

AUTOREFERAT

z opisem osiągnięć naukowych
związanych z postępowaniem habilitacyjnym

dr inż. Karolina Szulc

Wydział Nauk o Żywności
Szkola Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Spis treści

1.	Dane osobowe	5
2.	Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	5
3.	Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych	5
4.	Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789)	6
4.1.	Tytuł osiągnięcia naukowego	6
4.2.	Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia stanowiącego podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego	6
4.3.	Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania	7
4.3.1.	Wstęp.....	7
4.3.2.	Cel naukowy oraz omówienie wyników badań	9
4.3.2.1.	Wpływ składu surowcowego na właściwości fizyko-chemiczne mieszanek na bazie proszków mlecznych.....	15
4.3.2.2.	Możliwości modyfikacji właściwości fizyko-chemicznych mieszanek na bazie proszków mlecznych poprzez zastosowanie aglomeracji	15
4.3.2.3.	Możliwości modyfikacji właściwości fizyko-chemicznych mieszanek na bazie proszków mlecznych poprzez powlekanie.....	21
4.3.2.4.	Podsumowanie.....	23
5.	Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	27
5.1.	Właściwości użytkowe żywności w proszku i rozdrobnionych roślin energetycznych ..	29
5.2.	Zastosowanie β -laktoglobuliny, jako nośnika cholekalcyferolu i palmitynianu retinylu w układach beztłuszczowych	31
5.3.	Tworzenie nowych produktów w proszku	34
6.	Podsumowanie pracy naukowo-badawczej.....	37
7.	Inne osiągnięcia związane z aktywnością dydaktyczną i organizacyjną	39
7.1.	Działalność dydaktyczna.....	39
7.2.	Działalność organizacyjna	40
7.3.	Działalność w towarzystwach naukowych i zespołach eksperckich oraz konsorcjach i sieciach badawczych, recenzje grantów.....	41
7.4.	Otrzymane nagrody i wyróżnienia	42
7.5.	Współpraca z zagranicą, recenzje publikacji	42
7.6.	Osiągnięcia w zakresie popularyzacji nauki	42

7.7. Konferencje	43
7.8. Współpraca z przemysłem	43

1. Dane osobowe

Imię i nazwisko: **Karolina Szulc**
Miejsce pracy: Wydział Nauk o Żywności
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
ul. Nowoursynowska 159c, 02-776 Warszawa

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

- 2008 r. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie**
Wydział Nauk o Żywności
stopień doktora inżyniera nauk rolniczych w dyscyplinie technologii żywności i żywienia
Praca doktorska pt. „Studia nad wpływem aglomeracji na właściwości fizyczne odżywek w proszku dla dzieci” realizowana w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji pod kierunkiem prof. dr hab. Andrzeja Lenarta
- 2008 r. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie**
Wydział Nauk Humanistycznych
Semestralne Studia Podyplomowe w zakresie Doskonalenia Pedagogicznego
uzyskane zaświadczenie: o ukończeniu studium przygotowania pedagogicznego
- 2004 r. Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie**
Wydział Technologii Żywności
kierunek: Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka w dyscyplinie technologii żywności
stopień magistra inżyniera nauk rolniczych
Praca magisterska pt. „Wpływ wilgotności i magazynowania na właściwości płynięcia wybranych mąk pszennych” realizowana w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji pod kierunkiem dr inż. Ewy Domian

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- od 30.12.2009 r. **adiunkt**
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Wydział Nauk o Żywności
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
- 30.12.2008 – 29.12.2009 r. **asystent**
Katedra Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji
Wydział Nauk o Żywności
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

W okresie 13.04. – 13.10.2010 r. (6 miesięcy) oraz 07.04.2013 – 05.04.2014 r. (12 miesięcy) przebywałam na urlopie macierzyńskim i rodzicielskim.

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

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Osiągnięciem naukowym, będącym podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego stanowi cykl sześciu publikacji naukowych powiązanych tematycznie, ujętych pod wspólnym tytułem:

„Wpływ modyfikacji składu surowcowego i procesu technologicznego na właściwości fizyko-chemiczne mieszanek na bazie proszków mlecznych”

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

- H1. **Szulc K.**, Estkowski J., Tuwalski A., Lenart A. (2012). Wpływ aktywności wody na sypkość mleka w proszku o różnym składzie surowcowym. *Acta Agrophysica*, 19(1), 195-202.
MNiSW = 5
- H2. **Szulc K.**, Ostrowska-Ligeża E., Lenart A. (2012). Functional properties of infant milk powder. *Acta Agrophysica*, 19(4), 857-863.
MNiSW = 5
- H3. **Szulc K.**, Lenart A. (2013). Surface modification of dairy powders: Effects of fluid-bed agglomeration and coating. *International Dairy Journal*, 33(1), 55-61.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.05.021>
IF₂₀₁₃ = 2,297, IF_{5-year} = 2,422, MNiSW = 35
- H4. **Szulc K.**, Lenart A. (2016). Effect of composition on physical properties of food powders. *International Agrophysics*, 30(2), 237-243.
DOI: <https://doi.org/10.1515/intag-2015-0084>
IF₂₀₁₆ = 1,069, IF_{5-year} = 1,069*, MNiSW = 25
- H5. **Szulc K.**, Nazarko J., Ostrowska-Ligeża E., Lenart A. (2016). Effect of fat replacement on flow and thermal properties of dairy powders. *LWT – Food Science and Technology*, 68, 653-658.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.060>
IF₂₀₁₆ = 2,711, IF_{5-year} = 3,455, MNiSW = 35
- H6. **Szulc K.**, Zmorzyńska J. (2017). Aglomeracja układów wieloskładnikowych. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 55-59.
MNiSW = 6

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

Sumaryczny **IF** prac stanowiących podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego wynosi **6,077** ($IF_{5\text{-year}}$ 6,946), wartość punktowa **111** pkt wg wykazu czasopism punktowanych MNiSW zgodnie z rokiem publikacji.

4.3. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

4.3.1. Wstęp

W ostatnich latach obserwuje się znaczny wzrost zainteresowania żywnością sproszkowaną, co wymusza potrzebę podwyższania jakości proszków spożywczych, związaną z uzyskaniem optymalnych właściwości, tj. stabilnych w produkcji, obrocie, rehydracji. W opracowaniach wskazano na aglomerację i powlekanie, jako odpowiednie procesy w celu nadania określonych właściwości otrzymanym produktom (Kowalska i Lenart, 2005; Ji i wsp., 2017).

Aglomeracja może być zdefiniowana jako proces powiększania rozmiarów cząstek, w którym drobne cząstki łączą się ze sobą, tworząc porowate struktury o znacznie większych rozmiarach niż materiał pierwotny, przy czym te cząstki są nadal rozpoznawalne (Jinapong i wsp., 2008). W przemyśle spożywczym stosowana jest głównie aglomeracja nawilżeniowa do wytwarzania szerokiej gamy produktów instant. Należą do nich proszki mleczne (odtłuszczone mleko w proszku), napoje w proszku (kawa, herbata, napoje czekoladowe), produkty na bazie skrobi (mieszanki zup, sosów) oraz zagęszczacze do żywności (guma ksantanowa), w których cząstki pierwotne ulegają aglomeracji do granulek o polepszonej dyspersji i zwilżaniu w porównaniu do pierwotnych cząstek (Jeong i wsp., 2019). Zastosowanie cieczy zwilżającej powierzchnię cząstki w procesie aglomeracji jest jedną z najczęstszych metod modyfikacji struktury proszków (Ji i wsp., 2015). Ciecz zwilżająca wpływa na wzrost rozmiarów, gęstość i morfologię cząstek aglomeratów, a rodzaj i stężenie tej cieczy odgrywa ważną rolę w procesie aglomeracji (Srivastava i Mishra, 2010). Jednak różne ciecze mają odmienne możliwości wiązania, wynikające z ich składu chemicznego, stężenia, lepkości i interakcji między cząstkami a cieczą (Ji i wsp., 2015). W systemach żywnościowych na powierzchni cząstek nanosi się ciecz zwilżającą do zwiększenia sił adhezji, tak aby zwilżone cząstki po zderzeniu sklejały się (Ghosal i wsp., 2010).

Technologia złoża fluidalnego, oprócz wykorzystania jej do aglomeracji materiałów sypkich, może być również zastosowana do powlekania cząstek poprzez natryskiwanie ich roztworem powlekającym. Zazwyczaj stosowanym rozwiązaniem (w celu obniżenia ryzyka

aglomeracji) jest umieszczenie dyszy rozpylającej ciecz powlekającą w centralnej części cylindrycznej przegrody, znajdującej się w dolnej części komory. Użycie przegrody wymusza regularną cyrkulację cząstek, zwiększając ich prędkość, a dodatkowy strumień sprężonego powietrza rozbija powstałe w strefie powlekania aglomeraty (Prata i wsp., 2012).

Aglomeracja oraz powlekanie w złożu fluidalnym są dwiema najczęściej stosowanymi technikami do efektywnego nawilżania powierzchni cząstek proszku, zmieniając ich strukturę, a tym samym wpływają na ich właściwości fizyko-chemiczne. W przypadku powlekania w złożu fluidalnym w dolnej części komory za pomocą dyszy rozpylany jest roztwór powlekający do postaci drobnych kropelek, co umożliwia równomierne pokrycie cieczą powierzchni proszków - tworzony jest film na powierzchni materiału (Dewettinck i Huyghebaert, 1999). W procesie aglomeracji, ciecz zwilżającą stosuje się jako substancję do tworzenia połączeń pomiędzy pierwotnymi cząstkami proszku. Tak powstałe aglomeraty mają nie tylko znacznie większe rozmiary cząstek, ale również cechują się znaczną porowatością wewnętrzną (Ji i wsp., 2015). Wiedza o mechanizmach aglomeracji czy powlekania może być istotna w opracowaniu nowych sposobów uzyskania proszków i ich przetwarzania. Poznanie teoretyczne i możliwości modelowania aglomeracji stwarzają szansę optymalizacji i właściwej kontroli tego procesu (da Silva i wsp., 2014). Zastosowanie aglomeracji i/lub powlekania pozwala uzyskać produkty o korzystnych cechach z punktu widzenia bezpieczeństwa i jakości żywności, w tym szczególnie stabilności w czasie przetwarzania i przechowywania. Dodatkowo powlekanie żywności w proszku pozwala na kontrolowane uwalnianie labilnych składników odżywczych, związków lotnych i smakowo-zapachowych oraz ich ochronę przed działaniem czynników zewnętrznych (Karlsson i wsp., 2011).

Proszki mleczne zawierają w składzie chemicznym laktozę, która występuje w postaci amorficznej i/lub krystalicznej. Laktoza w formie amorficznej jest metastabilna i może ulec uplastycznieniu w wyniku działania podwyższonej temperatury i wilgotności. Przejście laktozy z formy amorficznej w krystaliczną prowadzi do istotnych zmian w proszkach mlecznych. Przemiana szklista, zmniejszenie lepkości, wzrost ruchliwości molekularnej cząsteczek to tylko niektóre negatywne zmiany laktozy w tym stanie fizycznym, co w konsekwencji może prowadzić do negatywnych zmian w strukturze proszku, m.in. wydzielania wody na powierzchni, zlepiania cząstek, a tym samym zbrylenia materiału, czy przyspieszenia procesu nieenzymatycznego brązowienia (Morgan i wsp., 2005).

Przedstawione w Osiągnięciu badania są próbą oceny możliwości modyfikacji właściwości fizyko-chemicznych mieszanek na bazie proszków mlecznych o zróżnicowanym składzie surowcowym, w aspekcie aglomeracji i powlekania.

4.3.2. Cel naukowy oraz omówienie wyników badań

Celem naukowym Osiągnięcia, będącego podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r. poz. 1789), **była ocena możliwości modyfikacji właściwości fizyko-chemicznych mieszanek na bazie proszków mlecznych poprzez reformulację składu surowcowego, aglomerację i powlekanie**. Na główny cel badawczy składały się poniższe cele szczegółowe, dotyczące określenia:

- wpływu składu surowcowego na właściwości fizyko-chemiczne mieszanek na bazie proszków mlecznych,
- możliwości modyfikacji właściwości fizyko-chemicznych mieszanek na bazie proszków mlecznych poprzez aglomerację,
- możliwości modyfikacji właściwości fizyko-chemicznych mieszanek na bazie proszków mlecznych poprzez powlekanie.

Metodyka – krótka charakterystyka

Skład **mieszanek** dobierałam w oparciu o symulację składu modyfikowanego mleka w proszku dla niemowląt, którego bazę stanowiły proszki mleczne. **Aglomerację nawilżeniową** prowadziłam w złożu fluidalnym wytwarzanym pneumatycznie (laboratoryjny aglomerator STREA1, Aeromatic-Fielder A.G.) oraz wytwarzanym poprzez mieszanie mechaniczne (laboratoryjny mieszalnik do granulacji materiałów sypkich Plughshare Mixer L5, Lodige). Ciecz nawilżającą w procesie aglomeracji w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym stanowiła woda oraz wodne roztwory: lecytyny, laktozy, sacharozy oraz maltodekstryny, a w aglomeracji poprzez mieszanie mechaniczne woda oraz roztwory maltodekstryny. **Powłokę** na aglomeraty nanosiłam w konfiguracji rozpylania dolnego (układ Wurster) w laboratoryjnym aglomeratorze STREA 1 z możliwością powlekania cząstek w złożu fluidalnym (Aeromatic-Fielder A.G.). Ciecz powlekającą stanowił wodny roztwór laktozy. Dla mieszanek, aglomeratów i powleczonych aglomeratów określiłam wybrane właściwości fizyko-chemiczne. **Zawartość wody** oznaczałam metodą suszarkową, a **aktywność wody** w aparacie HygroLab C1 (Rotronic). **Średnicę cząstek** (medianę) określiłam za pomocą analizatora wielkości cząstek w powietrzu (AWK-V97, Kamika) i dyspergując proszek w etanolu (Cilas 1190, Cilas). **Sypkość** proszków przedstawiłam na podstawie wyróżników sypkości: współczynnika Hausnera i współczynnika Carra,

wyznaczonych w oparciu o wartości **gęstości nasypowej luźnej i utręzionej** (określonej za pomocą objętościomierza wstrząsowego STAV 2003, J. Engelsman A.G.), czasu wysypu 25 cm³ proszku przez szczeliny obracającego się naczynia oraz kąta naturalnego nasypu. **Gęstość pozorną** cząstek oznaczałam za pomocą piknometru helowego Stereopycnometer (Quantachrome Instruments). **Porowatość** złoża cząstek wyznaczałam w oparciu o wartości gęstości nasypowej i pozornej. **Zwilżalność** w wodzie określiłam, jako czas potrzebny do zwilżenia wszystkich cząstek proszku zawartych w masie 10 g. **Kinetykę adsorpcji pary wodnej** określiłam na podstawie przyrostu masy proszku przechowywanego w środowisku o wilgotności względnej RH 75% (nasycony roztwór NaCl) w stałej temperaturze w czasie 24 h. **Właściwości płynięcia** proszków oznaczyłam metodą bezpośredniego ścinania w aparacie (Apek), przystosowanym do procedury pomiarowej zgodnej z teorią Jenike, wyznaczając parametry plastycznego płynięcia (kohezję, wytrzymałość na jednoosiowe ściskanie, funkcję płynięcia, indeks płynięcia). **Strukturę powierzchni cząstek** określiłam na podstawie zdjęć wykonanych za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego (FEI Quanta 200, FEI) **Barwę** proszków wyznaczyłam stosując kolorymetr Minolta CR-300 (Minolta), wyposażony w adapter do materiałów sypkich (CR-A50). Parametry barwy proszku określiłam w oparciu o układ CIE Lab. **Termogramy DSC** wyznaczyłam przy użyciu skaningowego kalorymetru różnicowego Q200 (TA Instruments).

4.3.2.1. Wpływ składu surowcowego na właściwości fizyko-chemiczne mieszanek na bazie proszków mlecznych

Żywność w proszku jest układem złożonym i dynamicznym stąd na właściwości fizyko-chemiczne istotny wpływ wywiera jej skład surowcowy (Murrieta-Pazos i wsp. 2011; Domian i wsp., 2018). W prowadzonych przeze mnie badaniach wykazano wpływ udziału laktozy (publikacja **H1**), tłuszczu mlecznego i palmowego (publikacja **H5**) oraz rodzaju białka i skrobi (publikacja **H4**) na właściwości fizyko-chemiczne mieszanek na bazie proszków mlecznych.

W publikacji **H1** przedstawiłam wpływ udziału laktozy na właściwości fizyko-chemiczne modyfikowanego mleka w proszku dla niemowląt, dostępnego na polskim rynku. Mleko modyfikowane w proszku dobrano w oparciu o różnice w zawartości laktozy w tych produktach, odpowiednio na poziomie 21,0; 40,0 i 57,8%. Wraz z obniżeniem zawartości laktozy w proszku wzrastał udział białka w jego składzie. Zawartość wody w analizowanych proszkach była zbliżona, niezależnie od udziału laktozy, i zawierała się w przedziale od 2,2 do 2,8%. Zmniejszenie udziału laktozy w składzie modyfikowanego mleka w proszku

skutkowało obniżeniem jego gęstości nasypowej. Wykazałam, że obecność laktozy w składzie modyfikowanego mleka miała również istotny wpływ na jego sypkość (ką naturalnego nasypu, czas wysypu, współczynnik Hausnera i współczynnik Carra). Obniżenie udziału laktozy w proszku przyczyniało się do pogorszenia jego sypkości, co wskazuje, że skład chemiczny istotnie wpływa na jego właściwości. Wykazałam, że podwyższona zawartość białka (przy obniżonej zawartości laktozy) w proszkach mlecznych wpływa na silne oddziaływania międzycząsteczkowe przyczyniając się do wzrostu sił kohezji odpowiedzialnych między innymi za sypkość proszku, co zostało również potwierdzone przez innych autorów (Fitzpatrick i wsp., 2007; Crowley i wsp. 2014).

Podjmując współpracę z OSM w Kole, określiłam wpływ rodzaju i ilości tłuszczu na właściwości fizyko-chemiczne proszków mlecznych (publikacja **H5**). Badaniom poddano mleko w proszku pozyskane bezpośrednio z linii produkcyjnej: odtłuszczone (0,40 g tłuszczu/100 g proszku), pełne (26,0 g tłuszczu /100 g proszku) oraz natłuszczone tłuszczem roślinnym (olejem palmowym), przy dwóch poziomach zawartości tłuszczu odpowiednio 6,63 i 25,50 g/100 g proszku. Proszki mleczne natłuszczone tłuszczem roślinnym są produkowane przez mleczarnie głównie na eksport, w tym szczególnie na potrzeby rynków azjatyckich. Stwierdziłam, że rodzaj tłuszczu – pochodzenia zwierzęcego lub roślinnego miał istotny wpływ na właściwości fizyko-chemiczne proszków mlecznych. Zawartość wody w proszkach mlecznych zawierających tłuszcz mleczny była zdecydowanie wyższa (4,3-5 g/100 g) niż w proszkach natłuszczanych tłuszczem roślinnym (2,6 g/100 g). Wzrost zawartości oleju palmowego w proszku mlecznym nie wpływał na jego zawartość wody, co potwierdza wyniki badań prowadzonych przez Martinsa i Kieckbuscha (2010) w odniesieniu do proszków na bazie maltodekstryny wzbogacanych w olej palmowy. Z kolei ilość tłuszczu mlecznego miała istotny wpływ na zawartość wody w analizowanych proszkach mlecznych, tj. wraz ze wzrostem zawartości tłuszczu mlecznego wzrastała zawartość wody w produkcie, co również stwierdzili Fitzpatrick i wsp. (2007) analizując proszki mleczne o różnej zawartości tłuszczu mlecznego (1-75%). Zawartość tłuszczu mlecznego w proszkach mlecznych wpłynęła również istotnie na ich aktywność wody. Odtłuszczone mleko w proszku charakteryzowało się zdecydowanie niższą aktywnością wody w stosunku do pełnego mleka w proszku. Aktywność wody proszków zawierających olej palmowy była istotnie niższa w stosunku do proszków mlecznych zawierających w swoim składzie tylko tłuszcz mleczny. Wartości aktywności wody proszków mlecznych natłuszczanych tłuszczem roślinnym były zbliżone do wartości aktywności wody uzyskanych przez Turchiuli i wsp. (2005), którzy mikrokapsułowali olej roślinny (mieszaninę olejów,

w której dominował olej słonecznikowy), stosując jako nośnik mieszaninę maltodekstryny i gumy arabskiej. Wraz ze wzrostem zawartości tłuszczu w proszku mlecznym następowało zmniejszenie średnicy jego cząstek, co potwierdza wyniki otrzymane przez Fitzpatricka i wsp. (2007) w proszkach mlecznych o różnej zawartości tłuszczu. Ponadto, także rodzaj tłuszczu występującego w proszkach mlecznych miał istotny wpływ na wielkość cząstek. Porównując mleko w proszku zawierające tłuszcz roślinny lub zwierzęcy na poziomie 26 g/100 g proszku, można zaobserwować, że pełne mleko w proszku, zawierające wyłącznie tłuszcz zwierzęcy – tłuszcz mleczny, cechowało się mniejszą średnicą cząstek (55,5 μm) w stosunku do mleka w proszku natłuszczonego tłuszczem roślinnym (61,2 μm). Wzrost zawartości tłuszczu mlecznego w mleku w proszku powodował istotne obniżenie jego gęstości nasypowej, co również wykazano we wcześniejszych badaniach (publikacja **H2**), dotyczących mieszanek tworzonych na bazie proszków mlecznych z dodatkiem nienasyconych kwasów tłuszczowych. Zastąpienie tłuszczu mlecznego tłuszczem roślinnym również przyczyniło się do zmniejszenia wartości tego wskaźnika. W przypadku proszków mlecznych natłuszczanych tłuszczem roślinnym o różnej zawartości oleju palmowego nie zaobserwowano istotnych różnic wartości gęstości nasypowej. Gęstość pozorna odtłuszczonego mleka w proszku była istotnie wyższa w stosunku do gęstości pozornej pełnego mleka w proszku, co powiązane było z jego składem chemicznym. Wzrost zawartości tłuszczu mlecznego wpływał na zmniejszenie gęstości pozornej proszku mlecznego. Także gęstość pozorna proszku mlecznego natłuszczonego tłuszczem roślinnym wzrastała wraz z obniżeniem zawartości oleju palmowego w składzie proszku. Badania prowadzone przez Fitzpatricka i wsp. (2004b) wskazują również na obniżenie gęstości pozornej proszków mlecznych wraz ze wzrostem zawartości tłuszczu mlecznego w materiale. Otrzymane wartości gęstości pozornej proszków mlecznych natłuszczanych tłuszczem roślinnym (1123-1190 kg/m^3) były średnio o 15% niższe w stosunku do wartości gęstości pozornej proszków (zawierających mieszaninę olei roślinnych) otrzymanych przez Turchiuli i wsp. (2005) oraz Fuchsa i wsp. (2006). Wykazałam, że porowatość złoża proszków mlecznych jest ściśle powiązana z ich gęstością nasypową, im niższa wartość gęstości nasypowej, tym porowatość złoża cząstek jest wyższa. Analizowane proszki mleczne o zawartości tłuszczu roślinnego lub zwierzęcego na poziomie 26% cechowały się zbliżoną porowatością złoża cząstek. Zmniejszenie udziału tłuszczu mlecznego w pełnym mleku w proszku przyczyniło się do obniżenia porowatości złoża cząstek odtłuszczonego mleka w proszku. Natomiast odwrotną tendencję zaobserwowano w przypadku proszków mlecznych natłuszczanych tłuszczem roślinnym.

Morfologia cząstek proszku mlecznego i jego skład chemiczny odgrywają istotną rolę w procesach związanych z ich odtwarzaniem w cieczy. W publikacji **H5** wykazałam, że wysoka zawartość tłuszczu w proszkach mlecznych przyczynia się do ich słabej zwilżalności w wodzie. Proszki mleczne, zawierające w swym składzie tłuszcz roślinny lub zwierzęcy na poziomie 26%, wykazywały czas zwilżania powyżej 5 min, co należy rozpatrywać jako zmianę charakteru cząstki proszku na bardziej hydrofobową. Dodatkowo, tłuszcz w proszkach mlecznych może być rozmieszczony na ich powierzchni, szczególnie w tych otrzymanych przy zastosowaniu techniki suszenia rozpyłowego, co w konsekwencji pogarsza jego odtwarzalność w wodzie (Kim i wsp., 2002). Ponadto, proszek mleczny o wysokiej zawartości tłuszczu cechował mniejszy wymiar cząstek i niższe wartości gęstości pozornej w stosunku do odtłuszczonego mleka w proszku, co mogło powodować dodatkowe trudności w penetracji wody do wnętrza cząstki, także ze względu na wzrastające siły kohezji przy mniejszej średnicy cząstek. Taki proszek może długo unosić się na powierzchni wody (czego konsekwencją jest niska zwilżalność) i dopiero łagodne mieszanie układu powoduje jego pełną odtwarzalność w wodzie. Wykazałam, że obniżenie zawartości tłuszczu w mleku w proszku przyczynia się do zdecydowanej poprawy jego zwilżalności (niezależnie od rodzaju występującego w nim tłuszczu), również ze względu na obecność laktozy, która zwiększa rozpuszczalność układu i zmniejsza oddziaływania pomiędzy białkami mleka.

Zdolność proszków mlecznych do płynięcia (sypkość) jest istotnym parametrem podczas napełniania czy opróżniania zbiorników. W zakresie naprężeń konsolidujących 4,86-17,33 kPa rodzaj tłuszczu miał istotny wpływ na przebieg krzywych płynięcia proszków mlecznych (publikacja **H5**). Obserwowano wyraźne dwa pęki krzywych, pierwszy dla proszków zawierających tłuszcz mleczny, drugi dla proszków natłuszczanych olejem palmowym. Na taki przebieg krzywych płynięcia mogła mieć wpływ zawartość wody, wielkość cząstek, a także morfologia powierzchni proszków mlecznych, w tym obecność tłuszczu na powierzchni (Fitzpatrick i wsp. 2004b, 2007, Kim i wsp., 2009). Wzrost udziału tłuszczu mlecznego powodował zwiększenie spójności międzycząsteczkowej (kohezji) w proszku mlecznym. Uzyskane wyniki znajdują potwierdzenie w pracach Fitzpatricka i wsp. (2004a, 2007), którzy udowodnili, że spójność cząstek pełnego mleka w proszku znacznie przewyższa spójność odtłuszczonego mleka w proszku. Proszki mleczne natłuszczone tłuszczem roślinnym charakteryzowały się niskimi wartościami kohezji (poniżej 0,17 kPa), zbliżonymi do wartości otrzymanych w przypadku odtłuszczonego mleka w proszku. Można zatem przypuszczać, że proszki te zawierają niewielką ilość tłuszczu na powierzchni cząstki, a przy tym charakteryzujące się niską zawartością wody (2,6%), co znacznie obniża ich

spójność międzycząsteczkową. Na podstawie indeksu płynięcia badane proszki mleczne zakwalifikowano jako materiał łatwo płynący (mleko pełne w proszku) oraz materiał swobodnie płynący (odtłuszczone mleko w proszku i proszki natłuszczone tłuszczem roślinnym). Powierzchnia cząstek warunkuje siłę oddziaływania między nimi, co z kolei wpływa na ich zachowanie podczas przepływu (Fitzpatrick *wsp.* 2004b). W przypadku pełnego mleka w proszku niewielka średnica cząstek, a także prawdopodobna obecność tłuszczu na powierzchni cząstek, wpływa na wzrost sił adhezji, a tym samym ogranicza swobodny wypływ ze zbiornika (Fitzpatrick, 2007; Kim *i wsp.*, 2009; Murrieta-Pazos *i wsp.*, 2011). W badaniach przeprowadzonych przez Turchiuli *i wsp.*, 2005 oraz Fuchs *i wsp.*, 2006 wykazano, że suszenie rozpyłowe oleju roślinnego na nośniku (mieszaniny maltodekstryny i gumy arabskiej) korzystnie wpływa na ograniczenie ilości tłuszczu obecnego na powierzchni cząstek. Można przypuszczać, że mleko w proszku natłuszczone olejem roślinnym (6,63 i 25,5 g/100 g) zawierało tylko niewielką ilość tłuszczu na powierzchni cząstek, a zatem jego sypkość zbliżona była do sypkości odtłuszczonego mleka w proszku. Z kolei w badaniach prowadzonych przez Fostera *i wsp.* (2005) wykazano, że na podatność mleka w proszku do zbrylania ma wpływ temperatura i obecność tłuszczu powierzchniowego. W pełnotłustym mleku w proszku obserwowana jest zazwyczaj zwiększona ilość tłuszczu na powierzchni cząstek, co może wpływać na cechy mleka w proszku i jego zdolność do tworzenia silnych wiązań międzycząsteczkowych, a tym samym obniżać zdolność do płynięcia. Ponadto, większy rozmiar cząstek mleka natłuszczonego tłuszczem roślinnym, w porównaniu do pełnego mleka w proszku, również przyczynia się do poprawy sypkości. Fitzpatrick *i wsp.* (2004a) wykazali, że wielkość cząstek ma istotny wpływ na zdolność do płynięcia proszków spożywczych (soli, kakao, cukru pudru, celulozy, herbaty w proszku, maltodekstryny, kakao, proszku pomidorowego, mąki pszennej, odtłuszczonego mleka w proszku, mąki kukurydzianej). Wraz z obniżeniem wymiaru cząstek ich sypkość ulega pogorszeniu.

W ramach projektu Iuventus Plus pt. „Wpływ modyfikacji składu surowcowego, zastosowanego procesu technologicznego na właściwości fizykochemiczne i stabilność żywności w proszku dla niemowląt i dzieci”, którego byłam kierownikiem, analizowałam wpływ rodzaju białka oraz skrobi na właściwości fizyko-chemiczne mieszanek białkowo-węglowodanowych – publikacja **H4**. Mieszanki utworzyłam na bazie: laktozy, białka (izolatu białek serwatkowych lub izolatu białka sojowego), skrobi (ryżowej lub pszennej) oraz inuliny z dodatkiem witaminy C. Zastąpienie izolatu białek serwatkowych izolatem białka sojowego przyczyniło się do podwyższenia zawartości wody w mieszance, przy tendencji do obniżenia

aktywności wody. W materiale nastąpił wzrost gęstości nasypowej i pozornej, przy zbliżonej średnicy cząstek. Rodzaj białka w mieszance nie miał istotnego wpływu na porowatość złoza oraz sypkość (wyznaczoną w oparciu o współczynnik Hausnera i współczynnik Carra). Natomiast wykazałam, że zastąpienie w mieszance izolatu białek serwatkowych izolatami białka sojowego przyczyniło się do znacznej poprawy jej zwilżalności. Ogólnie, proszki mleczne o podwyższonej zawartości białka (>80%) cechuje bardzo słaba zwilżalność w wodzie, ze względu na ich silnie hydrofilowy charakter (Hussain i wsp., 2012). Na zwilżalność proszku istotny wpływ ma wielkość cząstek (w tym wewnętrzna porowatość cząstki) oraz wielkość wolnych przestrzeni pomiędzy nimi. Obecność drobnych cząstek i niewielka porowatość złoza utrudnia penetrację wody do ich wnętrza (Hogekamp i Schubert, 2003). Na lepszą zwilżalność mieszanki zawierającej izolat białka sojowego mogła wpłynąć bardziej porowata powierzchnia cząstki. Ponieważ zarówno średnica cząstek, jak i porowatość złoza mieszanek, niezależnie od rodzaju białka, była zbliżona, należy przypuszczać, że skład chemiczny białka również miał istotny wpływ na jego zwilżalność.

Z kolei rodzaj skrobi (ryżowa lub pszenna) w mieszance białkowo-węglowodanowej nie wpływał istotnie na zawartość wody w materiale. Zanotowano natomiast wzrost aktywności wody w mieszaninie ze skrobią pszenną (publikacja **H4**). Ponadto, rodzaj skrobi miał istotny wpływ na rozmiar cząstek, gęstość nasypową i porowatość mieszaniny. Wykazałam, że zastąpienie skrobi ryżowej skrobią pszenną skutkowało obniżeniem średnicy cząstek, wzrostem gęstości nasypowej i gęstości pozornej oraz wzrostem porowatości złoza wieloskładnikowego układu. Natomiast nie miało wpływu na sypkość i zwilżalność mieszanki.

Barwa mieszanek na bazie proszków mlecznych uzależniona była od ich składu surowcowego (publikacja **H4**). Z reguły sproszkowane produkty przemysłu mleczarskiego cechują się znaczną jasnością ($L^* > 85$). Zastąpienie w mieszance białkowo-węglowodanowej izolatu białek serwatkowych izolatami białka sojowego przyczyniło się do obniżenia jasności materiału, podobnie jak zastąpienie w mieszance skrobi ryżowej skrobią pszenną.

4.3.2.2. Możliwości modyfikacji właściwości fizyko-chemicznych mieszanek na bazie proszków mlecznych poprzez zastosowanie aglomeracji

W tej części badań przedstawiłam możliwości stosowania aglomeracji w celu poprawy właściwości fizyko-chemicznych proszków mlecznych. Aglomerację nawilżeniową

przeprowadziłam w warunkach złoża fluidalnego wytwarzanego w sposób pneumatyczny (publikacje **H2**, **H3**, **H4**) oraz wytwarzanego poprzez mieszanie mechaniczne (publikacja **H6**).

Przeprowadziłam aglomerację nawilżeniową w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym mieszanek, których skład odpowiadał składowi modyfikowanego mleka w proszku dla niemowląt. W pracy **H3** badano wpływ rodzaju cieczy zwilżającej zastosowanej w procesie aglomeracji na właściwości funkcjonalne mleka modyfikowanego na bazie laktozy, izolatu białek serwatkowych, skrobi ryżowej i inuliny. Praca ta stanowiła część badań realizowanych w ramach projektu Inventus Plus pt. „Wpływ modyfikacji składu surowcowego, zastosowanego procesu technologicznego na właściwości fizykochemiczne i stabilność żywności w proszku dla niemowląt i dzieci”, którego byłam kierownikiem. Jako ciecz zwilżającą zastosowałam wodę oraz wodne roztwory laktozy, lecytyny oraz sacharozy. W pracy starałam się zapewnić niezmienny skład chemiczny mieszanki (zastosowanie wody w procesie aglomeracji) lub zmieniany tylko nieznacznie (15% roztwór laktozy, 15% roztwór sacharozy). Ponadto wybrałam 2% wodny roztwór lecytyny, ponieważ jest to dobrze znany środek, który sprzyja dyspersji cząstek w wodzie. Zmniejsza on efektywny kąt zwilżania, a tym samym zwiększa zwilżalność materiału (Millgvist-Fureby i Smith, 2007). Zawartość wody w aglomeratach wynosiła poniżej 4,8% i była na akceptowalnym poziomie dla tego rodzaju produktów. Aglomeracja wodą dawała aglomeraty o najwyższej zawartości wody. Podobne wartości zawartości wody zaobserwowali Jinapong i wsp. (2008) w przypadku aglomerowanego mleka sojowego (3,7-5,0%) oraz Szulc i Lenart (2010), analizując aglomeraty kaszek mleczno-zbożowych dla dzieci (3,3-5,5%). Wielkość cząstek zaglomerowanych proszków była około 1,4 razy większa niż w materiale wyjściowym, co jest jednym z efektów aglomeracji (Kowalska i Lenart, 2005; Turchiuli i wsp., 2005; Jinapong i wsp., 2008; Szulc i Lenart, 2010, 2012). Wykazałam, że rodzaj cieczy zwilżającej miał istotny wpływ na wielkość cząstek utworzonych aglomeratów. Aglomeraty otrzymane przy zastosowaniu wody, jako cieczy zwilżającej, charakteryzowały się najmniejszym wymiarem cząstek (187 μm), z kolei aglomerowane roztworem sacharozy największym wymiarem (217 μm). Stwierdziłam, że aglomeracja roztworami cukrów przyczyniła się do otrzymania aglomeratów o największym wymiarze. Jinapong i wsp. (2008) zaobserwowali, że wraz ze wzrostem stężenia maltodekstryny (jako cieczy zwilżającej) od 0 do 10% uzyskano odpowiednio większe cząstki aglomeratów mleka sojowego. Jednak dalszy wzrost stężenia cieczy zwilżającej (15-30%) nie powodował już zwiększenia aglomeratów. Z kolei Szulc i Lenart (2012) zaobserwowali, że aglomerowane odżywki dla dzieci, uzyskane przy użyciu wody, charakteryzowały się większym rozmiarem cząstek w porównaniu z aglomeratami

wytworzonymi przy użyciu 50% roztworu sacharozy. Aglomerowana mieszanka otrzymana z użyciem 15% roztworu laktozy charakteryzowała się szerokim rozkładem wielkości cząstek (publikacja **H3**). Może to wynikać z faktu, że aglomeraty otrzymane przy wyższym stężeniu cukru są bardziej podatne na rozpad większej granulki na kilka mniejszych (Turchiuli i wsp., 2005). Wzrost rozmiaru cząstek przyczynił się do uzyskania materiałów o niższych wartościach gęstości nasypowej luźnej i utręsionej w stosunku do mieszaniny wyjściowej. Na wartości gęstości nasypowej aglomeratów istotny wpływ miał rodzaj i stężenie cieczy wiążącej cząstki. Wykazałam, że niższą gęstością nasypową cechowały się aglomeraty uzyskane przy zastosowaniu wody i roztworu sacharozy, a wyższą aglomeraty otrzymane z roztworem laktozy. Aglomeracja wpłynęła również na podwyższenie porowatości złoża modyfikowanego mleka na bazie skrobi ryżowej. Porowatość złoża cząstek powiązana jest z ich gęstością nasypową. Aglomeraty o niższej gęstości nasypowej, tj. otrzymane przy zastosowaniu wody i roztworu sacharozy wykazywały znacznie wyższą porowatość niż otrzymane przy użyciu roztworu lecytyny lub roztworu laktozy. Zbliżone wartości porowatości uzyskano w przypadku aglomerowanego odtłuszczonego mleka w proszku (Hogecamp i Pohl, 2003) oraz aglomerowanych proszków mleka sojowego (Jinapong i wsp., 2008).

Agglomeraty mleka modyfikowanego na bazie laktozy, izolatu białek serwatkowych, skrobi ryżowej i inuliny charakteryzowały się dobrą sypkością, w oparciu o współczynnik Carra (16,8-20,5%), oraz niską kohezyjnością według współczynnika Hausnera ($<1,26$) (publikacja **H3**). Dobrą sypkość aglomeratów potwierdzono przy pomocy innego wskaźnika – kąta naturalnego zsypania. Aglomeracja mleka modyfikowanego powodowała obniżenie wartości kąta naturalnego zsypania z 54 do 34-40°. Wartości kąta zsypania otrzymanych aglomeratów były zbliżone do wartości dla aglomerowanych napojów kakaowych (25,0-37,7°) uzyskanych przez Shittu i Lawala (2007). Aglomeracja przy użyciu roztworu sacharozy wydaje się korzystna z punktu widzenia poprawy sypkości mieszanek. Mleko modyfikowane aglomerowane wodą cechowało się najniższą sypkością spośród badanych aglomeratów. Właściwości powierzchni cząstek, kształt i rozkład wielkości cząstek są czynnikami wpływającymi na ich sypkość (Dhanalakshmi i wsp., 2011). W procesie aglomeracji powstawały większe cząstki o mniejszej gęstości nasypowej niż materiału wyjściowego, co wpływało na obniżenie kąta naturalnego zsypania, a tym samym poprawę sypkości.

Wykazałam, że aglomeracja w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym wodą i 15% roztworem laktozy mieszanek na bazie laktozy, izolatu białek serwatkowych, skrobi

ryżowej lub pszennej i inuliny nie poprawiła ich zwilżalności w wodzie (publikacja **H4**). Istotny wpływ na zwilżalność mieszanki wywierał jej skład surowcowy. Mieszanki przed i po aglomeracji, niezależnie od rodzaju cieczy zwilżającej, cechowały się czasem zwilżania powyżej 180 s (a nawet >5 min). Jednakże, aglomeraty bardzo szybko odtwarzały się w wodzie przy delikatnym mieszaniu (<5 s). Częstki proszku w kontakcie z wodą bez mieszania bardzo szybko ulegały zwilżeniu na powierzchni, tworząc jednocześnie grudki otoczone kleistą warstwą. Warstwa ta poważnie utrudniała zwilżanie cząstek wewnątrz grudek. Wzrost lepkości na granicy faz proszek/woda, w wyniku pęcznienia białek serwatkowych, mógł powodować zwięzienie porów i trudności w migracji wody do wnętrza cząstek (Chavez Montes i wsp. 2011). Wykazałam, że dopiero zastąpienie w mieszance izolatu białek serwatkowych izolatem białka sojowego przyniosło oczekiwany efekt aglomeracji, co potwierdza, że skład surowcowy miał istotny wpływ na zwilżalność mieszanek. Aglomeracja mieszanki na bazie izolatu białka sojowego i skrobi ryżowej powodowała skrócenie czasu zwilżania z 160 do 80 s, niezależnie od rodzaju cieczy zwilżającej.

Do określenia optymalnych warunków przechowywania żywności zarówno, form proszkowych, jak i aglomerowanych, może być przydatna znajomość kinetyki adsorpcji pary wodnej przez te produkty (publikacja **H3**). Aglomeracja (w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym) wodą lub roztworami cukrów (laktozy, sacharozy) mieszanki na bazie laktozy, izolatu białek serwatkowych, skrobi ryżowej i inuliny wpłynęła na obniżenie adsorpcji pary wodnej z otaczającego środowiska przy wilgotności względnej RH 75%, a tym samym ograniczenie higroskopijności produktu. Wykazałam, że zastąpienie wody roztworami cukrów powodowało obniżenie zdolności adsorpcji pary wodnej przez aglomeraty. Z kolei, kinetyka adsorpcji pary wodnej mieszanek aglomerowanych roztworami cukrów, laktozy lub sacharozy była zbliżona.

Aglomeracja nie tylko wpływała na wzrost rozmiarów cząstek, ale również zmieniała strukturę modyfikowanego mleka na bazie laktozy, izolatu białek serwatkowych, skrobi ryżowej i inuliny (publikacja **H3**). Aglomeraty utworzone przy zastosowaniu wody i roztworu lecytyny charakteryzowały się luźną, porowatą strukturą i nieregularnym kształtem. W przypadku aglomeracji mieszanek roztworami cukrów obserwowałam struktury bardziej zwarte, ale nadal porowate i o nieregularnym zarysie. Zależność ta potwierdza badania prowadzone przez innych autorów dotyczące izolatu białka sojowego instant (Dacanal i Menegalli, 2010), aglomerowanego oleju roślinnego w proszku (Fuchs i wsp., 2006) czy aglomerowanej maltodekstryny (Martins i Kieckbusch, 2008).

Ważna z punktu widzenia konsumenta jest barwa produktu, którą analizowałam na podstawie parametrów barwy L^* , a^* , b^* oraz nasycenia barwy w układzie CIE Lab. Aglomeracja mieszanki na bazie laktozy, izolatu białek serwatkowych, skrobi ryżowej i inuliny wpłynęła na obniżenie parametru barwy L^* (zniejszenie jasności) i $-a^*$ (wzrost udziału barwy zielonej) oraz wzrostu parametru barwy $+b^*$ (wzrost udziału barwy żółtej) i nasycenia barwy (publikacja **H3**). Zaobserwowałam istotne różnice w parametrach barwy L^* , a^* , b^* oraz nasycenia barwy w zależności od rodzaju i stężenia cieczy zwilżającej cząstki w czasie aglomeracji. Zastosowanie 15% roztworu sacharozy przyczyniło się do największych zmian wartości analizowanych parametrów barwy. Zwiększona zawartość wody w aglomeratach w porównaniu ze sproszkowaną mieszaniną mogła być również czynnikiem wpływającym na wartość parametru barwy L^* (jasność) aglomeratów (Telis i Martinez-Navarrete, 2010).

Możliwości modyfikacji właściwości fizyko-chemicznych mieszanek poprzez aglomerację w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym przedstawiłam również w publikacji **H2**. Mieszanki tworzone były na bazie: odtłuszczonego mleka w proszku, pełnego mleka w proszku, koncentratu białek serwatkowych, laktozy i nienasyconych kwasów tłuszczowych. Zastosowałam 15% wodny roztwór laktozy oraz 20% wodny roztwór maltodekstryny jako ciecz zwilżającą podczas aglomeracji mieszanek. Aglomeracja wpłynęła na wzrost rozmiarów cząstek. Wykazałam, że rodzaj cieczy zwilżającej oraz skład surowcowy mieszanki miały istotny wpływ na wielkość cząstek otrzymanych aglomeratów. Wraz ze wzrostem średnicy aglomeratów następowało obniżenie ich gęstości nasypowej. Otrzymane aglomeraty sklasyfikowano jako materiały o dobrej sypkości ze względu na uzyskaną wartość współczynnika Hausnera poniżej 1,2 oraz współczynnika Carra poniżej 18%. Bardzo dobrą sypkość aglomeratów potwierdzał również inny wyróżnik sypkości – czas wysypu przez szczelinę cylindrycznego naczynia (krótszy niż 20 s). Aglomeracja mieszanek, niezależnie od zastosowanej cieczy zwilżającej, spowodowała znaczne skrócenie czasu zwilżania proszku. Przy czym aglomeracja roztworem laktozy była korzystniejsza niż roztworem maltodekstryny. Sproszkowane mieszanki, niezależnie od składu surowcowego, cechowała bardzo dobra rozpuszczalność w wodzie. Aglomeracja nie wpłynęła na zmianę tej właściwości, gdyż zależy ona głównie od składu chemicznego i stanu fizycznego materiału.

Istnieje wiele sposobów aglomeracji proszków, które mają zastosowanie w technologii żywności. Procesy te wpływają na powstawanie różnych struktur aglomeratów, ze względu na różne mechanizmy wzrostu i tworzenia połączeń. W aglomeracji nawilżeniowej istnieje również możliwość granulacji cząstek w mechanicznie wytwarzanym złożu fluidalnym,

w której wykorzystuje się mieszadło umiejscowione na wale do energicznego mieszania proszków podczas podawania cieczy zwilżającej. Stosując ten sposób aglomeracji nawilżeniowej dokonałam modyfikacji właściwości fizyko-chemicznych mieszanek zawierających laktozę, odtłuszczone mleko w proszku lub izolat białka sojowego, olej kokosowy w proszku oraz skrobię ryżową (publikacja **H6**). Ciecz zwilżającą w tym procesie aglomeracji stanowiła woda i wodne roztwory maltodekstryny. Wraz ze wzrostem stężenia roztworów maltodekstryny od 0 do 30% następowało obniżenie aktywności wody otrzymanych aglomeratów (niezależnie od składu mieszanki), przy zbliżonym poziomie zawartości wody. Wykazałam, że aglomeracja, niezależnie od stężenia wodnych roztworów maltodekstryny, znacząco wpłynęła na wzrost wielkości cząstek, wyraźnie przesuując skład granulometryczny w kierunku większych cząstek. Zastosowanie wody, jako cieczy zwilżającej w aglomeracji, powodowało uzyskanie aglomeratów o największych cząstkach. Zwiększenie stężenia roztworu maltodekstryny (od 10 do 30%) przyczyniło się do zmniejszenia rozmiaru cząstek w stosunku do aglomeratów otrzymanych przy udziale wody. Na zwiększenie wymiarów cząstek, w przypadku aglomeracji materiałów rozpuszczalnych w wodzie, dominujący wpływ ma ich powierzchniowe zwilżenie wodą, a mniejszy – udział węglowodanów w cieczy zwilżającej, co potwierdza badania dotyczące sproszkowanych układów wieloskładnikowych (mieszaniny różnych proszków spożywczych) prowadzone przez Domian i Burdzanowską (2006). Gęstość nasypowa otrzymanych aglomeratów, była zdecydowanie mniejsza, niż mieszanki sproszkowanej. Z kolei odwrotną zależność wykazali Ji i wsp. (2016) analizując gęstość nasypową aglomerowanego izolatu białek mleka. Różnice wartości gęstości nasypowej pomiędzy badaniami wynikają najprawdopodobniej ze stosowanej prędkości mieszadła. W pracy Ji i wsp. (2016) stosowano dwa razy większą prędkość mieszadła podczas granulacji, co znacząco wpłynęło na występowanie wysokich sił ścinających, które powodowały powstawanie gęstszych struktur, na skutek usuwania powietrza z wewnętrznych porów powstałej granulki. Wykazałam, że stężenie cieczy zwilżającej podczas aglomeracji mieszanki miało również istotny wpływ na jej gęstość nasypową (publikacja **H6**). Wraz ze wzrostem stężenia maltodekstryny do 20% następowało stopniowe obniżenie gęstości nasypowej aglomeratu. Dalsze zwiększenie stężenia maltodekstryny do 30% nie wpływało na zmianę gęstości. Z kolei gęstość pozorna aglomeratów była zbliżona do gęstości mieszanki sproszkowanej. Aglomeracja wpłynęła na wzrost porowatości cząstek. Zaobserwowano tendencję wzrostu porowatości aglomeratów wraz ze wzrostem stężenia roztworu maltodekstryny do 20%, a dalsze zwiększanie stężenia nie powodowało zmian porowatości. W wyniku aglomeracji wodą nastąpiła poprawa

zwilżalności mieszanek, których czas zwilżania cząstek w wodzie uległ skróceniu o około $\frac{2}{3}$. Wraz ze wzrostem stężenia roztworów maltodektryny do 20% następowało stopniowe wydłużenie czasu zwilżania mieszanek, a dalsze zwiększenie stężenia wpłynęło już nieznacznie. Przyczyny pogarszającej zwilżalności aglomeratów wraz ze wzrostem stężenia cieczy zwilżającej należy upatrywać w właściwościach maltodektryny, którą cechuje słaba zwilżalność w wodzie. Dopiero łagodne mieszanie układu przynosi dobrą odtwarzalność proszku w wodzie.

4.3.2.3. Możliwości modyfikacji właściwości fizyko-chemicznych mieszanek na bazie proszków mlecznych poprzez powlekanie

Powlekanie w złożu fluidalnym to proces, w którym roztwór powlekający rozpylany jest na powierzchnię cząstek, tworząc cienką powłokę (film). Roztwór powlekający to głównie biopolimery rozpuszczone w wodzie, jak białka mleka, gumy, koncentraty białkowe, żelatyna i hydrolizaty skrobiowe (Dhanalakshmi i Bhattacharya, 2011). Powłokę na żywności stosuje się do ochrony materiału przed wilgocią, tlenem, światłem czy innymi składnikami, które mogą być dla niego niekorzystne. Ponadto, dzięki powlekanu rdzenia można dokonywać modyfikacji właściwości fizycznych materiału pierwotnego, np. poprzez zmniejszenie jego higroskopijności czy pylenia, a także maskować zapach lub niepożądany smak produktu (Werner i wsp. 2007; Ronsse i wsp. 2008; Chen i wsp., 2009; Karlsson i wsp. 2011).

Efektom prowadzonych badań, będących częścią projektu Inventus Plus, było przedstawienie możliwości modyfikacji właściwości fizyko-chemicznych mieszanek na bazie proszków mlecznych poprzez powlekanie w złożu fluidalnym (publikacje **H3**, **H4**). Do powlekania aglomeratów w złożu fluidalnym stosowałam 15% wodny roztwór laktozy jako ciecz powlekającą. Należy nadmienić, że analizowane właściwości fizyko-chemiczne powlekanych materiałów sypkich były analizowane wcześniej przez innych badaczy w bardzo ograniczonym zakresie.

Stwierdziłam, że powlekanie w złożu fluidalnym aglomerowanego mleka modyfikowanego zawierającego laktozę, izolat białek serwatkowych, skrobię ryżową i inulinę prowadzi do wzrostu rozmiaru jego cząstek (publikacja **H3**). Wykazałam, że poza tworzeniem powłoki, wystąpiła również dodatkowa aglomeracja badanego materiału w wyniku zderzeń wilgotnych cząstek. Zanim powłoka zestaliła się mogło dojść do utworzenia mostków ciekłych pomiędzy cząstkami, a w wyniku suszenia wznoszącym się ku górze ciepłym

powietrzem (temperatura 50°C) następowało trwałe połączenie w postaci mostków stałych. Również w innych pracach stwierdzono, że dodatkowa aglomeracja materiału jest nieunikniona, gdy wymiar cząstek nie przekracza 100 µm (Jono i wsp., 2000, Murrieta-Pazos i wsp. 2011). Wzrost rozmiarów cząstek aglomerowanego napoju kakaowego w wyniku powlekania obserwowano również w badaniach prowadzonych przez Kowalską i Lenarta (2005). Powlekanie w złożu fluidalnym z zastosowanym układem Wurstera różni się od aglomeracji, ponieważ cząstki cieczy powlekającej rozprowadzane są na powierzchni cząstek stałych poprzez nawarstwianie (Dewettinck i Huyghebaert, 1999). Stąd struktura powlekanych cząstek jest inaczej modyfikowana niż podczas aglomeracji, gdzie następował intensywny wzrost rozmiarów cząstek na skutek łączenia się pierwotnych cząstek. Wykazałam, że w wyniku powlekania aglomeratów nastąpiło zwiększenie ich gęstości nasypowej, przy tendencji do obniżenia ich porowatości, ponieważ struktura materiału stała się bardziej „zwarta”, o zaokrąglonym obrysie granulek (co potwierdziłam analizą morfologii cząstek za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej). Gęstość pozorna cząstek nie uległa znaczącym zmianom, co również obserwowali inni autorzy w późniejszych badaniach powlekania aglomerowanego izolatu białek serwatkowych (Ji i wsp., 2017). Powlekanie przyczyniło się natomiast do istotnej poprawy sypkości materiału. Świadczą o tym obniżone wskaźniki sypkości – współczynnik Hausnera (<1,21) i współczynnik Carra (17,1%) oraz obniżone wartości kąta naturalnego nasypu (<34°). Tak więc, nadanie materiałowi bardziej zwartej struktury, o wygładzonej powierzchni wpłynęło na wzrost sypkości materiału. Na podstawie tych danych wykazałam, że powleczone mieszanki na bazie proszków mlecznych można zakwalifikować jako materiał o dobrej sypkości, który nie będzie stwarzał problemów przy jego transporcie, dozowaniu czy pakowaniu. Powlekanie roztworem laktozy aglomerowanych mieszanek nie przyczyniło się do poprawy ich zwilżalności. Wnikanie wody do wnętrza cząstek niewątpliwie ograniczał skład surowcowy proszku (obecność białka i skrobi). Ponadto, zmniejszona porowatość materiału oraz wygładzona powierzchnia cząstek dodatkowo przyczyniała się do utrudnienia przepływu kapilarnego wody do ich wnętrza. Proszek pozostał cały czas na powierzchni cieczy, a tym samym następował wydłużony proces rehydratacji. Podobnie Ji i wsp. (2017) zaobserwowali długi czas zwilżania (>20 min) powlekanego izolatu białek serwatkowych. Autorzy Ci również obserwowali charakterystyczną kleistą powłokę na warstwie proszku po zetknięciu się cząstek z wodą. Można zatem stwierdzić, że proces powlekania nie wpływa pozytywnie na zwilżalność mieszanek na bazie proszków mlecznych. Powleczone aglomeraty, w stosunku do materiału niepowlekanego, cechowała obniżona zdolność adsorpcji pary wodnej z otaczającego

środowiska o wilgotności względnej RH 75%. Również Kowalska i Lenart (2005), przeprowadzając badania powlekaných napojów kakaowych w proszku, obserwowali podobną zależność.

Powlekanie roztworem laktozy aglomeratów, zawierających laktozę, izolat białek serwatkowych, skrobię ryżową i inulinę, nieznacznie obniżyło jasność materiału (parametr barwy L*), przy tendencji do wzrostu udziału barwy czerwonej (-a*) i żółtej (+b*) mieszanek na bazie proszków mlecznych (publikacja **H4**). Wykazałam, że zmiana barwy powlekanego aglomeratu była efektem nałożenia na niego cienkiej warstwy laktozy.

Termogramy DSC powleczanego aglomeratu miały zbliżony przebieg do ich analogów, tj. nieaglomerowanej i aglomerowanej mieszanki, zawierającej izolat białek serwatkowych, skrobię ryżową i inulinę oraz 60% udział laktozy (publikacja **H4**). W termogramach modyfikowanego mleka w proszku, jego aglomeratu i powleczanego aglomeratu zaobserwowano kolejne charakterystyczne piki. Ostry endotermiczny pik obserwowany w temperaturze 144°C związany był ze znaczną utratą wody przez laktozę krystaliczną. Powyższe wyniki potwierdzają badania proszków mlecznych zawierających w swoim składzie laktozę prowadzone przez Chiou i wsp. (2008). W termogramach modyfikowanego mleka w proszku, jego aglomeratu i powleczanego aglomeratu zaobserwowano kolejne charakterystyczne piki. Wykazałam, że świadczą one o topnieniu laktozy (temperatura około 211-215°C), jako głównego składnika wchodzącego w skład mieszanek, co również potwierdza wcześniejsze badania mleka w proszku dla niemowląt, prowadzone przez Ostrowską-Ligęzę i wsp. (2012). Termogramy wskazały, że zastosowany proces technologiczny (mieszanie, aglomeracja, powlekanie) nie powodował istotnych zmian w stanie fizycznym składników modyfikowanego mleka w proszku.

4.3.2.4. Podsumowanie

Przedstawiony w Osiągnięciu cykl publikacji pozwolił na poszerzenie wiedzy w zakresie zmian właściwości fizyko-chemicznych mieszanek na bazie proszków mlecznych, w aspekcie modyfikacji składu surowcowego oraz aglomeracji i powlekania w złożu fluidalnym.

Wykazałam, że cząstki proszków, różniące się pochodzeniem, składem chemicznym, rozmiarem, mogą istotnie oddziaływać na właściwości fizyko-chemiczne mieszanek na bazie proszków mlecznych. Wraz ze wzrostem zawartości laktozy w układzie następowała poprawa jego sypkości. Obecność tłuszczu mlecznego w mieszankach wiązała się z większą

aktywnością wody, wymiarem cząstek i porowatością złoża. Również natłuszczenie proszku mlecznego tłuszczem roślinnym powodowało wzrost wielkości cząstek, zmniejszenie gęstości i zwiększenie porowatości w porównaniu z odtłuszczonym mlekiem w proszku. Rodzaj tłuszczu w proszkach mlecznych znacząco wpływał na aktywność wody, wielkość cząstek, gęstość nasypową i gęstość pozorną. Proszki mleczne, w którym tłuszcz mleczny został zastąpiony tłuszczem roślinnym, charakteryzowały się większym rozmiarem cząstek, z tendencją do niższej aktywności wody i gęstości nasypowej. Zastąpienie tłuszczu mlecznego tłuszczem roślinnym (olejem palmowym) wpłynęło na poprawę właściwości płynięcia proszków i poprawę ich sypkości. Obecność tłuszczu na powierzchni cząstek proszku mlecznego zwiększa oddziaływania pomiędzy cząstkami, co skutkuje obniżeniem jego sypkości. Można przypuszczać, że mleko w proszku natłuszczone olejem roślinnym zawierało tylko niewielką ilość tłuszczu na powierzchni cząstek, co w powiązaniu z większym wymiarem cząstek (w stosunku do pełnego mleka w proszku) przyczyniło się do poprawy jego właściwości transportowych.

Wykazałam, że aglomeracja nawilżeniowa prowadzona w pneumatycznie lub mechanicznie wytwarzanym złożu fluidalnym istotnie zmienia właściwości fizyko-chemiczne mieszanek na bazie proszków mlecznych. Przy czym głównym czynnikiem determinującym właściwości aglomerowanych mieszanek jest zmiana ich struktury, wywołana danym procesem aglomeracji, a w mniejszym stopniu rodzajem i stężeniem cieczy zwilżającej. Cząstki proszków wchodzących w skład mieszanek, różniące się pochodzeniem, składem chemicznym, mogą tworzyć złoża o zbliżonych właściwościach fizyko-chemicznych. Zastosowane metody aglomeracji różniły się sposobem mieszania cząstek proszków wchodzących w skład mieszanek i mechanizmem powiększania ich wymiarów, dając w efekcie produkty o specyficznej strukturze, charakterystycznej dla danego procesu. Mieszanki tworzone na bazie proszków mlecznych różniły się istotnie od ich aglomeratów. Aglomeracja nawilżeniowa w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym, niezależnie od rodzaju cieczy zwilżającej, prowadziła do wzrostu rozmiaru cząstek proszków. Aglomerowane analogi charakteryzowały się większą porowatością, nieregularnym kształtem i niższą gęstością nasypową oraz bardzo dobrą sypkością. Aglomeraty otrzymane na bazie laktozy, izolatu białek serwatkowych, skrobi ryżowej i inuliny, przy użyciu roztworu sacharozy, cechowały się największym rozmiarem cząstek oraz najlepszą sypkością według oznaczanych wyróżników. Stwierdziłam, że skład surowcowy aglomerowanych mieszanek miał istotny wpływ na ich zwilżalność. Aglomeracja, niezależnie od rodzaju cieczy zwilżającej, nie poprawiała czasu zwilżania mieszanek zawierających m.in. izolat białek

serwatkowych i skrobię ryżową. Zastosowanie drugiej metody aglomeracji, poprzez mieszanie mechaniczne, również potwierdza wpływ procesu na zmianę właściwości fizyko-chemicznych mieszanek na bazie proszków mlecznych, w tym na wzrost rozmiarów cząstek, obniżenie gęstości nasypowej i wzrost porowatości w stosunku do mieszanek przed aglomeracją. Z kolei wzrost stężenia cieczy zwilżającej – maltodekstryny, również przyczyniał się do zmian analizowanych właściwości. Wraz ze wzrostem stężenia maltodekstryny następowało wydłużenie czasu zwilżania mieszanek.

Wykazałam, że modyfikacja powierzchni cząstek mieszanek na bazie proszków mlecznych, poprzez zastosowanie powlekania w złożu fluidalnym, ma znaczący wpływ na ich właściwości fizyko-chemiczne. Naniesiona powłoka zmieniała powierzchnię aglomeratów, dając cząstki o gładszych, opływowych krawędziach. Zastosowanie roztworu laktozy, jako cieczy powlekającej, wpłynęło na poprawę sypkości z tendencją do zwiększania gęstości nasypowej i zmniejszania porowatości powleczonych aglomeratów. Ponadto, wytworzona na powierzchni aglomeratów powłoka istotnie ograniczała kontakt cząstki ze środowiskiem. Laktoza, jako główny składnik mieszanek proszków mlecznych, występowała w stabilnej formie na każdym etapie procesu technologicznego.

Spis literatury

1. Chavez Montes, E., Dogan, N., Nelissen, R., Marabi, A., Ducasse, L., Ricard, G. (2011). Effects of drying and agglomeration on the dissolution of multicomponent food powders. *Chemical Engineering Technology*, 34, 1159-1163.
2. Chen Y., Yang J., Mujumdar A., Dave R. (2009). Fluidized bed film coating of cohesive Geldart group C powders. *Powder Technology*, 18, 466-480.
3. Chiou D., Langrish T.A.G., Braham R. (2008). The effect of temperature on the crystallinity of lactose powders produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 86, 288-293.
4. Crowley S.V., Gazi I., Kelly A.L., Huppertz T., O'Mahon, J.A. (2014). Influence of protein concentration on the physical characteristics and flow properties of milk protein concentrate powders. *Journal of Food Engineering*, 135, 31-38.
5. da Silva C.A.M., Butzge J.J., Nitz M., Taranto O.P. (2014). Monitoring and control of coating and granulation processes in fluidized beds – A review. *Advanced Powder Technology*, 25(1), 195-210.
6. Dacanal G.C., Menegalli F.C. (2009). Experimental study and optimization of the agglomeration of acerola powder in a conical fluid bed. *Powder Technology*, 188, 187-194.
7. Dewettinck K., Huyghebaert A. (1999). Fluidized bed coating in food technology. *Trends in Food Science & Technology*, 10(4-5), 163-168.
8. Dhanalakshmi K., Bhattacharya S. (2011). Compaction agglomeration of corn starch in presence of different binders. *Journal of Food Engineering*, 104, 348-355.
9. Dhanalakshmi K., Ghosal S., Bhattacharya S. (2011). Agglomeration of food powder and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51, 432-441.
10. Domian E., Burdzianowska D., 2006. Wpływ aglomeracji w mechanicznie generowanym złożu fluidalnym na gęstość i porowatość modelowej żywności w proszku. *Inżynieria Rolnicza*, 2(77), 255-261.

11. Domian E., Cenker J., Gorska A., Brynda-Kopytowska A. (2018). Effect of oil content and drying method on bulk properties and stability of powchavezdered emulsions with OSA starch and linseed oil. *LWT – Food Science and Technology*, 88, 95-102.
12. Fitzpatrick J.J., Barringer S.A., Iqbal T. (2004a). Flow property measurement of food powders and sensitivity of Jenike's hopper design methodology to the measured values. *Journal of Food Engineering*, 61, 399-405.
13. Fitzpatrick J.J., Barry K., Cerqueira P.S.M., Iqbal T., O'Neill J., Roos Y.H. (2007). Effect of composition and storage conditions on the flowability of dairy powders. *International Dairy Journal*, 17, 383-392.
14. Fitzpatrick J.J., Iqbal T., Delaney C., Twomey T., Koegh M.K. (2004b). Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. *Journal of Food Engineering*, 64, 435-444.
15. Foster K.D., Bronlund J.E., Paterson A.H.J. (2005). The contribution of milk fat towards the caking of dairy powders. *International Dairy Journal*, 15, 85-91.
16. Fuchs M., Turchiuli C., Bohin M., Cuvelier M.E., Ordonnaud C., Peyrat-Maillard M.N., Dumoulin E. (2006). Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 75, 27-35.
17. Ghosal S., Indira N.T., Bhattacharya S., (2010). Agglomeration of a model food powder: Effect of maltodextrin and gum Arabic dispersions on flow behaviour and compacted mass. *Journal of Food Engineering*, 96, 222-228.
18. Hoge Kamp S., Pohl M. (2003). Porosity measurement of fragile agglomerates. *Powder Technology*, 130, 385-392.
19. Hoge Kamp S., Schubert H. (2003). Rehydration of food powders. *Food Science and Technology International*, 9(3), 223-235.
20. Hussain R., Gaiani C., Scher J. (2012). From high milk protein powders to the rehydrated dispersions in variable ionic environments: a review. *Journal of Food Engineering*, 113, 486-503.
21. Jeong G.Y., Bak H.J., Yoo B. (2019). Physical and rheological properties of xanthan gum agglomerated in fluidized bed: Effect of HPMC as a binder. *International Journal of Biological Macromolecules*, 121, 424-428.
22. Ji J.F., Cronin K., Fitzpatrick J., Fenelon M., Miao S. (2016) The structural modification and rehydration behaviours of milk protein isolate powders: The effect of granule growth in the high shear granulation process. *Journal of Food Engineering*, 189, 1-8.
23. Ji J.F., Cronin K., Fitzpatrick J., Maguire P., Zhang H., Miao S. (2017). Enhanced wetting behaviours of whey protein isolate powder: the different effects of lecithin addition by fluidised bed agglomeration and coating processes. *Food Hydrocolloids*, 71, 94-101.
24. Ji J.F., Cronin K., Fitzpatrick J., Fenelon M., Miao S. (2015). Effects of fluid bed agglomeration on the structure modification and reconstitution behaviour of milk protein isolate powders. *Journal of Food Engineering*, 167, 175-182.
25. Jinapong N., Suphantharika M., Jamnong P. (2008). Production of instant soymilk powders by ultrafiltration, spray drying and fluidized bed agglomeration. *Journal of Food Engineering*, 84, 194-205.
26. Jono K., Ichikawa H., Miyamoto M., Fukumori Y. (2000). A review of particulate design for pharmaceutical powders and their production by spouted bed coating. *Powder Technology*, 113, 269-277.
27. Karlsson S., Rasmuson A., Björn I.N., Schantz S. (2011). Characterization and mathematical modelling of single fluidised particle coating. *Powder Technology*, 207, 245-256.
28. Kim E.H.J., Chen X.D., Pearce D. (2002). Surface characterization of four industrial spray dried powders in relation to chemical composition, structure and wetting property. *Colloids and Surface B: Biointerfaces*, 26, 197-212.
29. Kim E.H.J., Chen X.D., Pearce D. (2009). Surface composition of industrial spray-dried milk powders. Development of surface composition during manufacture. *Journal of Food Engineering*, 94, 163-168.

30. Kowalska J., Lenart A. (2005). The influence of ingredients distribution on properties of agglomerated cocoa products. *Journal of Food Engineering*, 68, 155-161.
31. Martins P.C., Kieckbusch T.G. (2008). Influence of a lipid phase on steam jet agglomeration of maltodextrin powders. *Powder Technology*, 185, 258-266.
32. Millqvist-Fureby A., Smith P. (2007). In-situ lecithination of dairy powders in spray-drying for confectionery applications. *Food Hydrocolloids*, 21, 920-927.
33. Morgan F., Nouzille C.A., Baechler R., Vuataz G., Raemy G. (2005). Lactose crystallisation and early Maillard reaction in skim milk powder and whey protein concentrates. *Lait*, 85, 315-323.
34. Murrieta-Pazos I., Gaiani C., Galet L., Cuq B., Desobry S., Scher J. (2011). Comparative study of particle structure evolution during water sorption: Skim and whole milk powders. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 87, 1-10.
35. Ostrowska-Ligęza E., Szulc K., Wirkowska M., Górńska A., Lenart A. (2012). Influence of agglomeration and coating on oxidation stability of essential unsaturated fatty acids of powdered baby formulas. *Acta Agrophysica*, 19, 77-87.
36. Prata A.S., Maudhuit A., Boillereaux L., Poncelet D. (2012). Development of a control system to anticipate agglomeration in fluidised bed coating. *Powder Technology*, 224, 168-174.
37. Ronsse F., Pieters J.G., Dewettinck K. (2008). Modelling side-effect spray drying in top-spray fluidised bed coating processes. *Journal of Food Engineering*, 86, 529-541.
38. Shittu T.A., Lawal M.O. (2007). Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. *Food Chemistry*, 100, 91-98.
39. Srivastava S., Mishra G. (2010). Fluid bed technology: overview and parameters for process selection. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*, 2, 236-246.
40. Szulc K., Lenart A. (2010). Effect of agglomeration on flowability of baby food powders. *Journal of Food Science*, 75, 274-276.
41. Szulc K., Lenart A. (2012). Water vapour adsorption properties of agglomerated baby food powders. *Journal of Food Engineering*, 109, 135-141.
42. Telis V.R.N., Martinez-Navarrete N. (2010). Application of compression test in analysis of mechanical and colour changes in grapefruit juice powder as related to glass transition and water activity. *LWT – Food Science and Technology*, 43, 744-751.
43. Turchiuli C., Eloualia Z., Mansouri N., Dumoulin E. (2005). Fluidised bed agglomeration: agglomerates shape and end-use properties. *Powder Technology*, 157, 168-175.
44. Werner S.R.L., Jones J.R., Paterson A.H.J., Archer R.H., Pearce D.L. (2007). Air-suspension particle coating in the food industry: part I - state of the art. *Powder Technology*, 171, 25-33.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Pracą naukową zajmuję się od października 2004 r., kiedy rozpoczęłam studia doktoranckie o specjalności: Technologia żywności, biotechnologia żywności, chemia żywności, inżynieria żywności i ocena jakości żywności na Wydziale Technologii Żywności SGGW w Warszawie. Pracę doktorską pt. „Studia nad wpływem aglomeracji na właściwości fizyczne odżywek w proszku dla dzieci” realizowałam w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji pod kierunkiem prof. dr hab. Andrzeja Lenarta. Celem pracy było określenie wpływu aglomeracji nawilżeniowej, poprzez mieszanie w złożu fluidalnym, na wybrane właściwości fizyczne otrzymanych aglomeratów na przykładzie odżywek w proszku dla dzieci. Na podstawie uzyskanych wyników wykazałam, że aglomeracja nadanych mieszanin, niezależnie od rodzaju cieczy zwilżającej, wpłynęła na zwiększenie średnicy

cząstek i porowatości złoża oraz umożliwiła uzyskanie aglomeratu o dobrej sypkości i zwilżalności oraz o obniżonej gęstości nasypowej. Wyznaczona funkcja płynięcia określiła utworzone aglomeraty sproszkowanych odżywek dla dzieci jako materiały słabo kohezyjne, łatwo płynące oraz jako materiały kohezyjne, trudno płynące, w zależności od naprężenia konsolidującego. Z kolei zmiany zdolności adsorpcji pary wodnej przez aglomeraty odżywek w proszku dla dzieci zależały głównie od ich składu surowcowego, a w mniejszym stopniu od ich struktury, związanej ze sposobem aglomeracji i rodzajem cieczy nawilżającej. Część powyższych badań było realizowanych w ramach 2-letniego projektu badawczego – grantu promotorskiego finansowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Wyniki tych badań zostały opublikowane w pracach oryginalnych (publikacje **D3**, **D6**, **D8**, **D9**, **D10**, **D11**, **D12**, **D13**) i monografiach (publikacje **D5**, **D11**). Korzystając z wyników zawartych w pracy doktorskiej (2008 r.) wyjaśniłam właściwości kohezyjne wybranych proszków spożywczych (publikacja **D14** – 2009 r.) oraz wyjaśniłam wpływ składu surowcowego i aglomeracji na właściwości reologiczne (publikacja **D15** – 2009 r.), użytkowe (publikacja **D16** – 2010 r.) i sorpcyjne (publikacja **A2** – 2012 r.) oraz strukturę (publikacja **D15** – 2010 r.) i sypkosć (publikacja **A1** – 2010 r.) odżywek w proszku dla dzieci.

Ponadto wyniki badań wykonanych w ramach pracy magisterskiej pt. „Wpływ wilgotności i magazynowania na właściwości płynięcia wybranych mąk pszennych” (2004 r.) pod kierunkiem dr inż. Ewy Domian były podstawą do przygotowania publikacji na temat wpływu aktywności wody i konsolidacji (publikacja **D1** – 2004 r.) oraz czasu przechowywania (publikacja **D4** – 2005 r.) na właściwości płynięcia mąk pszennych. Wykazałam, że średnica cząstek mąki pszennej razowej była ponad dwukrotnie większa niż mąki pszennej jasnej, co istotnie oddziaływało na jej właściwości płynięcia (sypkosć) (publikacja **D1**). Wraz ze wzrostem rozmiaru cząstek następowała poprawa sypkości mąki pszennej. Stwierdziłam, że magazynowanie wilgotnej mąki pszennej jasnej może powodować wiele trudności z grawitacyjnym wpływem ze zbiornika (publikacja **D4**). Przechowywanie wilgotnej mąki negatywnie wpływało na jej sypkosć. Ze względu na wzrastającą spójność materiału, następowało pogorszenie sypkości mąki wraz z wydłużeniem czasu magazynowania (7 dni).

W trakcie studiów doktoranckich brałam udział w intensywnym programie „Renewable Biomaterials”, prowadzonym w Ghent University w Belgii, w ramach programu Socrates oraz odbyłam trzymiesięczny staż naukowy w Instytucie Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego w Warszawie, w tym również w oddziale zamiejscowym tj. Oddziale Koncentratów w Poznaniu. Ponadto, jako wykonawca uczestniczyłam w projekcie

badawczym pt. „Charakterystyka właściwości fizycznych wieloskładnikowych mieszanin spożywczych w aspekcie metody aglomeracji”, którego kierownikiem była dr inż. Ewa Domian.

W dniu 20 listopada 2008 r. uzyskałam stopień doktora nauk rolniczych w dyscyplinie technologia żywności i żywienia. W grudniu tego samego roku zostałam zatrudniona w Katedrze Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji Wydziału Nauk o Żywności SGGW w Warszawie na stanowisku asystenta, a rok później adiunkta. Po rozpoczęciu pracy kontynuowałam podjętą tematykę badawczą, związaną z wpływem procesu technologicznego na właściwości fizyko-chemiczne żywności w proszku, jednocześnie poszukując nowych kierunków własnego rozwoju, w tym również uczestnicząc w licznych projektach badawczych (5 projektów, w tym 2 w charakterze kierownika projektu). W obszarze moich zainteresowań naukowych można wyróżnić następujące kierunki badawcze:

- właściwości użytkowe żywności w proszku i rozdrobnionych roślin energetycznych,
- zastosowanie β -laktoglobuliny, jako nośnika cholekalcyferolu i palmitynianu retinylu w układach beztłuszczowych,
- tworzenie nowych produktów w proszku,
- suszenie rozpyłowe soku z czarnego bzu.

5.1. Właściwości użytkowe żywności w proszku i rozdrobnionych roślin energetycznych

W związku z moim udziałem w projekcie badawczym pt. „Charakterystyka właściwości fizycznych wieloskładnikowych mieszanin spożywczych w aspekcie metody aglomeracji”, ukazały się dwie prace, dotyczące wpływu aglomeracji nawilżeniowej pneumatycznie i mechanicznie wytwarzanym złożu fluidalnym na skład granulometryczny modelowych mieszanin w proszku. Analizowałam wpływ prędkości mieszadła impelerowego, czasu mieszania, ilości i rodzaju cieczy zwilżającej oraz składu mieszaniny na skład granulometryczny aglomeratów, otrzymanych na drodze aglomeracji poprzez mieszanie mechaniczne (publikacja **D7**), oraz wpływ temperatury powietrza wlotowego, rozmiaru dyszy rozpryskującej ciecz, ilości, rodzaju i natężenia przepływu cieczy zwilżającej oraz składu mieszaniny na skład granulometryczny aglomeratów uzyskanych poprzez zastosowanie aglomeracji w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym (publikacja **D2**). Wykazałam, że wśród analizowanych zmiennych, najbardziej znaczący wpływ na wielkość aglomeratów miała ilość i rodzaj cieczy zwilżającej oraz skład mieszaniny. Optymalnymi parametrami do uzyskania największych cząstek było użycie jako cieczy zwilżającej wody w ilości 70 g na

400 g mieszaniny, przy prędkości mieszadła 200 obr/min w czasie 180 s. Zastosowanie w procesie aglomeracji dyszy rozpylającej wpłynęło na otrzymanie aglomeratów o mniejszym wymiarze w stosunku do aglomeratów uzyskanych bez zastosowanie dyszy rozpryskowej. Zwiększenie prędkości mieszadła impelerowego z 100 do 200 obr/min powodowało wzrost rozmiarów granulek, z kolei dalszy wzrost prędkości mieszadła, do 283 obr/min, powodował obniżenie wielkości cząstek. Także wydłużenie czasu mieszania (granulacji) powodowało nieznaczne zmniejszenie rozmiaru aglomeratów (publikacja **D7**). Zastosowane w czasie aglomeracji nawilżeniowej w pneumatycznie wytwarzanym złożu fluidalnym parametry procesowe również miały wpływ na skład granulometryczny wytworzonych aglomeratów, a szczególnie ilość i rodzaj cieczy zwilżającej. Określono optymalną ilość dodawanej cieczy zwilżającej – wody na poziomie 60 g na 300 g mieszaniny. Z kolei temperatura aglomeracji (powietrza wlotowego), natężenie przepływu cieczy zwilżającej, jak i średnica dyszy rozpryskującej ciecz miały znacznie mniejszy wpływ na rozmiar aglomeratów i były uzależnione od rodzaju materiału poddanego aglomeracji (publikacja **D2**).

W publikacji **D18** przedstawiłam próby przewidywania właściwości użytkowych mieszaniny na podstawie bilansów masowych poszczególnych składników (proszków spożywczych). Mieszanie układów wieloskładnikowych jest procesem, w którym charakterystyka składników, typ urządzenia mieszającego oraz warunki prowadzenia procesu mają istotny wpływ na jego przebieg. Wykazałam, że istotny wpływ na przebieg procesu mieszania wywierają proporcje udziałów masowych lub objętościowych w mieszaninie. Analizowane wieloskładnikowe mieszaniny (odżywki w proszku dla dzieci) cechowało zróżnicowanie wybranych właściwości fizycznych: średnicy cząstek, gęstości nasypowej, porowatości i rozpuszczalności. Stwierdzono, że istnieje możliwość przewidywania gęstości nasypowej i rzeczywistej oraz porowatości określonej mieszany na podstawie bilansu masowego poszczególnych składników – proszków spożywczych. Wyznaczone empirycznie i na podstawie równania wartości gęstości nasypowej i porowatości mieszanin były zbliżone. Z kolei wyznaczona na podstawie równania zawartość i aktywność wody oraz średnica cząstek mieszanin w stosunku do wartości empirycznej była niższa. Wykazałam, że prognozowanie sypkości (kąt zsypania, współczynnik Hausnera) czy rozpuszczalności produktu, będącego mieszaniną proszków spożywczych w oparciu o udziały poszczególnych składników może być utrudnione. Wartości wyznaczone z równania były zawyżone w stosunku do wartości empirycznych sypkości i rozpuszczalności badanych mieszanin, niezależnie od ich składu.

Badania z zakresu określenia gęstości nasypowej i pozornej oraz porowatości pociętego i zmielonego materiału roślinnego z roślin energetycznych były efektem współpracy z pracownikami Wydziału Inżynierii Produkcji Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie (publikacja **D20**). Stwierdzono, że różnice gęstości nasypowej i pozornej oraz porowatość są cechą gatunkową roślin energetycznych (ślazowca pensylwańskiego, miskanta olbrzymiego, róży wielokwiatowej) i wynikały ze sposobu rozdrobnienia materiału. Gęstość nasypowa materiału pociętego była o 17% większa niż zmielonego. Ponadto, gęstość nasypowa pociętej róży wielokwiatowej była ponad 3,5-krotnie większa, niż pozostałych roślin energetycznych. Wykazano, że stopień rozdrobnienia wpływa na gęstość pozorną ślazu pensylwańskiego i róży wielokwiatowej. Mielenie roślin energetycznych wpłynęło na wzrost gęstości pozornej. Odwrotna tendencja występowała w przypadku miskanta olbrzymiego jako materiału służącego do produkcji brykietów. Porowatość rozdrobnionego materiału z roślin energetycznych zależała od gatunku rośliny i sposobu jego rozdrobnienia oraz wymiarów i kształtu cząstek.

5.2. Zastosowanie β -laktoglobuliny, jako nośnika cholekalcyferolu i palmitynianu retinyli w układach beztłuszczowych

Wzbogacanie żywności w witaminy, które są rozpuszczalne w tłuszczach, odbywa się zazwyczaj z zastosowaniem nośników, będących pochodnymi tłuszczów. Rosnąca świadomość żywieniowa konsumentów powoduje, że coraz częściej nabywają oni produkty o obniżonej zawartości tłuszczu lub beztłuszczowe, co może przyczynić się do niedoborów niektórych witamin. Obecnie trwają poszukiwania nośników witamin innych niż tłuszczowe, a taką możliwość daje zastosowanie β -laktoglobuliny. Brałam udział, jako wykonawca w projekcie badawczym pt. „Wykorzystanie właściwości β -laktoglobuliny do wiązania palmitynianu retinyli i cholekalcyferolu w celu uzyskania dodatków do żywności wzbogacających produkty o obniżonej zawartości tłuszczu w witaminy A i D”. Efektem prac było 11 publikacji w zakresie podjętej tematyki badawczej, w których byłam współautorem. Opracowano optymalne warunki uzyskiwania połączeń pomiędzy β -laktoglobuliną a cholekalcyferolem lub palmitynianem retinyli oraz ich analogów wzbogaconych w laktozę lub trehalozę, lub układ węglowodanów (laktoza:maltodekstryna, trehaloza:maltodekstryna) w postaci roztworów i proszku. Ponadto, przedstawiono charakterystykę sproszkowanych kompleksów pod kątem ich przydatności technologicznej. Udowodniono, że zdolność wiązania cholekalcyferolu i palmitynianu retinyli przez β -laktoglobulinę jest uzależniona

od pH zastosowanego buforu fosforanowego. Wodne kompleksy, otrzymane w roztworach buforów fosforanowych o pH 6,8; 7,4 oraz 9,0, cechowały się wysoką zawartością oznaczanych witamin. Najniższy poziom cholekalcyferolu i palmitynianu retinyłu zaobserwowano w przypadku połączeń utworzonych w pH wynoszącym 3,0 oraz 5,0 (publikacja **A5**).

Ze względu na to, że sproszkowaną żywność w porównaniu do formy płynnej cechuje m.in. wygoda i uniwersalność zastosowania, wodne kompleksy i ich analogi z węglowodanami poddałam procesowi suszenia. Zastosowałam dwie techniki suszenia, tj. suszenie rozpyłowe i suszenie sublimacyjne. Suszenie rozpyłowe wodnych roztworów (kompleksów) przeprowadziłam przy dwóch strumieniach podawania surowca: 51,4 i 64,2 ml/min w temperaturze powietrza wlotowego odpowiednio 120 i 160°C. Z kolei suszenie sublimacyjne wodnych kompleksów wykonałam przy stałych parametrach procesu: ciśnienie 63 Pa, temperatura pólek 30°C, czas 24 h. Uzyskane wyniki pozwoliły na określenie parametrów suszenia, które ograniczą utratę witamin i zapewnią ich wysoką zawartość w proszku. Ze względu na brak istotnego wpływu parametrów procesu suszenia rozpyłowego na zawartość cholekalcyferolu w sproszkowanych kompleksach, do dalszych badań stosowałam temperaturę powietrza wlotowego 120°C oraz strumień podawania surowca 51,4 ml/min (publikacja **A3**). Z kolei w badaniach prowadzonych w publikacji **A5** wykazano wpływ temperatury suszenia rozpyłowego na zawartość palmitynianu retinyłu w proszku. Zawartość palmitynianu retinyłu była najwyższa w proszku otrzymanym na drodze suszenia rozpyłowego wodnych kompleksów w temperaturze powietrza wlotowego wynoszącej 120°C i przy prędkości podawania roztworu równej 51,4 ml/min. Podwyższenie temperatury powietrza wlotowego w czasie suszenia ze 120 do 160°C oraz wzrost strumienia podawania surowca powodował obniżenie zawartości palmitynianu retinyłu w sproszkowanych kompleksach. Wzrost temperatury suszenia i kontakt produktu z tlenem przyczynił się izomeryzacji i zmniejszenia zawartości witaminy A w proszku. Suszenie sublimacyjne wodnych kompleksów β -laktoglobuliny z cholekalcyferolem nie przyczyniło się do zwiększenia zawartości witaminy D₃ w proszku, pomimo prowadzenia procesu suszenia w obniżonej temperaturze, na co najprawdopodobniej wpływ miała wrażliwość witaminy na kontakt ze światłem i tlenem, gdyż łatwo ulega ona autooksydacji w układach beztłuszczowych (publikacja **A3**). W przypadku suszenia sublimacyjnego kompleksów β -laktoglobuliny z palmitynianem retinyłu, zastosowanego w celu ograniczenia wpływu podwyższonej temperatury podczas suszenia, nastąpiło istotne zwiększenie zawartości witaminy A w proszku. W celu ochrony kompleksu przed podwyższoną temperaturą w czasie

suszenia rozpyłowego, która może powodować denaturację białka i tym samym rozpad kompleksu wzbogacono je dodatkowo w laktozę lub trehalozę lub układ węglowodanów (laktoza:maltodekstryna lub trehaloza:maltodekstryna), gdyż substancje te korzystnie wpływają na stabilność białka w trakcie suszenia (publikacja **A5**).

Efektom końcowym było określenie funkcjonalności otrzymanych sproszkowanych kompleksów pod względem technologicznym poprzez wyznaczenie wybranych właściwości fizyko-chemicznych. Analizę w/w właściwości przedstawiono w publikacjach **A6, A8, D21, D23, D24, D25, D26, D28**. W finalnym produkcie, szczególnie istotne były proszki, które w swoim składzie zawierały β -laktoglobulinę i cholekalcyferol lub palmitynian retinyli oraz trehalozę. Trehaloza zawarta w sproszkowanych kompleksach opóźniała proces krystalizacji i obniżała aktywność wody produktu w stosunku do analogów zawierających laktozę. Dodatkowo wykazałam, że sproszkowane kompleksy zawierające trehalozę cechowały się najkrótszym czasem zwilżania (publikacja **D23**). Opóźnienie lub zanik krystalizacji obserwowałam również w kompleksach zawierających układ węglowodanów trehaloza:maltodekstryna (w stosunku 7:3 i 8:2). Wykazano, że wzbogacanie kompleksu w składnik o dużej masie cząsteczkowej, tj. maltodekstrynę, skutkowało podwyższeniem temperatury przejścia szklistego (publikacje **A6, D21**). Wykazałam, że zastosowanie suszenia sublimacyjnego, jako techniki otrzymywania sproszkowanych kompleksów β -laktoglobuliny z cholekalcyferolem (publikacja **D23**) lub palmitynianem retinyli, w tym również wzbogaconych w laktozę lub trehalozę lub układ węglowodanów (publikacje **D24, D25, D26**) przyczyniło się do uzyskania proszków o bardzo dobrej zwilżalności, niezależnie od ich składu. Izotermi sorpcji pary wodnej sproszkowanych kompleksów β -laktoglobuliny z palmitynianem retinyli bez/lub z udziałem węglowodanów charakteryzowały się sigmoidalnym kształtem. Nie stwierdzono zależności pomiędzy kształtem izoterm a zastosowaną techniką suszenia i jej parametrami (publikacja **D28**). Ilość pary wodnej zaadsorbowanej przez sproszkowane kompleksy β -laktoglobuliny-witaminy A-laktozy była niższa w porównaniu do tych z trehalozą, niezależnie od aktywności wody środowiska (publikacja **A8**). Wykazałam, że w przypadku kompleksów β -laktoglobuliny-witaminy A-trehalozy, krystalizacja węglowodanów w środowisku o wilgotności względnej RH 65% była opóźniona w porównaniu z proszkami β -laktoglobuliny-witaminy A-laktozy. Dodanie trehalozy do systemów żywnościowych może poprawić jakość proszków, opóźniając krystalizację. Jest to ważne, ponieważ zakres krystalizacji ma kluczowe znaczenie dla akceptacji produktu końcowego. Na podstawie przeprowadzonej analizy struktury sproszkowanych kompleksów wykazano, że proszki otrzymane na drodze suszenia

rozpyłowego cechuje kulisty kształt i znaczny rozrzut wymiarów cząstek. Powierzchnia większych cząstek była często zdeformowana. Z kolei liofilizowane kompleksy w proszku charakteryzowały się nieregularnym kształtem o ostrych krawędziach, wynikającym z rozdrabniania mechanicznego produktu. Na podstawie przeprowadzonych badań za optymalne uznano proszki zawierające β -laktoglobulinę i cholekalcyferol lub palmitynian retinyli oraz układ trehaloza:maltodekstryna, które mogłyby znaleźć zastosowanie jako składnik wzbogacający produkty o obniżonej zawartości tłuszczu lub beztłuszczowe w witaminę A czy D₃.

5.3. Tworzenie nowych produktów w proszku

W związku z powadzeniem wielu prac badawczych, dotyczących wpływu aglomeracji na właściwości fizyko-chemiczne żywności w proszku, powstało kilka publikacji o tej tematyce z moim udziałem.

Proszki spożywcze otrzymane na drodze suszenia rozpyłowego, ze względu na niewielki wymiar cząstek (poniżej 100 μm) oraz kompaktową strukturę, są niejednokrotnie uciążliwe w obrocie. W publikacji **A7** podjęto próbę obniżenia ilości dodawanego nośnika podczas suszenia rozpyłowego miodu oraz wytworzenia aglomeratu na bazie miodu charakteryzującego się określonymi właściwościami użytkowymi. Miód przed suszeniem rozpyłowym poddano procesowi diafiltracji w celu usunięcia z surówki możliwie najwięcej cukrów prostych, stanowiących ograniczenie w efektywnym przeprowadzeniu suszenia rozpyłowego miodu bez dodatku nośnika. Zastosowanie diafiltracji pozwoliło na zwiększenie wydajności suszenia oraz na obniżenie ilości dodawanego nośnika. Otrzymany miód rzepakowy w proszku (zawierający 50% miodu w s.s.) zmieszałam z odtłuszczonym mlekiem w proszku, a następnie poddałam aglomeracji nawilżeniowej przy zastosowaniu wodnego roztwór lecytyny, jako cieczy zwilżającej. Wykazano, że aglomeracja miodu rzepakowego w proszku, niezależnie od udziału miodu, wpłynęła na wzrost rozmiaru cząstek, a tym samym na obniżenie gęstości nasypowej i poprawę sypkości otrzymanych aglomeratów. Poprawie uległy też właściwości rekonstrykcyjne miodu w proszku. Czas zwilżania aglomeratów wyniósł poniżej 15 s, podczas gdy zwilżalność proszku nieaglomerowanego przekraczała 180 s. Ponadto aglomeraty, w stosunku do proszków nieaglomerowanych, cechowały się obniżoną higroskopijnością w środowisku o wilgotności względnej RH 75%. Także w trakcie przechowywania zmiany analizowanych właściwości fizycznych były nieznaczne (struktura powierzchni, zwilżalność oraz sypkость). Uzyskane wyniki badań wskazują na możliwość

zastosowania miodu w proszku do tworzenia aglomerowanych napojów mlecznych o korzystnych właściwościach fizycznych.

Z kolei w publikacji **D22** podjęto próbę oceny stabilności kwasów tłuszczowych w modyfikowanym mleku w proszku dla niemowląt, w wyniku procesu aglomeracji i powlekania. Materiał badawczy stanowił odtłuszczony proszek mleczny, wzbogacony w niezbędne nienasycone kwasy tłuszczowe n-3 i n-6 (mieszanina), który poddałam procesowi aglomeracji oraz powlekania. Aglomerację, jak i powlekanie przeprowadziłam w złożu fluidalnym, stosując jako ciecz zwilżającą/powlekającą 15% wodny roztwór laktozy. Udział nasyconych kwasów tłuszczowych (pochodzących z tłuszczu mlecznego) wyizolowanych z modyfikowanych proszków mlecznych zawierał się w przedziale od 29,9 do 32,5%. Natomiast udział długołańcuchowych polienowych kwasów tłuszczowych był najwyższy dla proszku nieaglomerowanego – 39%, dla proszku aglomerowanego wyniósł 37,4%, a dla proszku powlekanego był najniższy i stanowił 35,2%. Z kolei największy udział długołańcuchowych monoenowych kwasów tłuszczowych zaobserwowano w powlekanym proszku mlecznym – 33,4%, najmniejszy zaś w aglomerowanym proszku mlecznym – 29,1%. Wykazano, że proces aglomeracji, jak i powlekania w złożu fluidalnym może wpływać na stabilność kwasów tłuszczowych ze względu na to, że materiał poddawany jest działaniu podwyższonej temperatury i napowietrzaniu. Jednakże, przeprowadzone badania wskazują, że operacje te w przypadku modyfikowanego mleka w proszku nie wpływają znacząco na obniżenie zawartości niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych. Ponadto, analizując termogramy DSC, zaobserwowano przemiany fazowe, występujące w modyfikowanym mleku w proszku dla niemowląt. Mieszanina odtłuszczonego mleka w proszku w połączeniu z nienasyconymi kwasami tłuszczowymi charakteryzowała się krzywą termiczną o najostrzejszym przebiegu, na której obserwowano endotermiczny pik denaturacji białka oraz dwa piki endotermiczne, związane z przemianami fazowymi laktozy, jako głównego składnika w modyfikowanym mleku w proszku. Termogramy aglomerowanego oraz powlekanego modyfikowanego mleka w proszku miały łagodniejszy przebieg, a temperatura ich przemian endotermicznych, związanych z denaturacją białka, wzrosła, z kolei związana z przemianami fazowymi laktozy – zmalała. Powyższe dane są zgodne z wynikami przedstawionymi w publikacji **D19**, w której określono przemiany fazowe dla poszczególnych składników modyfikowanego mleka w proszku oraz mleka modyfikowanego w proszku dostępnego na rynku. Wykazano, że wyznaczenie termogramów DSC modyfikowanego mleka w proszku dla niemowląt stwarza możliwość określenia przemian fazowych, charakterystycznych dla jego poszczególnych składników.

5.4. Suszenie rozpyłowe soku z czarnego bzu

W ostatnich latach nastąpił dynamiczny wzrost badań, dotyczących składników bioaktywnych zawartych w żywności. Czarny bez jest bogatym źródłem antocyjanów (863 mg/l) (Murugesan i Orsat 2011). Antocyjany uważane są jako potencjalne zamienniki barwników syntetycznych ze względu na ich intensywny, atrakcyjny odcień i rozpuszczalność w wodzie, co umożliwi ich wprowadzenie również do wodnych systemów żywnościowych (Franceschinis i wsp. 2014). W ramach przyznanego mi grantu na zadanie badawcze w ramach wewnętrznego trybu konkursowego w SGGW dla młodego pracownika nauki pt. „Mikrokapsułkowanie wybranych substancji prozdrowotnych pochodzenia naturalnego – Ocena efektywności mikrokapsułkowania soku z czarnego bzu metodą suszenia rozpyłowego” prowadziłam badania, dotyczące doboru ilości i rodzaju nośnika oraz temperatury suszenia na stabilność mikrokapsulek z czarnego bzu otrzymanych na drodze suszenia rozpyłowego. Wyniki badań zaprezentowałam w publikacji **D27** oraz w doniesieniach na 4 konferencjach naukowych (doniesienia **B19**, **B20**, **B23**, **B24**). Wpływ stopnia scukrzenia maltodekstryny oraz jej udziału w roztworze, a także dobór temperatury na barwę proszku z czarnego bzu przedstawiłam w publikacji **D27**. Stwierdziłam, że niezależnie od parametrów procesu suszenia rozpyłowego oraz dodatku nośnika, jasność (parametr barwy L*) otrzymanych proszków z czarnego bzu nie przekraczała wartości 50 i była porównywalna z wartościami, jakie otrzymali Murugesan i Orsat (2011) również dla proszków z czarnego bzu. Wartość ta jest szczególnie korzystna z punktu możliwości zastosowania proszku, jako potencjalnego barwnika do żywności. Ponadto wykazałam, że wzrost stężenia maltodekstryny przyczynił się do podwyższenia jasności sproszkowanego soku z czarnego bzu, co jest typowe przy wzrastającym udziale tego nośnika w soku. Stwierdziłam, że wzrost temperatury powietrza wlotowego ze 120 do 160°C wpłynął na obniżenie jasności soku. Materiał krócej przebywał w wysokiej temperaturze w suszarce rozpyłowej, stąd wystąpiła niższa degradacja barwnika. Z kolei wzrost stopnia scukrzenia maltodekstryny DE z 10 do 20 wpłynął w większości przypadków na wzrost jasności materiału. Powyższe zależności potwierdzają wyniki badań suszonego rozpyłowo soku z buraków ćwikłowych, prowadzonych przez Gawalek i Barczaka (2014). Ponadto wzrost stężenia nośnika oraz wzrost temperatury powietrza wlotowego ze 120 do 160°C powodował zmniejszenie parametru barwy a* (udział barwy czerwonej). Wykazałam, że wraz ze wzrostem stężenia nośnika następowało obniżenie wartości parametru barwy b* (udział barwy żółtej) soku z czarnego bzu w proszku. Z kolei zawartość polifenoli w otrzymanych

proszkach uzależniona była od stężenia i stopnia scukrzenia nośnika oraz temperatury powietrza (doniesienie **B23**). Wraz z wzrostem stopnia scukrzenia maltodekstryny zaobserwowano zmniejszenie zawartości polifenoli w soku z czarnego bzu w proszku. Z kolei wraz ze wzrostem stężenia nośnika w suchej masie proszku malała aktywność przeciwutleniająca ekstraktu.

Podsumowując należy stwierdzić, że proszki otrzymane na drodze suszenia rozpyłowego przy temperaturze powietrza wlotowego wynoszącej 160°C oraz przy niższym udziale nośnika w stosunku do suchej substancji soku, cechowały się najlepszym zachowaniem barwy w stosunku do materiału wyjściowego (soku). Otrzymane proszki z czarnego bzu stanowiły dobre źródło barwnika, który z powodzeniem może być wykorzystywany do różnego rodzaju produktów spożywczych (galaretki, kisiele, wyroby cukiernicze, żelki, napoje), jak i nadawać barwę lekom i suplementom diety.

Spis literatury

1. Franceschinis L., Salvatori D.M., Sosa N., Schebor K. (2014). Physical and functional properties of blackberry freeze- and spray-dried powders. *Drying Technology*, 32, 197-207.
2. Murugesan R., Orsat V. (2011). Spray Drying of elderberry (*Sambucus nigra L.*) juice to maintain its phenolic content. *Drying Technology*, 29, 1729-1740.

6. Podsumowanie pracy naukowo-badawczej

Publikacje (oryginalne prace twórcze) _____ **42**

w tym:

publikacje w czasopismach z Web of Science _____ 11

publikacje przeglądowe _____ 4

Cytowania

według Web of Science _____ 66 (49 bez autoc.)

według Scopus _____ 82

Index Hirsha _____ **5**

Sumaryczny Impact Factor _____ **20,158**

Suma punktów wg listy MNiSW _____ **463**

Doniesienia konferencyjne _____ 47

Referaty _____ 9

Kierownictwo grantów zewnętrznych _____ 1

Zestawienie oryginalnych prac twórczych

	Liczba	IF	Punkty wg MNiSW	Numer w autoreferacie
Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się w bazie Web of Science	11	20,158	292	
Po doktoracie	11	20,158		
Journal of Food Science (2010)	1	1,791	27	A1
Journal of Food Engineering (2012)	1	2,276	35	A2
International Dairy Journal (2013)	1	2,297	35	H3
Journal of Thermal Analysis and Calorimetry (2012, 2013, 2017)	3	1x1,982 1x2,206 1x2,209	1x25 2x20	A4, A6, A8
International Agrophysics (2016)	1	1,069	25	H4
LWT – Food Science and Technology (2016)	1	2,711	35	H5
Innovative Food Science and Emerging Technologies (2017)	1	3,116	40	A7
Żywność. Nauka. Technologia. Jakość (2012, 2013)	2	1x0,19 1x0,311	2x15	A3, A5
	Liczba	IF	Punkty wg MNiSW	Numer w autoreferacie
Publikacje naukowe w czasopismach znajdujących się na liście B MNiSW	27		157	
Przed doktoratem	11		61	
Acta Agrophysica (2004, 2006, 2008)	3		3x6	D1, D7, D13
Postępy Techniki Przemysłu Spożywczego (2005, 2006)	2		2x6	D2, D6
International Agrophysics (2005)	1		4	D4
Żywność. Nauka. Technologia. Jakość (2005, 2006, 2007)	4		3x4	D3, D8, D12
Inżynieria Rolnicza (2007)	1		6	D9
Polish Journal of Food and Nutrition Sciences (2007)	1		9	D10
Po doktoracie	16		96	
Inżynieria Rolnicza (2009)	1		6	D14
Żywność. Nauka. Technologia. Jakość (2009, 2015)	2		1x4 1x13	D15, D25
Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych (2x2010)	2		2x9	D18, D19
Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW (2011)	1		4	D20
Bromatologia i Chemia Toksykologiczna (1x2012, 1x2014, 1x2015, 2x2016)	5		1x4 1x5 3x6	D21, D24, D26, D27, D28
Acta Agrophysica (3x2012)	3		3x5	H1, H2, D22
Cheminé Technologija (2012)	1		3	D23
Postępy Techniki Przemysłu Spożywczego (2017)	1		6	H6

	Liczba	IF	Punkty wg MNiSW	Numer w autoreferacie
Monografie	4		14	
Przed doktoratem	2		6	
Future of Food Engineering (2006)	1		3	D5
Właściwości Fizyczne Suszonych Surowców i Produktów Spożywczych (2007)	1		3	D11
Po doktoracie	2		8	
Jakość i bezpieczeństwo żywności – wyzwanie XXI wieku (2010)	1		4	D16
Wpływ procesów technologicznych na właściwości materiałów i surowców roślinnych (2010)	1		4	D17
	Liczba	IF	Punkty wg MNiSW	
SUMA	42	20,158	463	
Przed doktoratem	13	0	67	
Po doktoracie	29	20,158	396	

Po wyłączeniu 6 prac stanowiących szczególne osiągnięcie naukowe (IF = 6,077, MNiSW = 111), wartość mojego pozostałego dorobku naukowego wynosi IF = 14,081 i MNiSW = 352 pkt.

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

7. Inne osiągnięcia związane z aktywnością dydaktyczną i organizacyjną

7.1. Działalność dydaktyczna

Szczegółowy opis realizowanych zajęć dydaktycznych zamieściłam w Załączniku 4, pkt. III., I. W latach 2004-2008 byłam uczestnikiem czteroletnich studiów doktoranckich na Wydziale Nauk o Żywności, realizując równoległe zajęcia dydaktyczne wymagane planem studiów.

Mój średni roczny wymiar godzin dydaktycznych w ostatnich trzech latach wynosił 284 h (w tym około 10% stanowią aktualnie wykłady). Zajęcia dydaktyczne prowadziłam i nadal prowadzę na Wydziale Nauk o Żywności dla studentów następujących kierunków studiów: technologia żywności i żywienie człowieka, bezpieczeństwo żywności oraz

towaroznawstwo, a także na Wydziale Ogrodnictwa, Biotechnologii i Architektury Krajobrazu oraz na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska. Prowadzone przeze mnie wykłady z przedmiotów: „Maszynoznawstwo przemysłu spożywczego”, „Inżynieria układów wielofazowych żywności”, „Technologia żywności a środowisko”, „Bioinżynieria” opracowałam w oparciu o najnowszą literaturę, a także wzbogacając je w istotne wyniki i spostrzeżenia, wynikające z prowadzonych przeze mnie badań, oraz informacje zdobywane na konferencjach naukowych.

Jestem autorem dwóch rozdziałów „*Pomiar temperatury*” i „*Pomiar wilgotności powietrza*” w podręczniku „Wybrane zagadnienia z maszynoznawstwa w przemyśle spożywczym” red. Domian E., Lenart A., Wyd. SGGW, 2019 (w druku). Ponadto jestem autorem i współautorem wielu instrukcji do prowadzenia ćwiczeń laboratoryjnych.

Jestem koordynatorem ćwiczeń „Maszynoznawstwo przemysłu spożywczego” (studia stacjonarne i niestacjonarne) oraz koordynatorem przedmiotu „Właściwości fizyczne produktów spożywczych” (studia niestacjonarne) na kierunku technologia żywności i żywienie człowieka, I stopień.

Na kierunku Technologia Żywności i Żywienie Człowieka WNoŻ byłam opiekunem 4 prac magisterskich oraz promotorem 13 prac magisterskich i 19 prac inżynierskich.

Ponadto, moja aktywność dydaktyczna przejawia się w czynnym uczestnictwie w:

1. Festiwalu Nauki, współprowadząc lekcje festiwalową pt. „Truskawki dla kosmonautów” w latach 2012-2018.
2. Obozie Naukowym Adamed SmartUp, współprowadząc warsztaty naukowe pt. „Żywność dla kosmonautów” w latach 2017-2018.
3. Pikniku Naukowym Centrum Nauki Kopernik i Polskiego Radia, w których opracowałam i współprowadziłam pokazy pt. „Ruch” w roku 2018.

Swoje umiejętności nieustannie doskonalę, uczestnicząc w licznych warsztatach i szkoleniach.

7.2. Działalność organizacyjna

Ważnym elementem mojej aktywności zawodowej jest działalność organizacyjna. Za najważniejsze osiągnięcie w działalności organizacyjnej na rzecz nauki uważam pozyskanie środków finansowych w ramach projektu badawczego Iuventus Plus nr IP2010 0416 70 pt. „Wpływ modyfikacji składu surowcowego, zastosowanego procesu

technologicznego na właściwości fizykochemiczne i stabilność żywności w proszku dla niemowląt i dzieci”, którego byłam kierownikiem.

W ramach działalności organizacyjnej na rzecz Wydziału corocznie biorę aktywny udział w organizacji Dni SGGW, obsługując i promując Wydział Nauk o Żywności, w tym w 2017 r., jako koordynator z ramienia Katedry Inżynierii Żywności i Organizacji Produkcji. Z okazji obchodów 200-lecia Uczelni na Dniach SGGW w Łazienkach Królewskich, w 2016 r. reprezentowałam Katedrę, wygłaszając prelekcję pt. „Żywność dla kosmonautów”. Ponadto wielokrotnie brałam udział w przygotowywaniu konferencji organizowanych przez zespół Katedry tj. (VI-VIII) Konferencji Naukowej Wydziału Nauk o Żywności SGGW i PTTŻ z cyklu: „Jakość i bezpieczeństwo żywności”, (I, III) Sympozjum Inżynierii Żywności, 50-lecia Wydziału Nauk o Żywności połączonego z XL Sesją Naukową Komitetu Nauk o Żywności Polskiej Akademii Nauk "Tradycja i nowoczesność w żywności i żywieniu", ISEKI Food 3 i ISEKI Mundus 2.

Od 2017 r. w ramach działalności organizacyjnej na rzecz dydaktyki jestem członkiem Wydziałowej Komisji ds. Dydaktyki, m.in. odpowiedzialnym za weryfikację sylabusów zgodnie z Krajowymi Ramami Kwalifikacji w ramach specjalności Inżynieria żywności.

W 2018 roku byłam koordynatorem pokazów prezentowanych przez Wydział Nauk o Żywności w ramach 22 Pikniku Naukowego Centrum Nauki Kopernik i Polskiego Radia pt. „Ruch” i kontynuuję tę funkcję w kolejnym cyklu odbywającym się 11 maja 2019 roku.

Od roku akademickiego 2014/2015 i 2015/2016 byłam odpowiednio opiekunem studentów odpowiednio studiów niestacjonarnych i stacjonarnych, rozpoczynających studia na WNoŻ. Ponadto, w roku 2015 prowadziłam merytoryczny nadzór nad zaliczaniem praktyk studenckich WNoŻ.

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

Od 2006 r. jestem członkiem Polskiego Towarzystwa Technologów Żywności – Oddziału Warszawskiego.

W 2009 r. brałam udział w panelu eksperckim, poświęconym kwestiom jakości i bezpieczeństwa produktu, oceniającym dostawców i jakość surowców dla McDonald's Polska.

7.4. Otrzymane nagrody i wyróżnienia

W trakcie trwania studiów doktoranckich otrzymywałam stypendium Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie za osiągnięcia naukowe (w latach 2005-2007).

W czasie pracy na Wydziale Nauk o Żywności SGGW w Warszawie otrzymałam dwukrotnie nagrodę JM Rektora SGGW w Warszawie zespołową stopnia III (2011) i II (2018) za osiągnięcia naukowe.

Doniesienie naukowe, które prezentowałam w czasie IV Konferencji Naukowej pt. „Właściwości geometryczne, mechaniczne i strukturalne surowców i produktów spożywczych” (2009 r.), w formie plakatu zostało wyróżnione przez organizatorów konferencji.

7.5. Współpraca z zagranicą, recenzje publikacji

Podczas studiów doktoranckich odbyłam dwutygodniowy staż naukowy (09-20.01.2006) w Ghent University, Belgia, w ramach Intensywnego Programu „Renewable Biomaterials” (program Socrates), podczas którego zdobywałam wiedzę w zakresie możliwości pozyskania cennych składników z surowców odpadowych oraz ich ponownego wykorzystania w różnych procesach technologicznych.

Wykonałam 4 recenzje publikacji naukowych, w tym 3 do czasopism znajdujących się w bazie Web of Science.

7.6. Osiągnięcia w zakresie popularyzacji nauki

Od 2012 r. corocznie biorę udział w lekcjach pokazowych dla grup szkolnych i gimnazjalnych w ramach Festiwalu Nauki, współprowadząc zajęcia pt. „Truskawki dla kosmonautów”.

W dwusetną rocznicę kształcenia rolniczego w ramach Dni SGGW zaprezentowałam w Łazienkach Królewskich prelekcję pt. „Żywność dla kosmonautów (22.05.2016).

Ponadto, w latach 2017-2018 współprowadziłam warsztaty naukowe pt. „Żywności dla kosmonautów” w ramach Obozu Naukowego Adamed SmartUp, skierowane dla uzdolnionej młodzieży.

7.7. Konferencje

W trakcie studium doktoranckiego brałam udział w 12 konferencjach, w tym w 2 konferencjach międzynarodowych, przedstawiając wyniki prac w formie 4 referatów i 8 posterów.

W okresie zatrudnienia, jako asystent, a następnie adiunkt brałam udział w 26 konferencjach, w tym w 7 konferencjach międzynarodowych, prezentując wyniki prac w formie 5 referatów i 30 posterów (w tym 7 e-posterów). Jako uczestniczka III Konferencji Naukowej pt. „Właściwości geometryczne, mechaniczne i strukturalne surowców i produktów spożywczych” odbywającej się w Bałszycach otrzymałam I nagrodę Fundacji Rozwoju Nauk Agrofizycznych i Polskiego Towarzystwa Agrofizycznego w konkursie prac posterowych.

7.8. Współpraca z przemysłem

W ramach współpracy z przemysłem jestem koordynatorem działań, wynikających z porozumienia o współpracy między SGGW w Warszawie, a firmą Komarko Sp. z o.o., mających na celu konsultację i doradztwo w zakresie granulacji i powlekania materiałów sypkich. Ponadto, wielokrotnie wykonywałam ekspertyzy dla firm zewnętrznych dotyczące opracowania koncepcji i wykonania prób technologicznych aglomeracji i instandyzacji dostarczonych przez firmę materiałów sypkich (firmy: Morze Mleka, Korab, Akrop) oraz określenia wybranych właściwości fizycznych proszków.

Karolina Szulc