

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
Wydział Nauk o Żywności

**Dr inż. Magdalena Wirkowska-Wojdyła**

**Załącznik 3**

**Autoreferat z opisem osiągnięć naukowych związanych  
z postępowaniem habilitacyjnym**

Warszawa, 2019



**Spis treści**

1. Dane osobowe .....	5
2. Posiadane dyplomy i 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 (Dz. U. z 2018 r. poz. 1789) .....	6
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego .....	6
4.2. Spis publikacji wchodzących w skład osiągnięcia stanowiącego podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego .....	6
4.3. Omówienie celu naukowego publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę postępowania habilitacyjnego i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania .....	8
4.3.1. Wstęp .....	8
4.3.2. Cel naukowy oraz omówienie wyników badań .....	10
4.3.3. Ocena frakcji lipidowej rynkowych ciastek kruchych dedykowanych małym dzieciom .....	11
4.3.4. Właściwości technologiczne ciastek kruchych oraz modelowych farszów mięsnych uzyskanych z zastosowaniem przeestryfikowanych tłuszczów .....	13
4.3.5. Ocena frakcji lipidowej mieszanin tłuszczowych wyjściowych, tłuszczów przeestryfikowanych oraz wyizolowanych z uzyskanych produktów. ....	15
4.3.5.1. Wpływ przeestryfikowania na skład kwasów tłuszczowych oraz ich rozmieszczenia pomiędzy pozycje triacylogliceroli tłuszczów w ciastkach kruchych i modelowych farszach mięsnych.....	15
4.3.5.2. Wpływu przeestryfikowania na profil mięknienia mieszanin tłuszczowych	18
4.3.5.3. Wpływu przeestryfikowania na stabilność oksydacyjną tłuszczów w ciastkach kruchych i modelowych farszach mięsnych.....	20
4.3.6. Podsumowanie.....	22
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.....	26

5.1. Jakość frakcji lipidowej w produktach spożywczych różnego pochodzenia.....	27
5.2. Wykorzystanie przeestryfikowania do modyfikowania właściwości tłuszczów naturalnych, a w szczególności do otrzymania zamienników tłuszczu mleka kobiecego.....	29
5.3. Właściwości termiczne żywności.....	31
5.4. Zastosowanie $\beta$ -laktoglobuliny do wiązania palmitynianu retinyłu i cholekalcyferolu w układach beztłuszczowych.....	34
6. Podsumowanie pracy naukowo badawczej.....	36

### 1. Dane personalne

Imię i nazwisko: **Magdalena Wirkowska-Wojdyła**  
Miejsce pracy: **Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie**  
**Wydział Nauk o Żywności**  
**Katedra Chemii**  
**ul. Nowoursynowska 166**  
**02-787 Warszawa**

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

- 24.06.2004 Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Technologii Żywności, **stopień magistra inżyniera technologii żywności i żywienia**  
praca magisterska: Wpływ przeestryfikowania na stabilność przeciwutleniającą tłuszczu mlecznego i jego mieszanin z olejami roślinnymi  
promotor pracy: Prof. dr hab. Bolesław Kowalski
- 14.11.2008 Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Nauk o Żywności, **stopień doktora nauk rolniczych**  
praca doktorska: Oksydacyjna i hydrolityczna stabilność lipidów wybranych zbóż i produktów zbożowych  
promotor pracy: Prof. dr hab. Bolesław Kowalski
- 02.2009 - 06.2009 Semestralne Podyplomowe Studium Doskonalenia Pedagogicznego w SGGW

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 1.10.2004 – 14.12.2008 – **doktorant**, dzienne studia doktoranckie, Katedra Chemii, Wydział Technologii Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
- 30.12.2008 – 30.12.2009 – **asystent**, Katedra Chemii, Wydział Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa wiejskiego w Warszawie
- 31.12.2009 – do chwili obecnej – **adiunkt**, Katedra Chemii, Wydział Nauk o Żywności, Szkoła Główna Gospodarstwa wiejskiego w Warszawie
- 5.11.2015-3.11.2016 i 10.07.2018-8.07.2019 – urlop macierzyński

**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 (Dz. U. z 2018 r. poz. 1789)**

**4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego**

Osiągnięciem naukowym stanowiącym podstawę ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego jest cykl publikacji naukowych, ujętych pod wspólnym tytułem:

**„Zastosowanie przeestryfikowanych mieszanin tłuszczów naturalnych do wypieku ciastek kruchych oraz w technologii modelowych farszów mięsnych”**

**4.2. Spis publikacji wchodzących w skład osiągnięcia stanowiącego podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego**

**H1. Wirkowska M., Górską A., Bryś J., Ostrowska-Ligęza E., Koczoń P. 2012:** Oxidative stability and triacylglycerols structure of lipid fraction from cookies for infants. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 63(3), 296-302.

(IF<sub>2012</sub> = 1,257; MNiSW<sub>2012</sub> = 25 pkt.)

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na określeniu koncepcji badań, zebraniu i zanalizowaniu materiału publikacyjnego, zaplanowaniu metodyki badań i wykonaniu części badań (pomiarów stabilności oksydacyjnej, składu kwasów tłuszczowych, wyznaczenie parametrów kinetycznych utleniania), opracowaniu części wyników, sformułowaniu wniosków i przygotowaniu manuskryptu, wykonaniu korekty artykułu wynikającej z przedstawionych recenzji. Pełniłam też funkcję autora korespondującego. Mój udział szacuję na 70%.*

**H2. Wirkowska-Wojdyła M., Bryś J., Górską A., Ostrowska-Ligęza E. 2014:** Oxidation kinetics and melting profiles of the structured lipids used in infant cookies. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(11), 1546-1552.

(IF<sub>2014</sub> = 1,812; MNiSW<sub>2014</sub> = 25 pkt.)

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na określeniu koncepcji części badań, zebraniu i zanalizowaniu materiału publikacyjnego, zaplanowaniu metodyki badań i*

wykonaniu części badań (badanie profili mięknięcia, badanie stabilności oksydacyjnej, analiza frakcji lipidowej tłuszczu z ciastek), opracowaniu części wyników, sformułowaniu wniosków i przygotowaniu manuskryptu, wykonaniu korekty artykułu wynikającej z przedstawionych recenzji. Pełniłam też funkcję autora korespondującego. Mój udział szacuję na 70%.

**H3. Wirkowska-Wojdyła M.,** Bryś J., Górską A., Ostrowska-Ligęza E. 2015: Wpływ przeestryfikowania enzymatycznego na wartość żywieniową tłuszczu zastosowanego do wypieku ciastek dla dzieci. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 99(2), 91-102.

(MNiSW<sub>2015</sub> = 13 pkt.)

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na określeniu koncepcji badań, zebraniu i zanalizowaniu materiału publikacyjnego, zaplanowaniu metodyki badań i wykonaniu części badań (oznaczenie składu kwasów tłuszczowych, analiza frakcji lipidowej ciastek), opracowaniu części wyników, sformułowaniu wniosków i przygotowaniu manuskryptu, wykonaniu korekty artykułu wynikającej z przedstawionych recenzji. Pełniłam też funkcję autora korespondującego. Mój udział szacuję na 70%.*

**H4. Wirkowska-Wojdyła M.,** Bryś J., Górską A., Ostrowska-Ligęza E., Kowalska H. 2015: Właściwości teksturalne ciastek kruchych wypieczonych na bazie tłuszczu przeestryfikowanego. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 48(3), 557-561.

(MNiSW<sub>2015</sub> = 6 pkt.)

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na określeniu koncepcji części badań, zebraniu i zanalizowaniu materiału publikacyjnego, opracowaniu wyników, sformułowaniu wniosków i przygotowaniu manuskryptu, wykonaniu korekty artykułu wynikającej z przedstawionych recenzji. Pełniłam też funkcję autora korespondującego. Mój udział szacuję na 65%.*

**H5. Wirkowska-Wojdyła M.,** Bryś J., Górską A., Ostrowska-Ligęza E. 2016: Effect of enzymatic interesterification on physiochemical and thermal properties of fat used in cookies. *LWT - Food Science and Technology*, 74: 99-105.

(IF<sub>2016</sub> = 2,329; MNiSW<sub>2016</sub> = 35 pkt.)

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na określeniu koncepcji badań, zebraniu i zanalizowaniu materiału publikacyjnego, zaplanowaniu metodyki badań i wykonaniu części badań (wykonanie przeestryfikowania, wykonanie analizy termicznej mieszanin*

*tluszczowych i frakcji lipidowej ciastek), opracowaniu wyników, sformułowaniu wniosków i przygotowaniu manuskryptu, wykonaniu korekty artykułu wynikającej z przedstawionych recenzji. Pełniłam też funkcję autora korespondującego. Mój udział szacuję na 75%.*

**H6. Wirkowska-Wojdyła.,** Bryś J., Ostrowska-Ligęza E., Górską A., Chmiel M., Słowiński M., Piekarska J. 2019: Quality and oxidative stability of model meat batters as affected by interesterified fat. *International Journal of Food Properties*, 22 (1): 607-617.

(IF<sub>2016</sub> = 1,845; MNiSW<sub>2016</sub> = 25 pkt.)

*Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na określeniu koncepcji badań, zebraniu i zanalizowaniu materiału publikacyjnego, zaplanowaniu metodyki badań i wykonaniu części badań (wykonanie przeestryfikowania, wykonanie analizy termicznej, analiza frakcji lipidowej farszów mięsnych), opracowaniu części wyników, sformułowaniu wniosków i przygotowaniu manuskryptu, wykonaniu korekty artykułu wynikającej z przedstawionych recenzji. Pełniłam też funkcję autora korespondującego. Mój udział szacuję na 70%.*

Odpowiednie oświadczenia Współautorów przedstawiono w załączniku 5.

**Sumaryczny IF** prac stanowiących podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego wynosi **7,243**, wartość punktowa **129 pkt.**, wg wykazu czasopism punktowanych MNiSW z roku ukazania się pracy.

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

##### **4.3.1. Wstęp**

W produktach, w których tłuszcz stanowi ponad 30%, powinno zwracać się uwagę na jakość frakcji lipidowej zarówno z punktu widzenia technologicznego, jak i żywieniowego.

W produkcji ciastek kruchych tłuszcz jest jednym z głównych składników, nadaje on ciastu plastyczność, ułatwia połączenie składników oraz zapobiega tworzeniu przez białka i skrobię ciągłej sieci. Podstawową funkcją tłuszczu jest nadanie ciastkom kruchości i wilgotności. (Caponio i wsp., 2008). Obecność tłuszczu w recepturze



wpływa na zwiększenie plastyczności oraz elastyczności ciasta (Sai Manohar i Haridas Rao, 2002).

Tłuszcz jest również nieodłącznym składnikiem wszystkich wyrobów mięsnych, odpowiadającym za ich smakowitość i akceptowalność sensoryczną. To on nadaje odpowiednią teksturę i soczystość produktom mięsnym. Ponadto, dla dużej liczby konsumentów ograniczenie lub brak doustnego wrażenia „tłustości” w wyrobach mięsnych sprawia, że takie produkty stają się nieakceptowalne sensorycznie.

Przy wyborze tłuszczu do wyrobu produktów o wysokiej zawartości tego składnika, należy zwrócić szczególną uwagę na jego konsystencję i skład chemiczny. Wysoka zawartość tłuszczu, a szczególnie nasyconych kwasów tłuszczowych w takich produktach, budzi niepokój wśród konsumentów, którzy coraz częściej sięgają po produkty o obniżonej zawartości tłuszczu lub o korzystniejszej proporcji kwasów tłuszczowych nasyconych do nienasyconych. Dla organizmu człowieka, kwasy tłuszczowe nasycone, są przede wszystkim źródłem energii, niestety podwyższają poziom całkowitego cholesterolu oraz triacylogliceroli w surowicy krwi. Przyczyniają się do rozwoju choroby wieńcowej, zwiększają ryzyko występowania niedokrwiennej choroby serca, zwiększają podatność na tworzenie się zakrzepów poprzez intensyfikację agregacji płytek oraz wzrost stężenia fibrynogenu (Vijayakumar i wsp., 2016). Tłuszcz jest jednak nośnikiem smaku, odpowiada za prawidłową teksturę produktów, dlatego też jego częściowe wyeliminowanie przyczynia się do powstawania wielu problemów technologicznych. Alternatywą dla poprawy wartości żywieniowej tłuszczu jest możliwość zmiany profilu kwasów tłuszczowych, poprzez obniżenie zawartości kwasów tłuszczowych nasyconych oraz zmniejszenie proporcji kwasów z szeregu n-6 do n-3. Możliwość taką stwarza wprowadzenie do receptury oleju roślinnego. Za najbardziej wartościowy uznawany jest obecnie olej rzepakowy. Posiada optymalny skład kwasów tłuszczowych oraz najbardziej korzystną proporcję kwasów n-6 do n-3. Jednak, pozytywny efekt modyfikacji profilu kwasów tłuszczowych, związany w szczególności ze zwiększeniem udziału kwasów tłuszczowych z rodziny n-3, zarówno w produktach mięsnych, jak i ciastkach kruchych może prowadzić do zmian tekstury, obniżyć trwałość wyrobów, a przede wszystkim wpłynąć negatywnie na ich jakość sensoryczną. Poprawę cech użytkowych mieszaniny tłuszczu o wysokiej zawartości oleju roślinnego można dokonać na drodze modyfikacji. Potencjalnie największe możliwości uzyskania lipidów o z góry założonych właściwościach daje reakcja przeestryfikowania enzymatycznego. Podczas reakcji dochodzi do zmian pozycji grup

acylowych wewnątrz cząsteczki triacyloglicerolu oraz pomiędzy sąsiadującymi cząsteczkami, prowadząc tym samym do zmiany położenia kwasów tłuszczowych w cząsteczkach triacylogliceroli i uzyskania zmodyfikowanego tłuszczu o zadowalających właściwościach sensorycznych, fizycznych i chemicznych. Główną zaletą tej metody jest zachowanie budowy kwasów tłuszczowych, dzięki czemu cenne biologicznie aktywne kwasy tłuszczowe pozostają w nienaruszonej formie (Fauzi i wsp., 2013; Pacheco i wsp., 2013). Próby otrzymywania tłuszczów przeestryfikowanych – lipidów strukturyzowanych podejmowało i podejmuje wielu badaczy. Powodem są szerokie możliwości, jakie stwarza zastosowanie enzymów, ze względu na specyficzność ich działania, łagodne parametry procesu zabezpieczające surowce przed niepożądanymi zmianami oraz uzyskanie szerokiej gamy lipidów o zmodyfikowanej strukturze, co umożliwi ich szerokie wykorzystanie w produkcji żywności specjalnego przeznaczenia. Szczególnie interesujące wydaje się uzyskanie lipidów przeestryfikowanych o pożądanym składzie i rozmieszczeniu kwasów tłuszczowych, zmienionym profilu mięknięcia, a w konsekwencji uzyskanie produktu o określonych i z góry zaplanowanych właściwościach (Pacheco i wsp., 2013). Uzyskanie lipidów przeestryfikowanych o zaplanowanej i odpowiedniej dystrybucji kwasów tłuszczowych, może zapewnić odpowiednią przyswajalność produktów, do których produkcji tłuszcze te zostały użyte. Specyficzne rozmieszczenie kwasów tłuszczowych w otrzymanych produktach będzie przyczyniało się również do powstawania odpowiednich produktów podczas trawienia w organizmie człowieka.

Zagadnienia te stały się dla mnie założeniami do realizacji kilkuletnich badań. Badania dotyczące możliwości technologicznego zastosowania przeestryfikowanych tłuszczów naturalnych w ciastkach kruchych oraz farszach mięsnych są w pewnych obszarach nowatorskie i stanowią mój wkład w rozwój dyscypliny naukowej.

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

Celem naukowym Osiągnięcia, będącego podstawą do ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego, zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2018 r. poz. 1789), jest:

- ocena możliwości zastosowania przeestryfikowanych mieszanin tłuszczu mlecznego i smalcu z olejem rzepakowym i koncentratem oleju rybiego do wypieku ciastek kruchych,

- ocena możliwości zastosowania przeestryfikowanej mieszaniny smalcu z olejem rzepakowym w technologii modelowych farszów mięsnych,
- ocena właściwości technologicznych uzyskanych produktów,
- ocena frakcji lipidowej zastosowanej w technologii wyżej wymienionych produktów oraz frakcji lipidowej wyizolowanej z gotowych produktów (ciastek kruchych i modelowych farszów mięsnych).

Cykl publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe, obejmuje wyniki badań dotyczących:

- oceny frakcji lipidowej rynkowych ciastek kruchych dedykowanych małym dzieciom (publikacja **H1**),

- właściwości technologicznych ciastek kruchych oraz modelowych farszów mięsnych uzyskanych z zastosowaniem przeestryfikowanych tłuszczów (publikacje **H4 i H6**),

- oceny frakcji lipidowej mieszanin tłuszczowych wyjściowych, tłuszczów przeestryfikowanych oraz wyizolowanych z uzyskanych produktów ze szczególnym uwzględnieniem:

- wpływu przeestryfikowania na skład kwasów tłuszczowych oraz ich rozmieszczenia pomiędzy pozycje triacylogliceroli tłuszczów w ciastkach kruchych i modelowych farszach mięsnych (publikacje **H3, H5, H6**),
- wpływu przeestryfikowania na profil mięknięcia mieszanin tłuszczowych (publikacje **H2, H5, H6**),
- wpływu przeestryfikowania na stabilność oksydacyjną tłuszczów w ciastkach kruchych i modelowych farszach mięsnych (publikacje **H2, H3, H5, H6**).

#### **4.3.3. Ocena frakcji lipidowej rynkowych ciastek kruchych dedykowanych małym dzieciom**

Rynkowe ciastka kruche, dedykowane niemowlętom i małym dzieciom przebadalam pod kątem jakości frakcji lipidowej. Wyniki opisałam w publikacji **H1**. Zawartość tłuszczu kształtowała się w badanych produktach na poziomie 12,6-15,6%. Zawartość poszczególnych grup kwasów tłuszczowych wynosiła: nasyconych kwasów tłuszczowych (SFA) – 42,7-54,3%; jednonienasyconych kwasów tłuszczowych (MUFA) – 34,1-39%; wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (PUFA) – 10,9-18%.

Spośród SFA, w dominującej ilości występował kwas palmitynowy we wszystkich 4 rodzajach ciastek kruchych (36-47,8%). Z grupy kwasów tłuszczowych nienasyconych w największej ilości występował kwas oleinowy (34-38,9%) oraz linolowy (10-17,4%). W badanych ciastkach kwas palmitynowy zestyfikowany był głównie w pozycjach zewnętrznych sn-1,3 triacylogliceroli (TAG), tylko około 18,5% tego kwasu znajdowało się w pozycji wewnętrznej sn-2. Kwasy tłuszczowe nienasycone wykazywały tendencję do zajmowania pozycji wewnętrznej sn-2. Taka dystrybucja kwasów tłuszczowych w ciastkach kruchych przeznaczonych dla niemowląt wynika z faktu użycia w procesie produkcyjnym olejów roślinnych (palmowego, kokosowego, utwardzonego rzepakowego lub słonecznikowego). W olejach roślinnych, PUFA są w przeważającej ilości zlokalizowane w pozycji wewnętrznej triacyloglicerolu (Nelson i wsp., 1998). Zastosowanie takich tłuszczów pozwala uzyskać korzystny skład kwasów tłuszczowych, natomiast regiospecyficzne rozmieszczenie kwasów nie zapewnia odpowiedniej przyswajalności tych produktów. W przypadku hydrolizy lipazą trzustkową odszczepione ze skrajnych pozycji wolne kwasy tłuszczowe, w większości nasycone (C16:0; C18:0), są gorzej wchłaniane i reagują z wolnymi jonami  $Ca^{2+}$  tworząc nierozpuszczalne sole wapniowe, które następnie są wraz z kałem usuwane z organizmu. Powoduje to zmniejszenie dostępności wapnia dla organizmu dziecka. Mimo dużej zawartości kwasu palmitynowego w pokarmie, u niemowląt stwierdza się niską absorpcję tłuszczu oraz wapnia z pożywienia (Lopez-Lopez i wsp., 2001; Maduko i wsp., 2008).

W rynkowych ciastkach kruchych dokonałam również oceny stabilności oksydatywnej frakcji lipidowej. Wyniki zawarłam również w publikacji **H1**. Stabilność oksydacyjna mierzona czasem indukcji w teście Rancimat, kształtowała się na poziomie 6,24-19,24 h. W badaniach stabilności oksydatywnej przyjmuje się zasadę, im dłuższy czas indukcji, tym tłuszcz jest bardziej odporny na utlenianie (Ostrowska-Ligęza i wsp., 2010). Stwierdzono, że stabilność oksydacyjna jest ściśle związana z zawartością poszczególnych grup kwasów tłuszczowych, a szczególnie kwasów nienasyconych. Generalnie tłuszcz z wyższą zawartością kwasów tłuszczowych nienasyconych utleniał się szybciej niż tłuszcz z wyższą zawartością kwasów tłuszczowych nasyconych (Choe i Min, 2006; Parker i wsp., 2003). Tłuszcz wyizolowany z ciastek o wyższej zawartości kwasów MUFA i PUFA charakteryzował się krótszym czasem indukcji niż tłuszcz z ciastek o wyższej zawartości kwasów SFA.

Stabilność oksydacyjną analizowałam również, wykorzystując metodę różnicowej kalorymetrii skaningowej. W metodzie tej pomiary można dokonywać w warunkach izotermicznych rejestrując czas indukcji lub w warunkach dynamicznych, przy wzrastających szybkościach ogrzewania, rejestrując temperaturę początku utleniania tłuszczu (Ton – temperatura onset/onset oxidation temperature). W omawianej publikacji pomiarów dokonywałam w warunkach dynamicznych. Otrzymane temperatury onset utleniania tłuszczów wyizolowanych z badanych ciastek, mogą być stosowane jako parametry do oceny odporności tłuszczów na utlenianie. W tym wypadku przyjmuje się zasadę, że im wyższa temperatura onset utleniania, tym tłuszcz jest bardziej stabilny. Otrzymałam podobne zależności do tych uzyskanych w teście Rancimat. Tłuszcz z ciastek z wyższą temperaturą zapoczątkowania procesu utleniania (onset) jest bardziej stabilny niż tłuszcz z ciastek, gdzie temperatury onset uzyskane w takich samych szybkościach ogrzewania są niższe.

**Otrzymane wyniki, szczególnie te dotyczące profilu kwasów tłuszczowych oraz ich rozmieszczenia pomiędzy pozycje triacylogliceroli w ciastkach kruchych, skłoniły mnie do poszukiwania nowych zmodyfikowanych tłuszczów, o pożądanym składzie i rozkładzie kwasów tłuszczowych. Tłuszcze te mogą być wykorzystane w produktach o wysokiej zawartości tłuszczu i w konsekwencji pozwolą uzyskać produkt o określonych i z góry zaplanowanych właściwościach.**

#### **4.3.4. Właściwości technologiczne ciastek kruchych oraz modelowych farszów mięsnych uzyskanych z zastosowaniem przeestryfikowanych tłuszczów**

Wyniki dotyczące właściwości teksturalnych ciastek wypieczonych z zastosowaniem dwóch rodzajów przeestryfikowanych tłuszczów zamieściłam w publikacji **H4**. Na podstawie uzyskanych wartości maksymalnej siły oraz pracy ściskania, nie wykazano istotnego wpływu rodzaju zastosowanego w kruchych ciastkach przeestryfikowanego tłuszczu, na otrzymane wartości. Maksymalna siła potrzebna do odkształcenia ciastek zawierających przeestryfikowaną mieszaninę tłuszczu mlecznego z olejem rzepakowym i tłuszczem rybim, mieściła się w zakresie od 9,2 do 60,0 N, a ciastek zawierających przeestryfikowaną mieszaninę smalcu z olejem rzepakowym i tłuszczem rybim od 6,4 do 44,0 N. Wartość pracy ściskania ciastek zawierających mieszaninę ze smalcem zmieniała się od 2,8 do 24,2 mJ, a ciastek zawierających mieszaninę z tłuszczem mlecznym, od 2,6 do 14,8 mJ. Mniejszy zakres

pracy ściskania ciastek z tłuszczem mlecznym świadczy o ich większej kruchości, czyli zdolności do łatwego pęknięcia, przy małym odkształceniu (Jakubczyk i Marzec, 2006).

W publikacji **H4** przedstawiłam również wyniki dotyczące oceny sensorycznej wypieczonych ciastek kruchych. Badane próbki ciastek charakteryzowały się zbliżonym natężeniem wyróżników zapachowych, w tym zapachu tłuszczowego, przyrumienionego, słodkiego, ostrego oraz rybiego. W konsystencji wyższe wrażenie twardości odnotowano w próbce ciastek wypieczonych na bazie modyfikowanej mieszaniny tłuszczowej zawierającej smalec, która była mniej krucha, sucha oraz wykazywała niższe wrażenie fragmentacji w porównaniu do próbki ciastek wypieczonych na bazie modyfikowanej mieszaniny tłuszczowej zawierającej tłuszcz mleczny. W profilu smakowym obydwie próbki charakteryzowały się zbliżoną intensywnością smaku słodkiego, maślanego, zbożowego oraz rybiego.

**Przedstawione wyniki dotyczące właściwości tekstualnych oraz oceny sensorycznej, wskazują, że przeestryfikowane mieszaniny tłuszczu mlecznego z olejami ciekłymi oraz smalcu z olejami ciekłymi mogą zostać wykorzystane do wypieku ciastek kruchych.**

Zastosowanie przeestryfikowanej mieszaniny smalcu z olejem rzepakowym wpłynęło na właściwości technologiczne modelowych farszów mięsnych wyprodukowanych z mięsa z piersi kurcząt. Wyniki uzyskane z tej części doświadczenia przedstawiłam w publikacji **H6**.

Modelowe farsze mięsne różniły się istotnie pod względem lepkości pozornej. Farsz mięsny przygotowany z użyciem samego smalcu jako surowca tłuszczowego charakteryzował się istotnie najwyższą lepkością pozorną, w porównaniu z lepkością farszu przygotowanego z użyciem mieszaniny tłuszczowej nieprzeestryfikowanej, czy też lepkością farszu w recepturze którego zastosowano przeestryfikowaną mieszaninę smalcu i oleju rzepakowego. Lepkoelastyczne właściwości farszów mięsnych zależą m.in. od ilości użytego tłuszczu i jego struktury. Wyższa zawartość tłuszczu twardego powoduje wzrost lepkości farszu. Powyższa zależność jest silniejsza, gdy na przykład temperatura podczas produkcji farszów do parówek jest niższa. Zakłada się, że farsze o mniejszej lepkości lepiej nadziewa się w osłonki. Oznacza to, że farsze wyprodukowane z użyciem przeestryfikowanej mieszaniny mogą się nadawać do produkcji np. parówek. Zwiększona lepkość farszu jest pożądana w produktach mięsnych wyprodukowanych z emulsji o wysokiej zawartości tłuszczu, ponieważ wyższa lepkość emulsji daje

zwiększoną elastyczność, może to jednak powodować powstawanie pustych przestrzeni w osłonce (Yapar i wsp., 2006).

Zastąpienie smalcu w recepturze modelowych farszów mięsnych nieprzeestryfikowaną lub przeestryfikowaną mieszaniną smalcu z olejem rzepakowym nie wpłynęło na ilość wycieku po obróbce termicznej, jednak istotnie kształtowało teksturę wyprodukowanych farszów. Modelowe farsze mięsne, w których zastosowano nieprzeestryfikowaną oraz przeestryfikowaną mieszaninę smalcu i oleju rzepakowego charakteryzowały się istotnie niższą wartością siły penetracji w porównaniu z farszem, w którym zastosowano smalec. Wprowadzenie mieszaniny tłuszczów w formie przeestryfikowanej lub nieprzeestryfikowanej zawierającej olej roślinny może powodować wady jakościowe farszów mięsnych (Yıldız-Turp i Serdaroğlu, 2008).

Zastąpienie smalcu w modelowych farszach mięsnych mieszaniną smalcu z olejem rzepakowym oraz przeestryfikowaną mieszaniną tych tłuszczów nie wpłynęło istotnie na składowe barwy farszów. Wyniki innych badaczy potwierdziły, że wprowadzenie oleju roślinnego w formie przeestryfikowanej lub nieprzeestryfikowanej nie wpływa na zmiany składowych barwy produktów mięsnych (Ospina-E i wsp., 2012; Soyer i wsp., 2005). Natomiast wyniki uzyskane przez Yıldız-Turp i Serdaroğlu (2008) wskazują, że zastosowanie przeestryfikowanego oleju roślinnego w produktach mięsnych powoduje wzrost składowej barwy żółtej.

**Podsumowując powyższe badania należy stwierdzić, że przeestryfikowana mieszanina smalcu z olejem rzepakowym może zostać zastosowana w technologii produkcji farszów mięsnych, gdyż nie wpływa negatywnie na ich właściwości technologiczne.**

#### **4.3.5. Ocena frakcji lipidowej mieszanin tłuszczowych wyjściowych, tłuszczów przeestryfikowanych oraz wyizolowanych z uzyskanych produktów**

##### **4.3.5.1. Wpływ przeestryfikowania na skład kwasów tłuszczowych oraz ich rozmieszczenia pomiędzy pozycje triacylogliceroli tłuszczów w ciastkach kruchych i modelowych farszach mięsnych**

Do wypieku ciastek kruchych wykorzystano dwa rodzaje przeestryfikowanych tłuszczów naturalnych: mieszaninę tłuszczu mlecznego, oleju rzepakowego i koncentratu oleju rybiego (ROPUFA) (w stosunku masowym 4:5:1) oraz mieszaninę smalcu, oleju rzepakowego i koncentratu oleju rybiego (w stosunku masowym 7:2:1). Wyniki dotyczące tej części doświadczenia przedstawiłam w publikacjach **H3 i H5**.

Natomiast do przygotowania modelowych farszów mięsnych wykorzystałam przeestryfikowaną mieszaninę smalcu z olejem rzepakowym (w stosunku masowym 7:3). Wyniki przedstawiłam w pracy **H6**.

Stwierdziłam, że przeestryfikowanie nie wpłynęło na skład kwasów tłuszczowych. **W przeestryfikowanych mieszaninach stwierdzono udział poszczególnych kwasów tłuszczowych na podobnym poziomie jaki uzyskano w mieszaninach tłuszczów wyjściowych.** W przeestryfikowanej mieszaninie tłuszczu mlecznego z olejem rzepakowym i z koncentratem oleju rybiego stwierdzono obecność kwasów pochodzących z tłuszczu mlecznego jak i koncentratu oleju rybiego (ROPUFA), w tym kwasów krótko- i średniołańcuchowych oraz długołańcuchowych: eikozapentaenowego (EPA) i dokozaheksaenowego (DHA). Zawartość tych dwóch kwasów wynosiła odpowiednio 1,48% EPA i 1,66% DHA w mieszaninie przeestryfikowanej oraz 1,36% EPA i 1,50% DHA w mieszaninie nieprzeestryfikowanej. W obu mieszaninach stwierdzono również obecność kwasów linolowego oraz  $\alpha$ -linolenowego pochodzących z oleju rzepakowego. Ich ilość kształtowała się na poziomie 12,1% kwasu linolowego, 5,09% kwasu  $\alpha$ -linolenowego w mieszaninie nieprzeestryfikowanej oraz odpowiednio 10,60% i 4,98% w tłuszczu przeestryfikowanym.

Podobne zależności stwierdzono w mieszaninach przeestryfikowanych i nieprzeestryfikowanych zawierających smalec. W mieszaninie wyjściowej smalec:olej rzepakowy:ROPUFA oraz przeestryfikowanej, w dominującej ilości występowały kwasy: oleinowy (37,8% i 38,8%), palmitynowy (22,3% i 20%), stearynowy (14,7% i 14,3%) i linolowy (10,3% i 10,4%). Zawartość kwasu  $\alpha$ -linolenowego, pochodzącego z oleju rzepakowego wynosiła odpowiednio 2,8% i 2,7% w mieszaninie początkowej oraz przeestryfikowanej. W obu mieszaninach tłuszczowych występowały również kwasy pochodzące z preparatu ROPUFA w ilości 2,3% EPA i 3% DHA w mieszaninie niepoddanej modyfikacji oraz 2,2% EPA i 3,1% DHA w mieszaninie zmodyfikowanej.

W mieszaninie smalec:olej rzepakowy wzrasta zawartość kwasów jednonienasyconych i wielonienasyconych, obniża się zawartość kwasów nasyconych. Wynika to z wysokiej zawartości kwasów oleinowego, linolowego i  $\alpha$ -linolenowego w oleju rzepakowym. Zawartość kwasu linolowego i  $\alpha$ -linolenowego wynosiła odpowiednio 15% i 2% w mieszaninie nieprzeestryfikowanej oraz 15,3% i 3,2% w mieszaninie przeestryfikowanej. Generalnie przeestryfikowanie nie wpływa na stopień nienasylenia i nie powoduje izomeryzacji kwasów tłuszczowych (Bryś i wsp., 2013; Bryś i wsp., 2014; Dinç i wsp., 2014; Dogan i wsp., 2007; Sharma i Lokesh, 2012).



**We frakcji lipidowej wyizolowanej z ciastek kruchych stwierdzono obecność tych samych kwasów na podobnym poziomie co w tłuszczach przeestryfikowanych, wykorzystanych do ich wypieku.** W obu wariantach występowały kwasy EPA i DHA pochodzące z preparatu ROPUFA oraz kwasy wielonienasycone linolowy i  $\alpha$ -linolenowy. Ich ilość wynosiła odpowiednio 1,29%, 1,42%, 11,30%, 4,60% w wariacie z tłuszczem mlecznym oraz 2,4%, 3,2%, 10,6%, 2,7% w wariacie ze smalcem. W pierwszym wariacie ciastek (mieszanina z tłuszczem mlecznym) stwierdzono również obecność kwasów krótkołańcuchowych. Kwasy krótko- i średniołańcuchowe są wykorzystywane w organizmie jako paliwo energetyczne dla m. in. mięśni, serca, wątroby, nerek, płytek krwi. Stanowią także źródło szybkiej energii, ponieważ są bardzo łatwo wchłaniane w jelicie cienkim, a następnie transportowane żyłą wrotną do wątroby, w której są natychmiast metabolizowane (Rutkowska, 2007). Kwasy długołańcuchowe EPA i DHA pochodzące z preparatu ROPUFA są bardzo ważne dla rozwoju organizmu, szczególnie niemowląt i małych dzieci. Kwas dokozaheksaenowy jest integralnym składnikiem błon komórkowych w rozwijającym się mózgu i siatkówce oka. DHA wpływa na zdolności poznawcze, motoryczne oraz ostrość widzenia niemowląt (Wan i wsp., 2011). Kwas ten jest również niezbędny do rozwoju centralnego układu nerwowego niemowląt. Ostatnie badania pokazują również znaczenie DHA w mineralizacji kości i masy kostnej (Huiling, 2010).

**Skład kwasów tłuszczowych w modelowych farszach mięsnych był ściśle skorelowany z rodzajem tłuszczów wykorzystanych do ich produkcji.** Ilość poszczególnych kwasów tłuszczowych w farszu ze smalcem, mieszaniną nieprzeestryfikowaną oraz przeestryfikowaną była na zbliżonym poziomie, co w tłuszczach użytych do produkcji farszów. Zastąpienie części smalcu olejem rzepakowym poprawiło proporcje kwasów nasyconych do nienasyconych oraz spowodowało wzrost zawartości kwasu  $\alpha$ -linolenowego. Konsekwencją tego jest zmniejszenie stosunku kwasów tłuszczowych z rodziny n-6 do n-3, na bardziej korzystną z żywieniowego punktu widzenia. Cheong i wsp. (2010), Javidipour i Vural (2002) również potwierdzają, że zastosowanie przeestryfikowanej mieszaniny z olejem rzepakowym stwarza możliwość zwiększenia wartości żywieniowej przetworów mięsnych. Olej rzepakowy, ze względu na wysoką zawartość kwasów z rodziny n-3, pozytywnie wpływa na funkcjonowanie mózgu, oczu oraz serca. Zalecany jest szczególnie dzieciom, których mózg się intensywnie rozwija oraz osobom starszym mającym problemy z pamięcią, czy wzrokiem. Z powodu najniższej zawartości

nasyconych kwasów tłuszczowych jest odpowiedni dla osób z chorobami układu krążenia (Krygier, 2009).

**Rozmieszczenie kwasów tłuszczowych we frakcji lipidowej ciastek kruchych oraz modelowych farszów mięsnych odzwierciedla rozmieszczenie tych kwasów w odpowiednich mieszaninach tłuszczowych wykorzystanych do produkcji wymienionych wyrobów.** W mieszaninach niepoddanych modyfikacji oraz tłuszczach wyizolowanych z produktów (ciastka kruche, farsz mięsny na bazie tłuszczu przeestryfikowanego), kwas palmitynowy znajdował się w głównie w pozycji wewnętrznej. Udział kwasów nienasyconych w pozycjach sn-1,3 w cząsteczkach triacylogliceroli w wyrobach wyprodukowanych na bazie tłuszczów przeestryfikowanych zwiększył się, w porównaniu do mieszanin nieprzeestryfikowanych. Niewielkie zmiany w rozmieszczeniu kwasów tłuszczowych w pozycji sn-2 podczas przeestryfikowania mogą wynikać z migracji reszt acylowych w cząsteczkach triacylogliceroli podczas enzymatycznej modyfikacji (Jeyarani i Yella Redy, 2010).

Regiospecyficzne rozmieszczenie kwasów tłuszczowych w mieszaninach przeestryfikowanych oraz wyizolowanych z odpowiednich produktów jest podobne do dystrybucji kwasów tłuszczowych tłuszczu mleka kobycego. Dzięki takiej strukturze poprawia się wchłanianie kwasów tłuszczowych w świetle jelita. Nasycone kwasy tłuszczowe w pozycji sn-2 są absorbowane bardziej wydajnie w porównaniu do nasyconych kwasów tłuszczowych znajdujących się w pozycjach sn-1,3. Długołańcuchowe nasycone kwasy tłuszczowe uwalniane z pozycji sn-1,3, w świetle jelita mają tendencję do wiązania jonów Ca i Mg, tworząc nierozpuszczalne sole (Farfán i wsp., 2013; Wang i wsp., 2016).

#### **4.3.5.2. Wpływ przeestryfikowania na profil mięknięcia mieszanin tłuszczowych**

Wyniki dotyczące profili mięknięcia frakcji triacylogliceroli mieszanin wyjściowych oraz przeestryfikowanych przedstawiłam w publikacjach **H2**, **H5**, **H6**. W publikacji **H2** umieściłam rezultaty badań dotyczące przeestryfikowanej mieszaniny tłuszczu mlecznego z olejem rzepakowym i koncentratem oleju rybiego. W mieszaninie nieprzeestryfikowanej można zaobserwować 4 endotermiczne piki. Dwa pierwsze są związane z obecnością niskotopniejących frakcji TAG oleju rzepakowego i preparatu ROPUFA, dwa kolejne z wysokotopniejącą frakcją TAG tłuszczu mlecznego. Główne konsekwencje przeestryfikowania to zmniejszenie wielkości piku 2 i zwiększenie

wielkości pików 3, reprezentujących średniotopniejące frakcje triacylogliceroli. Spowodowane jest to resyntezą nowych estrów podczas reakcji przeestryfikowania enzymatycznego i pojawieniem się nowych triacylogliceroli.

Wyniki związane z przeestryfikowaniem mieszaniny smalec:olej rzepakowy:preparat ROPUFA omówiłam w publikacji **H5**, natomiast dotyczące mieszaniny smalec:olej rzepakowy w publikacji **H6**. W mieszaninach nieprzeestryfikowanych na krzywych DSC znajdują się 3 lub 4 endotermiczne pik. Piki odpowiadające niskim temperaturom topnienia związane są z obecnością niskotopniejących frakcji TAG z oleju rzepakowego i koncentratu oleju rybiego. Związane jest to z wysoką zawartością kwasów tłuszczowych wielonienasyconych i oznacza, że do stopienia tych frakcji TAG potrzebna jest bardzo mała ilość energii. Piki odpowiadające wysokim temperaturom topnienia związane są z obecnością triacylogliceroli pochodzących ze smalcu. Przeestryfikowanie spowodowało zmiany w profilach mięknienia obu mieszanin zawierających smalec. W przypadku przeestryfikowanej mieszaniny zawierającej oprócz smalcu i oleju rzepakowego, koncentrat oleju rybiego, stwierdzono pojawienie się na krzywej DSC nowego pików reprezentującego średniotopniejące nowe frakcje TAG oraz zmniejszenie wielkości istniejącego pików, który reprezentował topnienie nieprzeestryfikowanych frakcji TAG w średnim zakresie temperatur. W mieszaninie tej nie występował również pik, reprezentujący wysokotopniejące frakcje TAG, a który występował w mieszaninie wyjściowej. Może to wynikać z powstawania długołańcuchowych wielonienasyconych triacylogliceroli, które potrzebują wyższej wartości entalpii do całkowitej konwersji ze stanu stałego w stan ciekły (Sharma i Lokesh, 2012). W przypadku mieszaniny smalcu i oleju rzepakowego, przeestryfikowanie skutkowało pojawieniem się dwóch nowych endotermicznych pików na krzywej DSC, odpowiadającym średnio- i wysokotopniejącym frakcjom TAG. Może to być skutkiem powstania tri- i di-nienasyconych triacylogliceroli, co również przyczynia się do wzrostu temperatury topnienia mieszaniny przeestryfikowanej (Oliveira i wsp., 2017).

**Generalnie przebieg krzywych DSC odpowiadających przeestryfikowanym mieszaninom odzwierciedla restrukturyzację i powstawanie nowych triacylogliceroli podczas enzymatycznej modyfikacji. Otrzymane przeestryfikowane mieszaniny zawierają triacyloglicerole o różnym stopniu nasycenia i szerokim zakresie topnienia i plastyczności, co jest bardzo pożądane w przypadku ich technologicznego zastosowania.**

#### **4.3.5.3. Wpływ przeestryfikowania na stabilność oksydacyjną tłuszczów w ciastkach kruchych i modelowych farszach mięsnych**

**Przeestryfikowanie powodowało zmiany w stabilności oksydacyjnej analizowanych mieszanin tłuszczów.** Wyniki odnoszące się do tych zmian w mieszaninie tłuszcz mleczny:olej rzepakowy:preparat ROPUFA, przedstawiłam w publikacjach **H2 i H3**, dotyczące mieszaniny smalec:olej rzepakowy:preparat ROPUFA w publikacji **H5**, natomiast mieszaniny smalec:olej rzepakowy w publikacji **H6**. We wszystkich przeestryfikowanych mieszaninach stwierdzono obniżenie stabilności oksydacyjnej (mierzonej czasem indukcji) w stosunku do mieszanin wyjściowych. Czas indukcji obniżył się z 50,54 do 26,47 min. w mieszaninie zawierającej tłuszcz mleczny; z 49,08 do 28,71 min. w mieszaninie smalcu z olejami ciekłymi; oraz z 70,3 do 21,6 min. w mieszaninie smalcu z olejem rzepakowym. We wszystkich przeestryfikowanych mieszaninach stwierdzono również obniżenie temperatur onset utleniania w porównaniu do mieszanin wyjściowych. Powodem niższej stabilności oksydacyjnej lipidów przeestryfikowanych jest częściowa utrata naturalnych przeciwutleniaczy ( tokoferoli, tokotrienoli, fitosteroli), która jest szczególnie istotna w przypadku przeestryfikowania olejów roślinnych (Lee i wsp., 2008; Martin i wsp., 2010). Obniżenie odporności na utlenianie lipidów przeestryfikowanych, może również wynikać z podwyższonej zawartości frakcji wolnych kwasów tłuszczowych (Aguedo i wsp., 2009). We wszystkich przeestryfikowanych mieszaninach stwierdzono bowiem wzrost zawartości tej frakcji. W procesie enzymatycznego przeestryfikowania zachodzą dwie przeciwstawne reakcje: częściowa hydroliza i resynteza estrów, co powoduje, że w końcowym produkcie obecne są, obok triacylogliceroli, również pewne ilości wolnych kwasów tłuszczowych oraz mono- i diacylogliceroli (Rozenaal, 1992). Ważnym czynnikiem wpływającym na stabilność oksydacyjną przeestryfikowanych tłuszczów jest rozmieszczenie kwasów tłuszczowych w cząsteczkach triacylogliceroli. Większość badań wskazuje, że korzystniej jest z punktu widzenia stabilności oksydacyjnej, kiedy kwasy wielonienasycone znajdują się w pozycji sn-2 cząsteczek triacylogliceroli (Endo i wsp., 1997a; Endo i wsp., 1997b). Martin i wsp. (2010) twierdzą z kolei, że wpływ lokalizacji kwasów tłuszczowych w szkielecie glicerolu nie jest rozstrzygający, w przypadku określania stabilności oksydacyjnej.

**Tłuszcze wyekstrahowane z ciastek kruchych wypieczonych na bazie tłuszczów przeestryfikowanych charakteryzowały się wyższą stabilnością oksydacyjną niż tłuszcze wykorzystane do ich wypieku.** Może to być spowodowane powstającymi

podczas wypieku melanoidyn – wysokocząsteczkowych polimerów lub kopolimerów, końcowych produktów reakcji Maillarda (Manzocco i wsp., 2001). Jednym z ważniejszych aspektów dotyczących występowania melanoidyn w żywności są ich właściwości przeciwutleniające (Michalska i Zieliński, 2007; Morales i Jiménez-Pérez, 2004).

**Tłuszcze wyekstrahowane z farszów mięsnych charakteryzowały się niższą odpornością na utlenianie niż tłuszcze użyte do ich produkcji.** Obniżenie stabilności oksydacyjnej, może być spowodowane hydrolizą wiązań estrowych w cząsteczkach triacylogliceroli pod wpływem wody zawartej w farszach. Powstające wolne kwasy tłuszczowe, mono- i diacyloglicerole mogą indukować reakcję utleniania.

Wykorzystując dane doświadczalne uzyskane z testu DSC (szybkość ogrzewania oraz ekstrapolowana temperatura rozpoczęcia utleniania-temperatura onset) wyznaczono parametry kinetyczne procesu utleniania mieszanin przeestryfikowanych oraz tłuszczów wyekstrahowanych z uzyskanych produktów. Analiza danych eksperymentalnych wykazała, że początkowe temperatury utleniania (onset) rosną wraz ze wzrostem szybkości ogrzewania i mogą być opisane przez korelację liniową:  $\text{Log } \beta = a(1/T_{\text{on}}) + b$ , gdzie  $\beta$  to szybkość ogrzewania,  $T_{\text{on}}$  – temperatura początku utleniania, a i b - współczynniki regresji i stała regresji. We wszystkich analizowanych mieszaninach tłuszczowych uzyskano wysokie współczynniki determinacji. Dzięki temu z dużą dokładnością można policzyć temperatury onset także przy tych szybkościach ogrzewania, przy których nie były wykonywane pomiary. Korzystając ze współczynnika nachylenia prostej wygenerowanej dla każdej próbki oraz korzystając ze wzorów opisanych w publikacjach **H2, H5, H6** obliczono parametry kinetyczne: energię aktywacji, współczynniki przedpotęgowe oraz stałe szybkości reakcji. Nie stwierdzono ścisłego wpływu przeestryfikowania na wartości energii aktywacji. **Mieszaniny przeestryfikowane tłuszczu mlecznego i smalcu z olejem rzepakowym i koncentratem oleju rybiego charakteryzowały się niższą energią aktywacji niż mieszaniny wyjściowe. Natomiast w przypadku mieszaniny smalcu z olejem rzepakowym, stwierdzono wzrost energii aktywacji po przeestryfikowaniu. Frakcja lipidowa wyizolowana z ciastek kruchych charakteryzowała się wyższą energią aktywacji w porównaniu do wartości tego parametru mieszanin tłuszczów przeestryfikowanych, wykorzystanych do wypieku ciastek. Nie stwierdzono różnic w wartości energii aktywacji przeestryfikowanej mieszaniny smalec:olej**

**rzepakowy i tłuszczu wyekstrahowanego z farszu mięsnego, wyprodukowanego na bazie tej mieszaniny.**

Utlenianie tłuszczu jest reakcją wieloaspektową, która zależy od wielu czynników, w tym zawartości endogennych przeciwutleniaczy, katalizatorów, pierwotnych i wtórnych produktów utleniania, rozkładu pozycyjnego kwasów tłuszczowych w cząsteczkach TAG oraz od interakcji wyżej wymienionych czynników, które wpływają na szybkość utleniania przeestryfikowanych tłuszczów.

**4.3.6. Podsumowanie**

Przedstawiony powyżej, powiązany tematycznie cykl 6 publikacji, stanowiący podstawę ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego dotyczy zagadnień związanych z możliwością technologicznego zastosowania przeestryfikowanych mieszanin tłuszczów zwierzęcych z olejami roślinnymi. Przedstawione w autoreferacie wyniki badań stanowią propozycję praktycznego zastosowania modyfikowanych lipidów w produktach o wysokiej zawartości tłuszczu, tj. w ciastkach kruchych oraz modelowych farszach mięsnych.

Zastosowanie przeestryfikowanych mieszanin: tłuszcz mleczny:olej rzepakowy:preparat ROPUFA oraz smalec:olej rzepakowy:preparat ROPUFA nie wpłynęło negatywnie na teksturę ciastek kruchych oraz ich ocenę sensoryczną. Ciastka wypieczone na bazie przeestryfikowanej mieszaniny zawierającej tłuszcz mleczny charakteryzowały się większą kruchością i tendencją do łatwego pęknięcia. Analogicznie w ocenie sensorycznej w ciastkach tych odnotowano mniejsze wrażenie twardości.

W prezentowanych publikacjach wykazałam, że przeestryfikowana mieszanina tłuszczu zwierzęcego z olejem roślinnym może być również wykorzystana w technologii modelowych farszów mięsnych. Zastosowanie przeestryfikowanej mieszaniny smalcu z olejem rzepakowym nie wpływa negatywnie na właściwości technologiczne farszów mięsnych. Obniżenie takich parametrów jak lepkość pozorna i siła penetracji może być korzystne w procesie nadziewania farszu w osłonki przy produkcji np. parówek. Zastosowanie takiej mieszaniny, może skutkować gładką, bardziej miękką konsystencją wyrobu końcowego.

Analizując wyniki dotyczące składu kwasów tłuszczowych, dowiodłam obecność tych samych kwasów na podobnym poziomie we frakcji lipidowej wyizolowanej z ciastek kruchych i modelowych farszów mięsnych, jak i mieszaninach przeestryfikowanych wykorzystanych przy produkcji omawianych wyrobów.

Przeestryfikowanie nie spowodowało zmiany składów tłuszczowych oraz ich naturalnej budowy, w związku z tym, w ciastkach kruchych i modelowym farszu mięsnym znajdowały się wielonienasycone kwasy tłuszczowe korzystne z żywieniowego punktu widzenia. Podobnie, rozmieszczenie kwasów tłuszczowych we frakcji lipidowej ciastek kruchych oraz modelowych farszów mięsnych odzwierciedla rozmieszczenie tych kwasów w odpowiednich tłuszczach przeestryfikowanych. W przeestryfikowanych mieszaninach udało się uzyskać taką dystrybucję kwasów tłuszczowych w pozycjach triacylogliceroli, która może poprawić wchłanianie kwasów tłuszczowych w świetle jelita, a w konsekwencji strawność produktów.

Na podstawie przebiegu krzywych DSC udowodniłam, że przeestryfikowanie powoduje zmiany w profilu mięknięcia mieszanin tłuszczowych. Główną konsekwencją przeestryfikowania było pojawienie się nowych endotermicznych pików, które odpowiadają powstawaniu triacylogliceroli o zmienionej strukturze, o różnym stopniu nasycenia. Poza tym, krzywe mięknięcia DSC dostarczają cennych informacji o profilu topnienia tłuszczu, np. jak topią się w ustach. Zakresy topnienia przeestryfikowanych tłuszczów były bardzo szerokie, co powoduje, że takie tłuszcze szczególnie nadają się do zastosowań piekarniczych i w technologii produktów mięsnych. Znalazło to również swoje odzwierciedlenie we właściwościach technologicznych farszów mięsnych, tj. obniżonej lepkości pozornej i wartości siły penetracji.

Wykazałam, że przeestryfikowanie wpłynęło na stabilność oksydacyjną tłuszczu wyekstrahowanego z ciastek kruchych oraz modelowych farszów mięsnych. Wszystkie przeestryfikowanie mieszaniny charakteryzowały się obniżoną stabilnością oksydacyjną w porównaniu do mieszanin wyjściowych. W tłuszczu wyekstrahowanym z ciastek kruchych wypieczonych na bazie mieszanin przeestryfikowanych stwierdziłam wyższą stabilność oksydacyjną niż w mieszaninie przeestryfikowanej. Natomiast tłuszcz wyekstrahowany z farszów mięsnych charakteryzował się niższą odpornością na utlenianie niż tłuszcz użyty do ich produkcji.

Wykorzystując dane eksperymentalne uzyskane podczas przyspieszonego testu na utlenianie wyznaczyłam parametry kinetyczne utleniania tłuszczów przeestryfikowanych oraz wyizolowanych z otrzymanych wyrobów. Dane kinetyczne są istotne w przewidywaniu stabilności oksydacyjnej tłuszczów modyfikowanych, szczególnie takich, które mogą mieć technologiczne zastosowanie. Parametry te mogą również być przydatne w kontrolowaniu zmian jakości w produktach tłuszczowych podczas ich przetwarzania i przechowywania.

Przeestryfikowane mieszaniny tłuszczów zwierzęcych z olejami roślinnymi nadają się do praktycznego zastosowania w wypieku ciastek kruchych oraz w technologii modelowych farszów mięsnych. Zastosowanie takich lipidów nie wpływa negatywnie na właściwości technologiczne produktów oraz na ogólną jakość frakcji lipidowej. Może natomiast poprawić strawność takich produktów.

Spis literatury:

1. Aguedo M., Giet J.M., Hanon E., Logany G., Wathélet B., Destain J., Brasseur R., Vandebol M., Danthine S., Blecker C., Wathélet J.P. 2009. Calorimetric study of milk fat/rapeseed oil blends and their interesterification products. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 111: 376–385.
2. Bryś J., Wirkowska M., Górską A., Ostrowska-Ligęza E., Bryś A. 2014. Application of the calorimetric and spectroscopic methods in analytical evaluation of the human milk fat substitutes. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 118: 841–848.
3. Bryś J., Wirkowska M., Górską A., Ostrowska-Ligęza E., Bryś A., Koczoń P. 2013. The use of DSC and FT-IR spectroscopy for evaluation of oxidative stability of interesterified fats. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 113: 481–487.
4. Caponio F., Summo C., Clodoveo M.L., Pasqualone A. 2008. Evaluation of the nutritional quality of the lipid fraction of gluten-free biscuits. *European Food Research and Technology*, 227: 135–139.
5. Cheong L.-Z., Zhang H., Nersting L., Jensen K., Haagenen J.A.J., Xu X. 2010. Physical and sensory characteristic of pork sausages from enzymatically modified blends of lard and rapeseed oil during storage. *Meat Science*, 85: 691–699.
6. Choe E., Min D. 2006. Mechanisms factors for edible oil oxidation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5: 169–186.
7. Dinç S., Javidipour I., Özbas Ö.Ö., Tekin A. 2014. Utilization of zero-trans noninteresterified and interesterified shortenings in cookie production. *Journal of Food Sciences and Technology*, 51(2): 365–370.
8. Dogan I.S., Javidipour I., Akan T. 2007. Effects of interesterified palm and cottonseed oil blends on cake quality. *International Journal of Food Science and Technology*, 42: 157–164.
9. Endo Y., Hoshizaki S., Fujimoto K. 1997a. Autoxidation of synthetic isomers of triacylglycerol containing eicosapentaenoic acid. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 74: 543–548.
10. Endo Y., Hoshizaki S., Fujimoto K. 1997b. Oxidation of synthetic triacylglycerols containing eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids: effect of oxidation system and triacylglycerol structure. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 74: 1041–1045.
11. Farfán M., Villalón M.J., Ortiz M.E., Nieto S., Bouchon P. 2013. The effects of interesterification on the bioavailability of fatty acids. *Food Chemistry*, 139: 571–577.
12. Fauzi S.H.M., Rashid N.A., Omar Z. 2013. Effects of chemical interesterification on the physicochemical, microstructural and thermal properties of palm stearin, palm kernel oil and soybean oil blends. *Food Chemistry*, 137(1-4): 8–17.
13. Huiling M. 2010. Production and nutritional aspects of human milk fat substitutes. *Lipid Technology*, 22: 126–129.
14. Jakubczyk E., Marzec A. 2006. Właściwości mechaniczne chrupkich/kruchych ciastek. *Inżynieria Rolnicza*, 3: 31–38.
15. Javidipour I., Vural H. 2002. Effects of incorporation of interesterified plant oils quality and fatty acid composition of Turkish-type salami. *Nahrung/Food*, 46: 404–407.
16. Jeyarani T., Yella Redy S. 2010. Effect of enzymatic interesterification on physicochemical properties of mahua oil and kokum fat blend. *Food Chemistry*, 123(2): 249–253.
17. Krygier K. Właściwości użytkowe rafinowanego oleju rzepakowego. W: *Olej rzepakowy – nowy surowiec, nowa prawda*. Red. J. Krzymański. Wyd. Polskie Stowarzyszenie Producentów Oleju, Warszawa 2009, s. 89–92.



18. Lee J.H, Akoh C.C., Lee K.-T. 2008. Physical properties of trans-free bakery shortening produced by lipase-catalyzed interesterification. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85: 1-11.
19. Lopez-Lopez A., Castellote-Bargallo A.I., Campoy-Folgozo C., Rivero-Urgel M., Tormo-Carnice R., Infante-Pina D., Lopez- Sabater M.C. 2001. The influence of dietary palmitic acid triacylglyceride position on the fatty acid, calcium and magnesium contents of at term newborn faeces. *Early Human Development*, 65: 83–94.
20. Maduko C.O., Park Y.W., Akoh C.C. 2008. Characterization and oxidative stability of structured lipids: infant milk fat analog. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85: 197–204.
21. Manzocco L., Calligaris S., Mastrocola D., Nicoli M.C., Lerici C.R. 2001. Review on nonenzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in Food Science and Technology*, 11: 340-346.
22. Martin D., Reglero G., Senorans F. 2010. Oxidative stability of structured lipids. *European Food Research and Technology*, 231: 635-653.
23. Michalska A., Zieliński H. 2007. Produkty reakcji Maillarda w żywności. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2(51): 5-16.
24. Morales F.J., Jiménez-Pérez S. 2004. Peroxyl radical scavenging activity of melanoidins in aqueous systems. *European Food Research and Technology*, 218: 515-520.
25. Nelson S.E., Frantz J.A., Ziegler E.E. 1998. Absorption of fat and calcium by infants fed a milk-based formula containing palm olein. *Journal of the American College of Nutrition*, 17(4): 327–332.
26. Oliveira P.D., Rodrigues A.M.C., Bezerra C.V., Silva L.H.M. 2017. Chemical interesterification of blends with palm stearin and patawa oil. *Food Chemistry*, 215: 369-376.
27. Ospina-E J.C., Sierra-C A., Ochoa O., Perez-Alvarez J.A., Fernandez-Lopez J. 2012. Substitution of saturated fat in processed meat products: a review. *Critical Reviews in Food Science*, 52(1–3): 113–122.
28. Ostrowska-Ligeża E., Bekas W., Kowalska D., Łobacz M., Wroniak M., Kowalski B. 2010. Kinetics of commercial olive oil oxidation: dynamic differential scanning calorimetry and Rancimat studies. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 112: 268–274.
29. Pacheco C., Palla C., Crapiste G.H., Carrin M.E. 2013. Optimization of reaction conditions in the enzymatic interesterification of soybean oil and fully hydrogenated soybean oil to produce plastic fats. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90: 391–400.
30. Parker T.D., Adams D.A., Zhou K., Harris M., Yu L. 2003. Fatty acid composition and oxidative stability of cold-pressed edible seed oils. *Journal of Food Science*, 68: 1240–1243.
31. Rozenaal A. 1992. Interesterification of oils and fats. *International News on Fats, Oils and Related Materials*, 3 (11): 1232–1237.
32. Rutkowska J. Tłuszcz mleczny: struktura, skład i właściwości prozdrowotne. W: *Chemia żywności: odżywcze i zdrowotne właściwości składników żywności*. Red. Z.E. Sikorski. WNT, Warszawa 2007, s. 39-89.
33. Sai Manohar R., Haridas Rao P. 2002. Interrelationship between rheological characteristics of dough and quality of biscuits; use of elastic recovery of dough to predict biscuit quality. *Food Research International*, 35: 807-813.
34. Sharma M., Lokesh B.R. 2012. Effect enzymatic trans- and interesterification on the thermal properties of groundnut and linseed oil and their blends. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89: 805-813.
35. Soyer A., Ertaş A.H., Üzümcüoğlu, Ü. 2005. Effect of processing conditions on the quality of naturally fermented Turkish sausages (sucuks). *Meat Science*, 69(1): 135–141.
36. Vijayakumar M., Vasudevan D.M., Sundaram K.R., Krishnan S., Vaidyanathan K., Nandakumar S., Chandrasekhar R., Mathew N. 2016. A randomized study of coconut oil versus sunflower oil on cardiovascular risk factors in patients with stable coronary heart disease. *Indian Heart Journal*, 68: 498 – 506.
37. Wan Y., Bechtel P.J., Sathivel S. 2011. Physical and nutritional properties of baby food containing menhaden oil (*Brevoortia tyrannus*) and microencapsulated menhaden oil. *LWT - Food Science and Technology*, 44: 576-581.

38. Wang T., Wang X., Wang X. 2016. Effects of lipid structure changed by interesterification on melting property and lipemia. *Lipids*, 51: 1115–1126.
39. Yapar A., Atay S., Kayacier A., Yetim H. 2006. Effects of different levels of salt and phosphate on some emulsion attributes of the common carp (*Cyprinus carpio* L., 1758). *Food Hydrocolloids*, 20(6): 825–830.
40. Yıldız-Turp G., Serdaroğlu M. 2008. Effect of replacing beef fat with hazelnut oil on quality characteristics of sucuk - a Turkish fermented sausage. *Meat Science*, 78(4): 447–454.

## 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Urodziłam się 18 lutego 1980 r. w Sokółce. W 1999 r. zdałam egzamin maturalny w Liceum Ogólnokształcącym im. Mikołaja Kopernika w Sokółce. W tym samym roku rozpoczęłam dzienne studia na Wydziale Technologii Żywności SGGW w Warszawie. Wybrana przeze mnie specjalizacja Technologia Tłuszczów i Koncentratów Spożywczych, wynikała z moich zainteresowań, które skupiały się na ogólnej jakości frakcji lipidowej produktów o wysokiej i niskiej zawartości tego składnika oraz możliwości modyfikowania właściwości tłuszczów naturalnych. Pracę magisterską pt. „Wpływ przeestryfikowania na stabilność przeciwutleniającą tłuszczu mlecznego z olejami roślinnymi” wykonałam w Katedrze Chemii Wydziału Technologii Żywności SGGW, pod kierownictwem naukowym Prof. dr hab. Bolesława Kowalskiego. Studia wyższe ukończyłam w 2004 roku uzyskując tytuł magistra inżyniera technologii żywności i żywienia człowieka.

W październiku 2004 roku rozpoczęłam Studia Doktoranckie na Wydziale Technologii Żywności SGGW w Warszawie. W trakcie studiów doktoranckich, poza realizacją programu brałam udział w Socrtaes Intensive Programme „Food and Health” w Institut National Agronomique Paris-Grignon.

Pracę doktorską „Oksydacyjna i hydrolityczna stabilność lipidów wybranych zbóż i produktów zbożowych”, która była realizowałam w Katedrze Chemii pod promotorstwem Prof. dr hab. Bolesława Kowalskiego, obroniłam 14.11.2008 przed Radą Wydziału Nauk o Żywności SGGW w Warszawie. W grudniu 2008 r. zostałam zatrudniona na stanowisku asystenta, a rok później adiunkta. W 2009 roku ukończyłam jedno-semestralne Studia Podyplomowe w zakresie Doskonalenia Pedagogicznego na Wydziale Nauk Humanistycznych SGGW w Warszawie.

Moja dotychczasowa aktywność naukowa jest kontynuacją tematyki podejmowanej w pracy magisterskiej oraz realizowanej podczas studiów doktoranckich. Wyróżniłam cztery główne zagadnienia badawcze:

1. Jakość frakcji lipidowej w produktach spożywczych różnego pochodzenia.

2. Wykorzystanie przeestryfikowania do modyfikowania właściwości tłuszczów naturalnych, a w szczególności do otrzymania zamienników tłuszczu mleka kobycego.
3. Właściwości termiczne żywności.
4. Zastosowanie  $\beta$ -laktoglobuliny do wiązania palmitynianu retinyłu i cholekalcyferolu w układach beztłuszczowych.

### **5.1. Jakość frakcji lipidowej w produktach spożywczych różnego pochodzenia**

Pierwszym nurtem pracy badawczej zespołu, z którym podjęłam współpracę była charakterystyka frakcji lipidowej produktów spożywczych różnego pochodzenia. Szczególne zainteresowanie wzbudziły produkty dedykowane niemowlętom i małym dzieciom.

Tłuszcze są głównym składnikiem energetycznym naszego pożywienia. Ich obecność w pożywieniu jest niezbędna, gdyż odgrywają bardzo ważną rolę w prawidłowym funkcjonowaniu i rozwoju organizmu. Prezentowany cykl publikacji, nie wchodzący w skład osiągnięcia habilitacyjnego, dotyczył głównie składu kwasów tłuszczowych oraz ich rozmieszczenie pomiędzy pozycje triacylogliceroli w rynkowych produktach spożywczych. Badaniom poddano: produkty ciastkarskie i chipsy ziemniaczane (**publikacje zał. 6, II.D.2.4, II.D.2.7, II.D.2.12, II.A.14**), produkty przeznaczone dla niemowląt i małych dzieci (**zał. 6, II.D.2.23, II.D.2.30**).

We frakcji lipidowej produktów i przekąsek, po które bardzo chętnie sięgają dzieci i młodzież, dominowały kwasy tłuszczowe nasycone, jedynie w nielicznych przypadkach stwierdzono niższą zawartość kwasów nasyconych na rzecz wyższego udziału kwasów wielonienasyconych (biskopki, płatki owsiane, herbatniki wielozbożowe). Produkty rynkowe dedykowane niemowlętom i małym dzieciom charakteryzowały się bardzo zróżnicowanym składem kwasów tłuszczowych. W grupie kaszek zbożowych kwasy nasycone występowały w ilości 29,4% - 73%, kwasy jednonienasycone 21,8% - 37,2%, kwasy wielonienasycone stanowiły 5,2% - 33,2%. W grupie ciastek i płatków śniadaniowych udział SFA, MUFA i PUFA wynosił odpowiednio: 40,4% - 55,6%, 31,5% - 41%, 7% - 27,5%. W tłuszczach uzyskanych z preparatów mleka modyfikowanego początkowego, proporcja kwasów nasyconych do jedno- i wielonienasyconych była zbliżona do tej, występującej w tłuszczu mleka kobycego. W mleku matki unikatowa jest struktura regiospecyficzna TAG. Przeważająca ilość kwasu

palmitynowego (ponad 60%) w cząsteczkach triacylogliceroli jest umieszczona w pozycji środkowej (sn-2). Dzięki takiej strukturze poprawia się wchłanianie kwasów tłuszczowych w świetle jelita i zmniejszona jest strata wapnia z kałem, co jest konsekwencją tego, iż tłuszcze w jelicie cienkim są hydrolizowane przez lipazę trzustkową do sn-2 monoacylogliceroli i wolnych kwasów tłuszczowych (Innis i Dyer, 1997; Jensen 1996). Rozmieszczenie kwasów tłuszczowych pomiędzy pozycje triacylogliceroli w analizowanych produktach znacznie odbiegało od wzorca, jakim jest mleko matki. W analizowanych produktach kwas palmitynowy w przeważającej ilości występował w pozycjach zewnętrznych triacylogliceroli. Może to powodować zmniejszoną absorpcję wapnia z pożywienia przez organizm niemowlęcia (Jensen, 1996).

Ważne jest, aby w diecie najmłodszych nie zabrakło tłuszczu o dobrej jakości, który stanowi podstawowe źródło energii, jest budulcem dla kształtującego się układu nerwowego i siatkówki oka, a także stanowi nośnik witamin rozpuszczalnych w tłuszczach (Lapillonne wsp., 2013). Dlatego też produkty do dalszego żywienia niemowląt i małych dzieci powinny wykazywać jak największe podobieństwo do mleka matki, szczególnie pod względem profilu kwasów tłuszczowych oraz ich rozmieszczenia pomiędzy pozycje triacylogliceroli (Lopez-Lopez i wsp., 2002).

Omawiane wyniki były także prezentowane na konferencjach o zasięgu krajowym i międzynarodowym (zał. 6, III.B.2.1.1, III.B.2.2.5-8, 19, 40, 41, 46).

Wykaz cytowanej literatury:

1. Innis S.M., Dyer R. 1997. Dietary triacylglycerols with palmitic acid (16:0) in the sn-2 position increase 16:0 in the 2-position of plasma and chylomicron triacylglycerols but reduce phospholipid arachidonic and docosahexaenoic acids, and alter cholesteryl ester metabolism in formula-Fed piglets. *Biochemical and Molecular Roles of Nutrients. Journal of Nutrition*, 127: 1311-1319.
2. Jensen R.G. 1996. The lipids in human milk. *Progress in Lipid Research*, 1(35): 53-92.
3. Lapillonne A., Groh-Wargo S., Gonzalez C.H.L., Uauy R. 2013. Lipid needs of preterm infants: updated recommendations. *The Journal of Pediatrics*, 162: 37-47.
4. Lopez-Lopez A., Castellote-Bargalló A.I., Cam-poy-Folgoso C., Rivero-Urgel M., Lopez-Sabater M.C. 2002. Fatty acid and sn-2 fatty acid composition in human milk from Granada (Spain) and infant formulas. *European Journal of Clinical Nutrition*, 56: 1242-1254.

## **5.2. Wykorzystanie przeestryfikowania do modyfikowania właściwości tłuszczów naturalnych, a w szczególności do otrzymania zamienników tłuszczu mleka kobiecego**

Możliwością zastosowania przeestryfikowania jako narzędzia do modyfikowania właściwości lipidów zainteresowałam się jeszcze na studiach, będąc na specjalizacji Technologia Tłuszczów i Koncentratów Spożywczych, realizując pracę magisterską dotyczącą tego zagadnienia.

Przeestryfikowanie enzymatyczne to jeden ze sposobów modyfikacji tłuszczów, w którym jako katalizatory wykorzystywane są enzymy lipolityczne. Zastosowanie lipaz, zwłaszcza tych, które wykazują różną specyficzność w stosunku do struktury kwasów tłuszczowych czy też położenia wiązania estrowego w cząsteczkach triacylogliceroli, pozwala na uzyskanie produktów o z góry założonej strukturze (De Clercq i wsp., 2012; Kowalski i wsp., 2004). W publikacji przeglądowej II.D.2.6 przedstawiono możliwości wykorzystania lipidów przeestryfikowanych oraz znaczenie struktury triacylogliceroli w technologicznym zastosowaniu lipidów modyfikowanych. Przedstawiono również metody badania struktury triacylogliceroli.

W publikacjach dotyczących tematyki prezentowanego zagadnienia, nie wchodzących w skład osiągnięcia, przedstawiano możliwość zastosowania enzymatycznej modyfikacji w kształtowaniu właściwości: łożu wołowego (zał. 6, II.D.2.1, II.D.2.2), olejów roślinnych (zał. 6, II.D.2.5), smalcu (zał. 6, II.D.2.11, II.D.2.24, II.D.2.10), tłuszczu mlecznego (zał. 6, II.D.2.1, II.A.2.3, II.D.2.17, II.D.2.20, II.D.2.26). Wszystkie przeestryfikowane mieszaniny charakteryzowały się podwyższoną zawartością frakcji wolnych kwasów tłuszczowych oraz niepełnych acylogliceroli. Przeestryfikowanie nie powodowało zmian w sumarycznym składzie kwasów tłuszczowych. We wszystkich przeestryfikowanych mieszaninach stwierdzono obecność kwasów wielonienasyconych pochodzących z olejów roślinnych. W zależności od rodzaju zastosowanego enzymu następowała zmiana w rozmieszczeniu kwasów tłuszczowych pomiędzy pozycje triacylogliceroli. Zastosowanie preparatu NOVOZYM 435 do przeestryfikowania łożu wołowego z olejem rzepakowym (zał. 6, II.D.2.1) spowodowało przegrupowanie acyli kwasowych dające zbliżoną do statystycznej dystrybucję kwasów tłuszczowych we wszystkich pozycjach TAG. Wykorzystanie preparatu Lipozyme RM IM jako katalizatora spowodowało zmiany w pozycjach zewnętrznych sn-1,3 triacylogliceroli (zał. 6, II.D.2.11, II.d.2.23, II.D.2.20).

Zakresem tematycznym podejmowanym w kolejnej części pracy naukowej była możliwość zastosowania przeestryfikowania enzymatycznego do syntezy zamienników tłuszczu mleka kobiecego. Uzyskane wyniki zostały przedstawione w publikacjach **II.A.2.10**, **II.A.2.12**, **II.D.2.32**, **II.D.2.35**, **II.A.2.15**, **II.D.2.39**, wymienionych w załączniku 6 nie wchodzących w skład osiągnięcia habilitacyjnego. Ponad 40% wszystkich kwasów tłuszczowych w mleku kobiecym stanowią nasycone kwasy tłuszczowe, których głównym przedstawicielem jest kwas palmitynowy. Cechą charakteryzującą tłuszcz mleka kobiecego jest również wysoka zawartość kwasów krótkołańcuchowych, które charakteryzują się przyspieszonym metabolizmem (Ziemiański i Budzyńska-Topolowska, 1991). Wielonienasycone kwasy tłuszczowe to przede wszystkim kwas linolowy i  $\alpha$ -linolenowy (ALA) należące do niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych (Lopez-Lopez i wsp., 2002). Bardzo ważne dla rozwoju niemowlęcia, ale występujące w niewielkich ilościach w mleku kobiecym, to kwasy eikozapentaenowy i dokozaheksaenowy. W mleku kobiecym ponad 60% kwasu palmitynowego zestryfikowane jest w pozycji sn-2 triacyloglicerolu. Taka stereoizomeryczna specyfika przyczynia się do zwiększenia absorpcji tłuszczu i wapnia z pokarmem i poprawia wchłanianie kwasów tłuszczowych w świetle jelita.

Przeestryfikowanie tłuszczów zwierzęcych (smalcu, tłuszczu mlecznego, koncentratu oleju rybiego) z olejami roślinnymi (olej rzepakowy, ostropest plamisty) okazało się skutecznym narzędziem w otrzymaniu zamienników tłuszczu mleka kobiecego. Otrzymane lipidy strukturyzowane miały zbliżoną zawartość kwasów tłuszczowych nasyconych, jednonienasyconych oraz wielonienasyconych do tłuszczu mleka kobiecego. Niezależnie od czasu trwania procesu, produkty przeestryfikowania charakteryzowały się zbliżonym profilem kwasów tłuszczowym, który nie odbiegał znacząco od składu kwasów tłuszczowych w tłuszczu mleka kobiecego. Produkty przeestryfikowania zawierały cenne z punktu widzenia żywieniowego kwasy tłuszczowe, takie jak kwas linolowy i  $\alpha$ -linolenowy, w niektórych wariantach także EPA i DHA. W przeestryfikowanych tłuszczach nastąpiło wbudowanie w strukturę TAG kwasów nienasyconych pochodzących z oleju rzepakowego lub ostropestu plamistego (**zał. 6**, **II.D.2.32**, **II.D.2.35**, **II.A.2.15**). Szczególnie korzystne do otrzymania struktury TAG zbliżonej do tłuszczu mleka matki są następujące warunki i parametry reakcji: przeestryfikowanie smalcu z olejem z ostropestu plamistego (w stosunku masowym 8:2) w temperaturze 60°C, przez 2 godziny (**zał. 6**, **II.A.2.15**); przeestryfikowanie smalcu z olejem rzepakowym (w stosunku masowym 7:3) w

temperaturze 70°C, przez 4 godziny (**zał. 6, publikacja II.A.2.12**); przeestryfikowanie tłuszczu mlecznego z olejem rzepakowym i koncentratem oleju rybiego (w stosunku masowym 4:5:1) w temperaturze 80°C, przez 2 godziny (**zał. 6, II.A.2.10**).

Ważnym aspektem jakości tłuszczów przeestryfikowanych jest ich odporność na utlenianie. Przeestryfikowanie enzymatyczne spowodowało obniżenie stabilności oksydacyjnej, bez względu na rodzaj użytych tłuszczów wyjściowych oraz warunki reakcji. W mieszaninach zawierających wyższą ilość oleju roślinnego, utlenianie zachodziło szybciej, ze względu na wysoką zawartość kwasów nienasyconych. Niektóre wyniki (**zał. 6, II.A.2.15**) wskazują wpływ czasu przeestryfikowania na stabilność oksydacyjną. Mieszaniny przeestryfikowane w krótszym czasie charakteryzowały się krótszym czasem indukcji.

Szczególnie interesujące wydaje się zastosowanie spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera (FT-IR) do badania stabilności oksydacyjnej lipidów modyfikowanych. Wyniki zawarte w publikacji **II.A.2.10 (zał. 6)** wskazują, że wybrane zakresy z danych spektralnych, korelują w bardzo wysokim stopniu z czasem indukcji zmierzonym metodą DSC. Najwyższe współczynniki korelacji otrzymano dla długości fali w zakresie 640-626 1/cm.

Wyniki powyższych badań były również prezentowane na wielu konferencjach o zasięgu krajowym i międzynarodowym (**zał. 6, III.B.2.1.4, 9, 11, 12, 14, 20, 21, 27, 28, 39, 40, 45; III.B.2.2.2-4, 8, 14-16, 22, 24, 27, 28, 30, 44, 45, 47, 52, 55**).

Wykaz cytowanej literatury:

1. De Clercq N., Danthine S., Nguyen M.T, Gibon V., Dewettinck K. 2012. Enzymatic interesterification of palm oil and fractions: Monitoring the degree of interesterification using different methods. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 89: 219–229.
2. Kowalski B., Tarnowska K., Gruczyńska E., Bekas W. 2004. Chemical and enzymatic interesterification of beef tallow and rapeseed oil blend with low content of tallow. *Journal of Oleo Science*, 53 (10): 479-488.
3. Lopez-Lopez A., Castellote-Bargalló A.I., Cam-poy-Folgozo C., Rivero-Urgel M., Lopez-Sabater M.C. 2002. Fatty acid and sn-2 fatty acid composition in human milk from Granada (Spain) and infant formulas. *European Journal of Clinical Nutrition*, 56: 1242-1254.
4. Ziemiański Ś., Budzyńska-Topolowska J. 1991. *Tłuszcze pożywienia i lipidy ustrojowe*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

### **5.3. Właściwości termiczne żywności.**

Tematyką dotyczącą właściwości termicznych żywności zajęłam się wraz z zespołem w roku 2009. Większość publikacji dotycząca tego zagadnienia opiera się na

wykorzystaniu metod kalorymetrycznych (DSC, MDSC, PDSC) w badaniu żywności. Przeprowadzone badania w pierwszym etapie pozwoliły na dopracowanie metody wyznaczania parametrów utleniania różnych produktów spożywczych: tłuszczu z kukurydzy (zał. 6, II.D.2.3), oleju z nasion wiesiołka (zał. 6, II.D.2.8), kwasu linolowego (zał. 6, II.A.2.1), tłuszczu mlecznego (zał. 6, II.D.2.13). Rejestrując powtarzalne parametry, temperaturę ekstrapolowanego początku utleniania ( $T_{on}$ ) oraz temperaturę odpowiadającą maksimum pikowi ( $T_{max}$ ), z uwzględnieniem wzrastających szybkości ogrzewania, wyznaczono stabilność oksydacyjną omawianych produktów oraz parametry kinetyczne utleniania: energię aktywacji, współczynnik przedpotęgowy, stałą szybkości reakcji.

Metodę różnicowej kalorymetrii skaningowej wykorzystano również do badania wpływu składników preparatu mleka w proszku na jego stabilność i właściwości termiczne (zał. 6, II.A.2.16, II.A.2.7, II.A.2.13, II.D.2.29, II.D.2.37). Skład chemiczny preparatów z mleka w proszku miał wpływ na kształt i przebieg krzywych DSC (zał. 6 II.D.2.29, II.D.2.37). Pierwsze wyraźne pików egzotermicznych na krzywej chłodzenia DSC oraz endotermiczne na krzywej ogrzewania, świadczą o obecności tłuszczu mlecznego w składzie mieszanin. Krzywe chłodzenia DSC mieszanin mleka w proszku z dodatkami preparatów kwasów tłuszczowych, wykazywały obecność trzech pików egzotermicznych, które miały maksima w temperaturach zbliżonych do temperatur krystalizacji kwasów tłuszczowych z grupy n-3 i n-6. Intensywność pików zależała od wielkości dodatku preparatów kwasów tłuszczowych. Na podstawie przebiegu krzywych DSC można wnioskować o składzie chemicznym preparatów z mleka w proszku.

Znajomość oraz pomiary właściwości fizycznych i termicznych żywności w proszku są konieczne w celu zoptymalizowania wielu procesów technologicznych. Bardzo ważnym elementem stabilności produktów sproszkowanych jest ich stan fizyczny oraz struktura (Schubert, 1993).

Aby odpowiednio dobrać warunki przechowywania żywności w proszku i przewidywać przemiany w niej zachodzące niezbędna jest znajomość aktywności wody oraz temperatury przejścia szklistego. Produkt spożywczy charakteryzuje się najwyższą stabilnością w temperaturze przemiany szklistej ( $T_g$ ) i niższej (Sablani i wsp., 2010; Shi i wsp., 2012). W publikacji II.A.2.13 (zał. 6) zamieszczono wyniki dotyczące pomiarów temperatury przejścia szklistego preparatów mleka w proszku, przygotowanych różnymi metodami (aglomerowanie, powlekanie, suszenie),



przechowywanych w różnych aktywnościach wody. Stwierdzono, że temperatura przejścia szklistego obniżyła się wraz ze wzrostem wilgotności. W pracy tej nie stwierdzono wpływu aglomeracji lub powlekania na przebieg i kształt izoterm sorpcji preparatów mleka w proszku. Nie stwierdzono również wpływu aglomeracji i powlekania na właściwości termiczne badanych preparatów mleka w proszku (**zał. 6, II.A.2.7, II.A.2.13**). Wykazano, natomiast, że zawartość tłuszczu w badanych preparatach wpływa na przemiany fazowe, a w konsekwencji na przebieg krzywych DSC (**zał. 6, II.A.2.7**). Stabilność termiczną niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych dodawanych do preparatów mleka w proszku mogą zwiększyć takie procesy, jak aglomeracja i powlekanie (**zał. 6, II.A.2.7**).

W preparatach mleka w proszku poddanych i niepoddanych aglomeracji dokonano również oceny właściwości termicznych tłuszczów wyizolowanych z tych preparatów (**zał. 6, II.A.2.6**). Tłuszcz wyekstrahowany z mieszanin aglomerowanych charakteryzował się większą stabilnością oksydacyjną niż tłuszcz wyizolowany z takich samych mieszanin niepoddanych aglomeracji. Nie stwierdzono natomiast wpływu aglomeracji na profile mięknięcia tłuszczów wyizolowanych z badanych preparatów.

Badania właściwości termicznych żywności są w Katedrze Chemii kontynuowane z wykorzystaniem najnowocześniejszego sprzętu - termograwimetru (Tg), którym od niedawna dysponuje jednostka.

W publikacjach **II.A.2.18 i II.A.2.20 (zał. 6)** przedstawiano możliwość zastosowania technik termoanalitycznych DSC i termograwimetrii w badaniu właściwości termicznych czekolad gorzkich, mlecznych i białych. Wykazano różnice w profilach mięknięcia tłuszczu mlecznego i kakaowego, a także różnice w mięknięciu samych czekolad. Wykorzystując technikę termograwimetrii i pierwszej pochodnej termograwimetrii można wskazać różnice w zawartości cukru i likieru kakaowego w czekoladach gorzkich, mlecznych i białych. Badania termograwimetryczne mogą być przydatne do badań zafałszowań czekolad, szczególnie tych dotyczących tłuszczu kakaowego.

Wyniki omawianych badań były również prezentowane na wielu konferencjach o zasięgu krajowym i międzynarodowym (**zał. 6, III.B.2.1.3, 5-7, 22, 23, 31, 32, 37, 38, 42, 43, 48, 49; III.B.2.2.9, 21, 35, 39, 42, 43, 49, 51, 54, 57**).

Wykaz cytowanej literatury:

1. Sablani S., Syamaladvi R., Swanson B. 2010. A review of methods, data, and application of state diagrams of food systems. *Food Engineering Reviews*, 2: 168–203.
2. Schubert H. 1993. Instantization of powdered foods products. *Chemie Ingenieur Technik*, 1: 28–45.
3. Shi Q., Wang X., Zhao Y., Fang Z. 2012. Glass transition and state diagram for freeze-dried *Agaricus bisporus*. *Journal of Food Engineering*, 111: 667–74.

#### **5.4. Zastosowanie $\beta$ -laktoglobuliny do wiązania palmitynianu retinyłu i cholekalcyferolu w układach beztłuszczowych**

$\beta$ -laktoglobulina jest głównym białkiem frakcji serwatkowej mleka krowiego. Badania wskazują na podobną strukturę i konformację  $\beta$ -laktoglobuliny z ludzkim białkiem wiążącym retinol (RBP, ang. retinol binding protein) (Blaner, 1989). Wykazano, że  $\beta$ -laktoglobulina wykazuje zdolność wiązania hydrofobowych związków, tj. retinolu, kwasów tłuszczowych, witamin rozpuszczalnych w tłuszczach, cholesterolu itp. (Perez Dolores i Calvo, 1995).

W omawianym cyklu publikacji, nienależącym do osiągnięcia habilitacyjnego, przedstawiono wyniki dotyczące możliwości wiązania przez  $\beta$ -laktoglobulinę cholekalcyferolu (zał. 6, II.D.2.14, II.A.2.5, II.A.2.4, II.D.2.18, II.D.2.19, II.D.2.25, II.A.2.14) i palmitynianu retinyłu (zał. 6, II.A.2.9, II.D.2.28, II.D.2.31, II.D.2.33, II.D.2.36, II.A.2.16). W publikacji przeglądowej II.D.2.14 przedstawiano charakterystykę białka. Opisano jej potencjalne możliwości do transportowania wybranych składników odżywczych w układach pozbawionych tłuszczu. Stwierdzono, że zdolności wiążące  $\beta$ -laktoglobuliny zależą od pH roztworu buforu fosforanowego, w którym tworzone są kompleksy (publikacja II.D.2.19 i II.A.2.9, zał. 6). Wartość pH decyduje o konformacji elastycznej pętli, otwierającej i zamykającej dostęp do wnętrza baryłki znajdującej się w strukturze  $\beta$ -laktoglobuliny i odpowiedzialnej za wiązanie ligandów (Kontopidis i wsp., 2004). Najwyższy poziom cholekalcyferolu otrzymano dla połączeń w pH 6,8; 7,4 i 9. Największą zawartość palmitynianu retinyłu uzyskano przy pH 6,8 i 7,4. Uzyskane kompleksy  $\beta$ -laktoglobuliny z cholekalcyferolem i palmitynianem retinyłu otrzymanych w pH=6,8, poddano suszeniu sublimacyjnemu i rozpyłowemu (publikacja II.A.2.9 i II.A.2.4, zał. 6). Poziom palmitynianu retinyłu był wyższy w próbkach suszonych rozpyłowo przy zastosowaniu temperatury powietrza wlotowego wynoszącej 120°C. Stwierdzono brak wpływu temperatury procesu suszenia rozpyłowego na zawartość witaminy D<sub>3</sub> w produkcie. Zastosowanie liofilizacji, nie przyczyniło się do większej zawartości cholekalcyferolu, natomiast przyczyniło się do

znacznego zwiększenia zawartości palmitynianu retinyłu w próbce. Wybrane produkty zostały wzbogacone w laktozę lub trehalozę i zostały przebadane pod kątem ich właściwości termicznych. Skład surowcowy, kompleksów, tj. dodatek cukrów miał wpływ na kształt i przebieg krzywych DSC (publikacja **II.D.2.25, II.A.2.5, II.D.2.18, zał. 6**). Obserwowano przemiany endotermiczne świadczące o przemianie białek  $\beta$ -laktoglobulin oraz o wytworzeniu kompleksów  $\beta$ -laktoglobuliny z witaminą D<sub>3</sub>. Metoda suszenia nie wpłynęła na kształt i przebieg krzywych DSC. Wartości temperatury przejścia szklistego uzależnione były od składu surowcowego produktów (publikacje **II.A.2.5, II.A.2.11, II.D.2.31, II.A.2.16, zał. 6**). W przypadku włączenia trehalozy do produktów, temperatury przejść fazowych były wyższe niż w produktach zawierających laktozę. W kompleksach, które dodatkowo zostały jeszcze wzbogacone w maltodekstrynę, wystąpiły dwa oddzielone przejścia fazowe związane z obecnością w składzie surowcowym laktozy/trehalozy oraz maltodekstryny. Wraz ze zwiększaniem udziału maltodekstryny w kompleksach wartość temperatury przejść szklistych wzrastała.

W otrzymanych kompleksach  $\beta$ -laktoglobulina – cholekalcyferol/palmitynian retinyłu – laktoza/trehaloza – maltodekstryna oznaczono właściwości funkcjonalne (publikacje **II.A.2.11, II.D.2.28, II.D.2.31, II.D.2.33, II.D.2.36, II.A.2.16, zał. 6**). Wykazano, że dodanie trehalozy mogłoby poprawić jakość proszków przez opóźnienie krystalizacji. Układy zawierające maltodekstrynę również charakteryzowały się opóźnionym procesem krystalizacji w stosunku do układów bez maltodekstryny. Ma to ogromne znaczenie, ponieważ stopień krystalizacji ma kluczowe znaczenie dla akceptacji produktu końcowego.

Niższą aktywnością wody charakteryzowały się kompleksy  $\beta$ -laktoglobuliny z palmitynianem retinyłu z dodatkiem laktozy, suszone rozpyłowo. Dodatek maltodekstryny korzystnie wpłynął na wartości aktywności wody badanych próbek. Im większy był udział maltodekstryny w składzie surowcowym próbki, tym uzyskano niższą wartość aktywności wody. Nie stwierdzono natomiast wpływu metody oraz parametrów suszenia na otrzymane wartości aktywności wody w tych kompleksach z dodatkiem trehalozy. W przypadku kompleksów  $\beta$ -laktoglobuliny z cholekalcyferolem, suszenie rozpyłowe wpłynęło na obniżenie aktywności wody.

Badania wykazały również wpływ metody suszenia na zwilżalność produktów. Krótszym czasem zwilżania charakteryzowały się próbki suszone sublimacyjnie niż proszki suszone rozpyłowo. Na zwilżalność produktów również wpływ miał dodatek

laktozy/trehalozy do kompleksów. Układy, które zawierały dodatek disacharydu, charakteryzowały się krótszym czasem zwilżania niż kompleksy bez ich udziału.

Wyniki omawianych badań były również prezentowane na wielu konferencjach o zasięgu krajowym i międzynarodowym (zał. 6, III.B.2.1.2, 8, 13, 24, 25, 29, 30, 36, 41; III.B.2.2.10, 12, 17, 18, 25, 26, 31, 32, 34, 37, 48, 53).

Wykaz cytowanej literatury:

1. Blaner W.S. 1989. Retinol binding protein: the serum transport protein for vitamin A. *Endocrin Reviews*, **10**: 308-316.
2. Kontopidis G., Holt C., Sawyer L. 2004. Invited review:  $\beta$ -lactoglobulin: Binding properties, structure, and function. *Journal of Dairy Science*, **87**(4): 785-796.
3. Perez Dolores M., Calvo M. 1995. Interaction of  $\beta$ -lactoglobulin with retinol and fatty acids and its role as a possible biological function for this protein: A review. *Journal of Dairy Science*, **78**: 978-988.

## 6. Podsumowanie pracy naukowo-badawczej

Pełna lista moich osiągnięć naukowych oraz popularno-naukowych znajduje się w Załączniku 6 do wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego (Wykaz opublikowanych prac naukowych lub twórczych prac zawodowych oraz informacji o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki). W tabeli 1 zestawiono dorobek przed i po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, natomiast w tabeli 2 przedstawiono zestawienie publikacji.

Tabela 1. Zestawienie dorobku przed i po uzyskaniu stopnia naukowego doktora

	Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora	Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora	Łącznie
<b>1. Publikacje znajdujące się w bazie JCR</b>			
1.1. w j. polskim	0	6	<b>6</b>
1.2. w j. angielskim	0	18	<b>18</b>
<b>2. Publikacje i rozdziały w monografiach nie znajdujące się w bazie JCR</b>			
2.1. w j. polskim	16	39	<b>55</b>
2.2. w j. angielskim	1	3	<b>4</b>
<b>Razem publikacje</b>	<b>17</b>	<b>66</b>	<b>83</b>

<b>3. Doniesienia konferencyjne</b>			
3.1. Doniesienia na międzynarodowych konferencjach	2	49	51
3.2. Doniesienia na krajowych konferencjach	21	60	81
<b>Razem doniesienia</b>	<b>23</b>	<b>106</b>	<b>129</b>

Tabela 2. Zestawienie oryginalnych prac twórczych

Lp.	Nazwa czasopisma	Ilość	Pkt MNiSW*	IF**
<b>Przed uzyskaniem stopnia doktora</b>				
1	Rośliny Oleiste	2	2x5	
2	Tłuszcze Jadalne	6	4x3+2x0	
3	Żywność. Nauka. Technologia. Jakość	6	6x4	
4	Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis, Scientia Alimentaria	1	3	
5	Zeszyty Naukowe Akademii Rolniczej im. H. Kołłątaja w Krakowie	1	1x0	
6	Rozdziały w monografiach	1	1x7	
<b>Razem (1-6)</b>		<b>17</b>	<b>56</b>	<b>0</b>
<b>Wchodzące w skład osiągnięcia naukowego</b>				
7	International Journal of Food Sciences and Nutrition	1	25	1,257
8	European Journal of Lipid Science and Technology	1	25	1,812
9	LWT - Food Science and Technology	1	35	2,329
10	International Journal of Food Properties	1	25	1,845
11	Żywność. Nauka. Technologia. Jakość	1	13	
12	Bromatologia i Chemia Toksykologiczna	1	6	
<b>Razem (7-12)</b>		<b>6</b>	<b>129</b>	<b>7,243</b>

\*Punkty MNiSW według Komunikatu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wzszego w sprawie wykazu czasopism naukowych wraz z liczbą punktów przyznawanych za publikacje w tych czasopismach zgodnie z rokiem opublikowania (dla publikacji z 2017, 2018 i 2019 roku przydzielono punkty zgodnie z Komunikatem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wzszego z dnia 26 stycznia 2017 r. zawierającym ujednoczony wykaz czasopism naukowych za lata 2013-2016).

\*\*Impact Factor według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania (dla publikacji z 2018 i 2019 roku, dla których IF nie został obliczony, podano ostatni IF).

**Po uzyskaniu stopnia doktora nie wchodzące w skład osiągnięcia**

13	Journal of Thermal Analysis and Calorimetry	11	9x25+2x20	3x1,982+2x2,206+ +2x2,042+4x2,209
14	Food Analytical Methods	1	25	1,956
15	Journal of Food Quality	1	20	0,841
16	Thermochimica Acta	1	30	2,189
17	Żywność. Nauka. Technologia. Jakość	6	6x15	2x0,155+2x0,19+ +2x0,311
18	Żywność. Nauka. Technologia. Jakość	2	1x4+1x13	
19	Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego	6	1x4+2x5+3x6	
20	Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych	5	4x6+13	
21	Acta Agrophysica	1	5	
22	Cheminé Technologija	3	3x5	
23	Bromatologia i Chemia Toksykologiczna	21	6x6+5x4+11x4	
24	Rozdziały w monografiach	2	5+3	
<b>Razem (13-24)</b>		<b>60</b>	<b>644</b>	<b>29,414</b>
<b>RAZEM (1-24)</b>		<b>83</b>	<b>829</b>	<b>36,657</b>

Sumaryczny dorobek naukowy składa się ze **83 punktowanych publikacji** (w tym **24 publikacji** w czasopismach znajdujących się w bazie JCR) o łącznej sumie **IF 36,657 (z czego 36,657 po uzyskaniu stopnia doktora)** i wartości punktowej **829 pkt.** wg wykazu czasopism punktowanych MNiSW z roku ukazania się pracy (**z czego 773 pkt. po uzyskaniu stopnia doktora**).

Po wyłączeniu 6 prac stanowiących osiągnięcie naukowe (IF=7,243; 129 pkt. MNiSW), wartość mojego pozostałego dorobku naukowego osiąga **IF=29,414 i 700 pkt. (z czego IF=29,414 i 644 pkt. po uzyskaniu stopnia doktora)**.

Magdalena Wirkowska-Wojdyla