, były siedmiokrotnie wyróżniane przez organizatorów konferencji (Zał. 4, p. IJJ).

8.5. Współpraca z zagranicą, recenzje publikacji

W czasie trwania studiów doktoranckich (kwiecień-lipiec 2001 r.) przebywałam w Escola Superior de Biotechnologia w Porto (Portugalia), gdzie pod kierownictwem Prof. Pauli Teixeiry realizowałam projekt nt. przeżywalności bakterii *Lactobacillus bulgaricus* w czasie suszenia sublimacyjnego (**program Socrates/Erasmus**). Dwa lata później, w okresie od marca 2003 r. do lutego 2004 r., przebywałam na **stypendium Marie Curie** (program: QOL, numer kontraktu: QLK1-CT-2000-60014, numer stypendysty: QLK1-GH-00-60014-05) w Katholieke Universiteit Leuven (Belgia). Prowadziłam tam badania naukowe w Laboratory of Food Technology pod kierownictwem Prof. Marc'a Hendrickx'a, w ramach utworzonego Marie Curie Training Site: „Enzyme kinetics during thermal and non-thermal food processing”. W czasie trwania stypendium wzięłam udział w seminarium doktoranckim, wygłaszając referat nt. „Heat inactivation of *Aspergillus oryzae* α -amylase” oraz w 9th PhD Symposium on Applied Biological Sciences, prezentując wyniki badań w formie plakatu.

Po zatrudnieniu na stanowisku adiunkta wzięłam udział również w programie **wymiany kadry akademickiej CEEPUS** “For the safe and healthy food and environment in Middle-Europe”, przebywając w dn. od 5 do 11 lutego 2007 r. na stypendium w Corvinus University of Budapest (Węgry) jako nauczyciel wizytujący. Prowadziłam tam autorskie wykłady nt. “The role of water in the activity and stability of sensitive biotechnological products. Drying as a method of preservation” dla studentów specjalizacji *food engineering*.

Wykonałam **22 recenzje publikacji**, w tym:

- 18 do czasopism znajdujących się w bazie Web of Science: Drying Technology (4), Journal of Food Processing and Preservation (4), International Journal of Food Science and Technology (3), LWT - Food Science and Technology (2), Biocatalysis and Biotransformation (1), Journal of Food Safety (1), Journal of Apiculture Science (1), Powder Technology (1), International Journal of Food Engineering (1),
- 4 do czasopism znajdujących się w wykazie B MNiSW: Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych (2), Agricultural Engineering (2).

8.6. Osiągnięcia w zakresie popularyzacji nauki

Od 2005 r. corocznie reprezentowałam Wydział Nauk o Żywności jako ekspert na stoisku wydziałowym w trakcie Dni SGGW – dorocznego pikniku popularyzującego wśród mieszkańców Warszawy działalność naukową i dydaktyczną naszej uczelni. Kilkakrotnie brałam udział w organizacji lekcji pokazowych dla grup przedszkolnych nt. produkcji lodów i właściwości sensorycznych żywności. Na serwerze uczelnianym prowadzę własną stronę www:

http://katarzyna_samborska.users.sggw.pl/

na której podaję informacje nt. aktualnie prowadzonych projektów, naukowo-dydaktycznych wyjazdów zagranicznych oraz publikacji i patentów.

8.7. Konferencje

W czasie trwania studium doktoranckiego wzięłam aktywny udział w 4, a w okresie zatrudnienia jako asystent i adiunkt w 31 konferencjach, w tym 6 międzynarodowych. Prezentowałam wyniki badań w formie plakatów (25) oraz referatów (10). Siedmiokrotnie moje doniesienia zdobywały wyróżnienia organizatorów konferencji (Zał. 4, p.II). Byłam również członkiem komitetów organizacyjnych następujących konferencji:

- V Konferencja Naukowa z cyklu Jakość i Bezpieczeństwo Żywności, Warszawa/Białobrzegi, 17-18 listopada 2005 r.,
- VII Konferencja Naukowej z cyklu Jakość i Bezpieczeństwo Żywności, Warszawa, 3-4 grudnia 2009 r.,
- III Sympozjum Inżynierii Żywności, Warszawa, 26-27 czerwca 2012 r.,
- IX Konferencja Naukowa z cyklu Jakość i Bezpieczeństwo Żywności, Warszawa, 17-18 listopada 2015 r.,
- V Sympozjum Inżynierii Żywności, Warszawa, 21-23 czerwca 2016 r.

8.8. Współpraca z przemysłem

W ramach współpracy z przemysłem trzykrotnie wykonywałam **ekspertyzy** na zamówienie firm zewnętrznych, takich jak: Master Foods Polska, I.P.C. International Pharmaceutical Consulting Sp. z o.o., SEENDICO.

Od 2015 r. jestem wydziałowym koordynatorem klastra „**Żywność dla Zdrowia Food4Good**”, skupiającego firmy produkcyjne, handlowe, technologiczne oraz doradcze, zakładającego pogłębienie współpracy z placówkami naukowo-badawczymi związanymi z rolnictwem, gospodarką żywnościową i zdrowiem oraz innymi krajowymi i zagranicznymi powiązaniem kooperacyjnymi. Funkcję koordynatora powiązania pełni instytucja otoczenia biznesu Centrum Wspierania Innowacji NOVOTEC sp. z o.o

Od października 2016 r. jestem współkoordynatorem działań wynikających z porozumienia o współpracy między SGGW w Warszawie a firmą **PERINO Sp. z o.o.**, mających na celu konsultacje i doradztwo w dziedzinie ogólnej i kierunkowej technologii żywności, opakowań produktów gotowych, procesu mrożenia, technologicznych rozwiązań dla zakładów produkcji spożywczej oraz przechowalnictwa. W tym samym czasie nawiązałam również kontakt z firmą **AGRIS**, zajmującą się produkcją naturalnych soków owocowych i owocowo-warzywnych. Aktualnie prowadzę wstępne badania nad innowacyjną zintegrowaną obróbką membranową soków, prowadzącą do otrzymania nowych produktów. Planowane jest zgłoszenie patentowe oraz wspólna realizacja projektu prowadzące do wdrożenia nowej innowacyjnej technologii na skalę przemysłową.

K. Samborska