
**AUTOREFERAT PRZEDSTAWIAJĄCY OPIS DOROBKU
I OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH ALBO ARTYSTYCZNYCH**

**w szczególności osiągnięcia, o którym mowa w 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 2017 r. poz. 1789)
W JĘZYKU POLSKIM**

dr inż. Anna Dankowska

Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu
Wydział Towaroznawstwa
Katedra Towaroznawstwa Żywności

2019 Poznań

Spis treści

1. Imię i nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe	3
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu.....	3
4. Osiągnięcie stanowiące podstawę postępowania habilitacyjnego	4
4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego	4
4.2. Cykl publikacji powiązanych tematycznie.....	4
4.3. Wprowadzane do tematyki badawczej.....	6
4.4. Omówienie celu naukowego cyklu publikacji oraz uzyskanych wyników.....	14
Cel naukowy i hipotezy badawcze	14
Przedmiot badań i stosowane metody	15
Podstawy wykorzystania metod spektroskopowych w wykrywaniu	17
zafałszowań żywności	17
Omówienie wyników badań.....	19
4.5. Podsumowanie cyklu publikacji oraz omówienie ewentualnego wykorzystania wyników badań	24
4.6. Wnioski	26
4.7. Cytowana literatura	28
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo–badawczych po uzyskaniu stopnia doktora	31
5.1. Czynniki wpływające na zawartość wybranych związków biologicznie czynnych w wybranych produktach spożywczych.....	32
5.2. Zastosowanie metod spektroskopowych do prognozowania zawartości wybranych związków biologicznie czynnych w produktach spożywczych oraz oceny ich świeżości	35
5.3. Analiza zafałszowań żywności w Systemie Wczesnego Ostrzegania o Niebezpiecznej żywności i Paszach.....	37
Zestawienie dorobku naukowego po uzyskaniu stopnia doktora.....	39
Spis skrótów	40

1. Imię i nazwisko

Anna Dankowska

Nazwisko panięskie

Hudzik

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

25.06.2004: uzyskany dyplom magistra inżyniera towaroznawstwa, Wydział Towaroznawstwa, Akademia Ekonomiczna w Poznaniu, studia 5–letnie.

Praca magisterska pt. „Prognozowanie właściwości przeciwutleniających tokoferoli i ich analogów”, promotor: prof. dr hab. Henryk Szymusiak.

15.01.2010: doktor nauk ekonomicznych w zakresie towaroznawstwa, Wydział Towaroznawstwa, Akademia Ekonomiczna w Poznaniu.

Praca doktorska pt. „Wykrywanie zafałszowań oliwy z oliwek”, promotor: prof. dr hab. Maria Małecka.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu

02.2010–02.2011: asystent, Katedra Towaroznawstwa Artykułów Spożywczych, Wydział Towaroznawstwa, Akademia Ekonomiczna w Poznaniu.

Od 02.2011: adiunkt, Katedra Towaroznawstwa Żywności, Wydział Towaroznawstwa, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu.

4. Osiągnięcie stanowiące podstawę postępowania habilitacyjnego

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Osiągnięciem naukowym wynikającym z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2017 r. poz. 1789) jest spójny tematycznie cykl prac obejmujący siedem pozycji zatytułowany:

„Wykorzystanie chemometrycznej analizy danych empirycznych w wykrywaniu zafałszowań żywności”.

4.2. Cykl publikacji powiązanych tematycznie

W zakres dorobku będącego osiągnięciem naukowym weszło siedem publikacji zrealizowanych po uzyskaniu stopnia naukowego doktora, do których zaliczono: sześć artykułów opublikowanych w języku angielskim w czasopismach indeksowanych w bazie JCR z listy A oraz jeden rozdział w monografii napisany na zaproszenie wydawnictwa Elsevier. Łączny impact factor cyklu prac – IF=13,608, całkowita wartość punktowa (MNiSW) – 175, (udział własny – 156 punktów).

Cykl publikacji zgłoszonych jako osiągnięcie naukowe:

1. **Dankowska, A., Małecka, M., Kowalewski, W., 2014, *Application of synchronous fluorescence spectroscopy with multivariate data analysis for determination of butter adulteration*, **International Journal of Food Science and Technology**, 12, s. 2628–2634. **IF=1,384, liczba cytowań=12.****

Mój wkład w pisanie ww. pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań, przygotowaniu mieszanek eksperymentalnych, wykonaniu pomiarów widm synchronicznych fluorescencji, opracowaniu statystycznym wyników, interpretacji wyników badań, napisaniu wstępnej wersji manuskryptu w tym przygotowaniu rysunków i tabel, opracowaniu korekty artykułu po recenzjach i przygotowaniu odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy określam na 88%.

2. **Dankowska, A.**, Małecka, M., Kowalewski, W., 2015, *Detection of plant oil addition to cheese by synchronous fluorescence spectroscopy*, **Dairy Science & Technology**, 95, s. 413–424. **IF=1,435, liczba cytowań=17.**

Mój wkład w pisanie ww. pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań, przygotowaniu mieszanek eksperymentalnych, wykonaniu pomiarów widm, opracowaniu statystycznym wyników, interpretacji wyników badań, napisaniu wstępnej wersji manuskryptu, w tym przygotowaniu rysunków i tabel, opracowaniu korekty artykułu po recenzjach i przygotowaniu odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy określam na 88%.

3. **Dankowska, A.**, 2016, *Advances in Fluorescence Emission Spectroscopy for Food Authenticity Testing* w: Gerard Downey (red.), *Advances in Food Authenticity Testing*, Elsevier, s. 117–145, **liczba cytowań=1.**
4. **Dankowska, A.**, 2017, *Data fusion of fluorescence and UV spectroscopies improves the detection of cocoa butter adulteration*, **European Journal of Lipid Science and Technology**, 119 (8), s. 1–7. **IF=1,95, liczba cytowań=4.**
5. **Dankowska, A.**, Domagała, A., Kowalewski, W., 2017, *Quantification of Coffea arabica and Coffea canephora var. robusta concentration in blends by means of synchronous fluorescence and UV–Vis spectroscopies*, **Talanta**, 172, s. 215–220. **IF=4,04, liczba cytowań=9.**

Mój wkład w pisanie ww. pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań, przygotowaniu mieszanek eksperymentalnych, wykonaniu pomiarów widm fluorescencji oraz pomiarów UV–Vis, opracowaniu statystycznym wyników (z wyjątkiem analizy klasyfikacyjnej), interpretacji wyników badań (z wyjątkiem analizy klasyfikacyjnej), napisaniu wstępnej wersji manuskryptu w tym przygotowaniu rysunków i tabel (z wyjątkiem punktu 2.4 oraz Tabeli 3.), opracowaniu korekty artykułu po recenzjach i przygotowaniu odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy określam na 73%.

6. **Dankowska, A.**, Kowalewski, W., 2019, *Comparison of different classification methods for analyzing fluorescence spectra to characterize type and freshness of olive oils*, **European Food Research and Technology**, 245 (3), s.745–752. **IF=1,919, liczba cytowań=0.**

Mój wkład w pisanie ww. pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań, przygotowaniu mieszanek eksperymentalnych, wykonaniu pomiarów widm, opracowaniu statystycznym wyników (z wyjątkiem modyfikacji w programie R skryptów, w taki sposób, by były użyteczne w analizie konkretnych danych), interpretacji wyników badań, napisaniu wstępnej wersji manuskryptu w tym przygotowaniu rysunków i tabel, opracowaniu korekty artykułu po recenzjach i przygotowaniu odpowiedzi na recenzje. Mój udział procentowy określam na 95%.

7. **Dankowska, A.**, Kowalewski, W., 2019, *Tea types classification with data fusion of UV–Vis, synchronous fluorescence and NIR spectroscopies and chemometric analysis*, **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomelecular Spectroscopy**, 211, s.195–202. **IF=2,88, liczba cytowań=0.**

Mój wkład w pisanie ww. pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań, przygotowaniu mieszanek eksperymentalnych, wykonaniu pomiarów widm fluorescencji, UV–Vis oraz NIR, opracowaniu statystycznym wyników (z wyjątkiem modyfikacji w programie R skryptów, w taki sposób, by były użyteczne w analizie konkretnych danych), interpretacji wyników badań, napisaniu wstępnej wersji manuskryptu w tym przygotowaniu rysunków i tabel, opracowaniu korekty artykułu po recenzjach i przygotowaniu odpowiedzi na recenzje) Mój udział procentowy określam na 97%.

4.3. Wprowadzane do tematyki badawczej

Globalizacja handlu żywnością, rozwój technologii, zmiana trybu życia, stwarzają nowe zagrożenia związane z oddziaływaniem żywności na zdrowie człowieka i wymagają zintegrowanego podejścia do problemu zapewnienia jakości i bezpieczeństwa produktów żywnościowych. Już w Deklaracji przyjętej na Światowej Konferencji Żywnościowej FAO/WHO w Rzymie w 1992 r. podkreślono, iż rządy poszczególnych państw są zobowiązane do ochrony i poprawy bezpieczeństwa

żywnościowego oraz zapewnienia społeczeństwu dostępu do żywności o odpowiedniej jakości. W tym kontekście **bezpieczeństwo żywnościowe** rozumiane jest jako fizyczna i ekonomiczna dostępność żywności spełniającej określone wymagania, wolnej od zagrożeń dla zdrowia i spełniającej oczekiwania konsumentów, również w odniesieniu do autentyczności. Uchwalona w 1997 r. Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej stanowi: (art. 68 ust.1, art. 78): „Każdy ma prawo do ochrony zdrowia. Władze publiczne chronią konsumentów, użytkowników i najemców, przed działaniami zagrażającymi ich zdrowiu, prywatności i bezpieczeństwu oraz przed nieuczciwymi praktykami rynkowymi”. Tak ważny interes publiczny, jakim jest ochrona zdrowia, stanowi podstawę ustawowego ograniczenia w działalności gospodarczej, a uwarunkowania legislacyjne i technologiczne, które są gwarancją bezpieczeństwa konsumenta, wyznaczają ramy jakości produktu.

“PN–EN ISO 9000:2001 Systemy zarządzania jakością – podstawy i terminologia” określa jakość jako stopień spełnienia wymagań przez zbiór inherentnych właściwości. Dla konsumenta żywności ważne są trzy elementy, które składają się na jakość: atrakcyjność sensoryczna, zdrowotność (w tym **bezpieczeństwo żywności**) i dyspozycyjność (Szczucki, 1970). Jakość odnosi się więc do tych atrybutów żywności, które wpływają na wartość danego produktu dla konsumenta. Zrozumiałe jest, że wymienione trzy elementy jakości żywności należy rozpatrywać w granicach możliwości wyznaczonych przewidzianymi dla tych produktów surowcami, technologią i ceną. Definicja ta choć szeroka, nie obejmuje tak bardzo ważnego dla konsumenta z punktu widzenia **bezpieczeństwa ekonomicznego** problemu autentyczności żywności.

Termin “autentyczność produktu żywnościowego” definiuje się jako zgodność produktu z opisem zamieszczonym na opakowaniu lub etykiecie, jak również z obowiązującymi normami, przepisami prawnymi i standardami jego wytwarzania (Kowalska 2017). Zgodnie z tą definicją termin ten obejmuje zarówno produkty zafałszowane, jak również produkty podrobione, podmienione czy też imitacje. Zapewnienie autentyczności produktu jest ważne zarówno z punktu widzenia konsumenta (bezpieczeństwo ekonomiczne i zdrowotne), jak i producenta (zapewnienie uczciwej konkurencji rynkowej). Konsument oczekuje, że zadeklarowana przez producenta lub dystrybutora wartość produktów nie jest zaniżona. Konsument kupując np. oliwę z oliwek z deklaracją, że jest to produkt ekologiczny, chce otrzymać produkt, który faktycznie takim jest. Zapewnienie autentyczności żywności wiąże się jednocześnie z zapewnieniem bezpieczeństwa ekonomicznego konsumenta.

Problem fałszowania żywności istnieje od początków wymiany handlowej, a kary dla nierzetelnych kupców były bardzo surowe. Już w kodeksie Hammurabiego znalazł się zapis zabraniający handlu piwem rozcieńczonym wodą. W Indiach z kolei znaleziono zapisy sprzed 2 tysięcy lat, w których zakazywano fałszowania tłuszczów i olejów. Zafałszowana żywności stanowi dziś na świecie ważny problem ze względu na liczne skandale związane np. z wykryciem melaminy w mleku w proszku w Chinach w 2008 r., czy z niezadeklarowaną koniną w Irlandii w 2013 r.. Według Johnsona (2014) 27,5% wykrytych przypadków zafałszowań żywności na świecie miało miejsce w krajach Europy, z czego 18,2% dotyczy krajów Unii Europejskiej, a 9,3% pozostałych państw Europy.

Wprawdzie u podłoża problemu zafałszowań leżą pobudki ekonomiczne, pamiętać należy, że nie wyklucza to niebezpiecznych dla zdrowia skutków wynikających bądź to z zaniedbania, bądź niedostatecznej wiedzy osób dopuszczających się fałszowania produktów żywnościowych. Praktyka pokazuje, iż wiele incydentów związanych z zafałszowaniami miało bardzo poważne konsekwencje zdrowotne (np. wspomniana sprawa melaminy dodawanej do mleka, płynu przeciwzamarzającego dodawanego do octu w Chinach, czy metanolu dodanego do wyrobów alkoholowych w Wielkiej Brytanii, Indiach i Czechach). Dlatego tak bardzo ważne jest precyzyjne zdefiniowanie pojęć i jednoznaczne określenie wymagań prawnych w tym zakresie oraz podjęcie zdecydowanych interwencji.

Problem oszustw żywnościowych dotyczy **około 10% wszystkich sprzedawanych na rynku produktów spożywczych**. Otwartym pozostaje pytanie czy znana jest pełna skala oszustw w branży spożywczej. Prawdopodobnie jest to tylko „wierzchołek góry lodowej” (Everstine i Kircher, 2013). Określono grupę 10 najbardziej narażonych na zafałszowania produktów spożywczych. Należą do nich: oliwa z oliwek, ryby, żywność ekologiczna, mleko, zboża, miód, kawa i herbata, przyprawy, wino i niektóre soki owocowe (Raport UE 2013/2091).

Badania pokazują, że skala oszustw żywnościowych jest znacząca, a konsekwencje dotkliwe. Wśród nich można wyróżnić:

- zdrowotne – fałszowana żywność może być niebezpieczna dla zdrowia;
- społeczne – spadek zaufania oraz pozycji społecznej firm fałszujących żywność;

- rynkowe – upublicznienie informacji o fałszowaniu produktów może doprowadzić nawet do bankructwa firm a co z tym się wiąże likwidacji miejsc pracy;
- międzynarodowe – wprowadzenie zafałszowanej żywności na rynek innego kraju lub wybranej grupy krajów;
- fiskalne – nienależne przychody nie są opodatkowane, co pomniejsza przychody budżetowe (np. sprzedaż produktów kradzionych poza regulowanym i kontrolowanym łańcuchem);
- etyczne – spadek prestiżu i zaufania do wiarygodności biznesu oraz jego deklaracji w zakresie społecznej odpowiedzialności biznesu (Kowalczyk, 2016).

Skutecznie zwalczanie jakiegokolwiek problemu wymaga najpierw jego poprawnego zdefiniowania. Do niedawna istniało powszechne przekonanie, że fałszowanie żywności ma podłoże stricte ekonomiczne i nie jest związane z bezpieczeństwem zdrowotnym żywności. Problemem stanowi niespójność definicji wypracowanych na świecie. Według niektórych z nich, np. opracowanej przez Agencję ds. Żywności i Leków USA (FDA) zafałszowanie to „oszukiwaczliwe, zamierzone zastąpienie lub dodanie substancji do produktu w celu zwiększenia widocznej wartości produktu lub zmniejszenia kosztów jego produkcji dla korzyści ekonomicznych” (Spink i Moyer, 2011). Według definicji podanej z kolei przez Bandal, Singh, Mangal i in. (2017) w pracach nad problemem z zafałszowanymi produktami spożywczymi, zafałszowanie żywności jest definiowane jako obniżenie jakości żywności poprzez umyślne lub niezamierzone zastąpienie składnika żywności niektórymi gorszymi cząstkami obcymi, lub przez usunięcie składnika żywności dodanej z produktu spożywczego. Podane przykłady pokazują niespójność w sposobie, w jakim terminy są używane przy rozważaniu zafałszowania żywności zarówno w kwestii tego, czy są to działania zamierzone, jak również w kwestii zagrożenia dla zdrowia.

Regulacje prawne Unii Europejskiej zastrzegają, że produkty spożywcze nie mogą być zafałszowane, ale pomimo obszernych ram prawnych dotyczących bezpieczeństwa żywności w rozporządzeniu nr 178/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady z 28 stycznia 2002 r., nie zawierają definicji zafałszowania żywności. Problemem jest nie tylko brak definicji w ustawodawstwie UE, ale również jej zróżnicowanie w różnych krajach członkowskich.

W Polsce obowiązują obecnie dwie definicje produktu żywnościowego zafałszowanego. Według ustawy z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia środki spożywcze

zafałszowany to środek spożywczy, którego skład lub inne właściwości zostały zmienione, a konsument nie został o tym poinformowany w sposób określony w przepisach rozporządzenia PE i Rady (UE) nr 1169/2011, albo środek spożywczy, w którym zostały wprowadzone zmiany mające na celu ukrycie jego rzeczywistego składu lub innych właściwości.

Środek spożywczy jest środkiem spożywczym zafałszowanym, w szczególności jeżeli:

- dodano do niego substancje zmieniające jego skład lub obniżające jego wartość odżywczą,
- odjęto składnik lub zmniejszono zawartość jednego lub kilku składników decydujących o wartości odżywczej lub innej właściwości środka spożywczego,
- dokonano zabiegów, które ukryły jego rzeczywisty skład lub nadały mu wygląd środka spożywczego o należytej jakości,
- niezgodnie z prawdą podano jego nazwę, skład, datę lub miejsce produkcji, termin przydatności do spożycia lub datę minimalnej trwałości albo w inny sposób nieprawidłowo go oznakowano, wpływając przez te działania na bezpieczeństwo środka spożywczego.

Bardzo podobnie brzmiąca definicja zafałszowania żywności jest podana ustawą z dnia 21 grudnia 2000 r. o jakości handlowej artykułów rolno – spożywczych. Różnica między tymi definicjami jest konsekwencją odmiennych zakresów rzeczowych normowanych przez przywołane akty prawne. Ustawa z 2006 r. odnosi się przede wszystkim do bezpieczeństwa zdrowotnego żywności, dlatego produkt uznany za zafałszowany zgodnie z zapisem tej ustawy zagraża bezpieczeństwu zdrowotnemu. Natomiast ustawa z 2000 r., regulująca kwestie jakości rozpatruje problemy fałszowania żywności z perspektywy jakości oraz bezpieczeństwa ekonomicznego. Obie definicje pokrywają ogół przypadków z tym związanych, gdyż fałszowanie godzi zarówno w bezpieczeństwo zdrowotne, jak i zasoby ekonomiczne konsumentów. Te dwie ustawy łącznie mają na celu ochronę konsumenta przed następstwami ekonomicznymi oraz zdrowotnymi fałszowania żywności.

Ponadto aktami prawnymi dotyczącymi autentyczności żywności są ustawa z dnia 23 sierpnia 2007 r. o przeciwdziałaniu nieuczciwym praktykom oraz ustawa z dnia 16 kwietnia 1993 r. o zwalczaniu nieuczciwej konkurencji, nad których przestrzeganiem czuwa m.in. Urząd Ochrony Konkurencji i Konsumentów. Głównym celem pierwszej z wymienionych ustaw jest zapewnienie konsumentom realnej możliwości dochodzenia ich praw, jak również zwalczanie nieuczciwych praktyk i zapobieganie im. Zgodnie z zapisami ustawy zakazane są wszelkie działania sprzeczne z dobrymi obyczajami, które w istotny sposób zniekształcają lub mogą zniekształcić zachowanie

rynkowe przeciętnego konsumenta przed zawarciem umowy dotyczącej produktu, w trakcie jej zawierania lub też po jej zawarciu. Ustawa z dnia 16 kwietnia 1993 r. o zwalczaniu nieuczciwej konkurencji ma zapewnić działanie przedsiębiorców w obrocie gospodarczym, z poszanowaniem norm prawnych i dobrych obyczajów. Obydwa akty prawne, zarówno o przeciwdziałaniu nieuczciwym praktykom rynkowym jak i zwalczaniu nieuczciwej konkurencji, niejednokrotnie regulują podobne obszary oraz zawierają analogiczny katalog sankcji dotyczących określonych naruszeń. Zasadnicza różnica tkwi w zakresie podmiotów, które objęte są ochroną w obu ustawach. Ustawa o zwalczaniu nieuczciwej konkurencji chroni w szczególności konkurujących na rynku przedsiębiorców, a pośrednio zajmuje się konsumentami.

Niezwykle istotne wydaje się wypracowanie wspólnej dla obszaru Unii Europejskiej definicji zafałszowania oraz oszustw żywnościowych obejmujących wszystkie rodzaje działań, które potencjalnie mogą wpłynąć na obniżenie bezpieczeństwa żywności. Idealna byłaby sytuacja, gdyby w erze globalizacji wymiany handlowej udało się ujednoczyć definicje oszustw żywnościowych, produktu autentycznego oraz zafałszowań żywności na całym świecie. Można przypuszczać, iż w znacznym stopniu poprawiłoby to bezpieczeństwo zdrowotne konsumentów i warunki rzetelnej konkurencji na rynku globalnym.

Nadzór nad produkcją, przetwórstwem i obrotem żywności, w szczególności nad jej jakością zdrowotną, opiera się na działaniu dwu podstawowych systemów kontroli: systemu kontroli wewnętrznej przeprowadzanej w zakładzie oraz systemu kontroli zewnętrznej, niezależnej od producenta, sprawowanej przez wyspecjalizowane służby urzędowej kontroli żywności, dysponujące akredytowanym laboratorium analitycznym i współpracujące z jednostkami naukowo-badawczymi.

W Unii Europejskiej i państwach współpracujących działa System Wczesnego Ostrzegania o Niebezpiecznych Produktach Żywnościowych i Paszach (RASFF). Jego celem jest wymiana informacji pomiędzy organami urzędowej kontroli odnośnie żywności, pasz i materiałów do kontaktu z żywnością, potencjalnie niebezpiecznych dla zdrowia ludzi, zwierząt lub środowiska. System ten działa obecnie na podstawie przepisów Rozporządzenia (WE) nr 178/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 28 stycznia 2002 r., ustanawiającego ogólne zasady i wymagania prawa żywnościowego, powołującego Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności oraz

ustanawiającego procedury w zakresie bezpieczeństwa żywności oraz Rozporządzenia Komisji (UE) 16/2011 z dnia 10 stycznia 2011 r. ustanawiającego środki wykonawcze dla systemu wczesnego ostrzeżenia o niebezpiecznych produktach żywnościowych i środkach żywienia zwierząt.

W odpowiedzi na kryzys związany z zafałszowaniem produktów mięsnych mięsem końskim w 2013 r. została utworzona Europejska sieć ds. nadużyć w zakresie żywności (FFN). Jej celem jest umożliwienie krajom UE pracy zgodnie z zasadami określonymi w art. 36–40 Rozporządzenia w sprawie kontroli urzędowych (Rozporządzenie 882/2004 r.) w sprawach, w których władze krajowe stoją w obliczu potencjalnie umyślnego naruszenia prawa o łańcuchu pokarmowym o zasięgu transgranicznym. Unijna sieć FFN składa się z przedstawicieli Komisji Europejskiej i wszystkich krajów UE oraz Szwajcarii, Norwegii i Islandii. W Polsce punktem kontaktowym jest Główny Inspektorat Jakości Handlowej Artykułów Rolno–Spożywczych. W ramach FFN opracowano specjalne narzędzie informatyczne – System Pomocy i Współpracy Administracyjnej (ang. Administrative Assistance and Cooperation System – AAC) działający od listopada 2015 r.. Głównym celem tego systemu jest dopilnowanie aby naruszenia prawodawstwa UE w zakresie łańcucha rolno–spożywczego mające wymiar transgraniczny były skutecznie wykrywane nie tylko w państwie członkowskim, w którym wykryto niezgodność, ale również w państwie członkowskim, z którego pochodził produkt. Ponadto system ten ma umożliwić szybkie rozwiązywanie problemów transgranicznych, podjęcie skutecznych i odpowiednich działań (np. kara dla wszystkich odpowiedzialnych operatorów, zwiększenie inspekcji w państwie członkowskim wysyłającym zafałszowany towar zamiast zakazu eksportu do kraju docelowego) oraz równe traktowanie wszystkich operatorów niezależnie od ich pochodzenia.

Skuteczny nadzór nad przestrzeganiem prawa żywnościowego szczególnie w zakresie zafałszowań produktów wymaga opracowania metod analitycznych, które mogą być wykorzystane przez organy urzędowej kontroli żywności. Wśród nich można wyróżnić metody chromatograficzne, izotopowe, elektroforetyczne, enzymatyczne, techniki oparte na biologii molekularnej, jak również metody spektroskopowe. Te ostatnie mają liczne zalety: są tanie, szybkie, z reguły nie wymagają skomplikowanych przygotowań próbek, badania nie wymagają użycia dużej ilości odczynników. Jednocześnie ze względu na znaczną liczbę danych uzyskanych przy pomiarach spektroskopowych,

opracowanie wyników i wnioskowanie odnośnie zafałszowań wymaga zastosowania metod chemometrycznych.

Znane są dwa rodzaje podejścia do sprawdzania autentyczności – nakierowane na cel oraz nieukierunkowane na cel:

- analizy nakierowane na cel (ang. targeted) polegają na oznaczaniu znanych cząsteczek związków chemicznych, które są powiązane z fałszowaniem żywności (np. zidentyfikowanie brassikasterolu w maśle kakaowym będzie świadczyło o jego zafałszowaniu);
- analizy nieukierunkowane na cel (ang. non-targeted) polegają na analizie wszystkich związków zawartych w próbce – badaniu tzw. „odcisku palca próbki” (np. stwierdzenie zafałszowania na podstawie dodatkowych pasm, niewystępujących w produkcie niezafałszowanym, w widmie NIR). Te drugie wymagają połączenia metod laboratoryjnych z metodami chemometrycznymi i oprogramowaniem statystycznym. Według Granato i in. (2018). Metody chemometryczne powinny być wykorzystywane przez organy rządowe i gałęzie przemysłu, które muszą monitorować jakość żywności, surowców i procesów, kiedy przedmiotem analizy są dane wielowymiarowe. Metody chemometryczne stosowane w wykrywaniu zafałszowań żywności można z kolei podzielić na te służące rozwiązywaniu problemów ilościowych (jak np. prognozowanie poziomu dodatku fałszującego) jak i jakościowych (np. zaklasyfikowanie próbki produktu spożywczego do grupy produktów zafałszowanych bądź też niezafałszowanych).

W ostatniej dekadzie nastąpił systematyczny wzrost publikacji dotyczących zastosowania różnych metod instrumentalnych w celu wykrywania zafałszowań żywności. Wskazuje to na istotność poruszanej przeze mnie problematyki badawczej. W wielu z tych publikacji znajdują zastosowanie metody chemometryczne, jednak z reguły koncentrują się one na jednej metodzie pomiarowej i jednej metodzie spektroskopowej. W moich pracach badawczych starałam się ująć problem w sposób całościowy, sprawdzając jednocześnie skuteczność metod spektroskopowych, chemometrycznych oraz podejmując próby poprawy skuteczności wykrywalności zafałszowań stosując fuzję danych. Ponadto sprawdziłam przydatność metod chemometrycznych, które do tej pory nie były w ogóle lub też w znikomym zakresie wykorzystane w badaniach nad jakością żywności. Tak szerokie podejście do analizy problemu umożliwiło mi wiarygodne wnioskowanie o przydatności metod w procesie wykrywania zafałszowań żywności.

4.4. Omówienie celu naukowego cyklu publikacji oraz uzyskanych wyników

Cel naukowy i hipotezy badawcze

Celem badań, których wyniki opublikowałam w cyklu publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe była ocena przydatności metod spektroskopowych i chemometrycznych w wykrywaniu zafałszowań żywności.

Sformułowano następujące hipotezy badawcze:

Hipoteza 1: Dobór metod chemometrycznych do analizy danych spektroskopowych wpływa na skuteczność odróżnienia produktów autentycznych od zafałszowanych oraz poziom wykrywalności zafałszowań.

Hipoteza 2: Zastosowanie fuzji danych uzyskanych różnymi metodami spektroskopowymi pozwala na poprawę efektywności wykrywania zafałszowania produktów spożywczych.

W celu weryfikacji przyjętych hipotez badawczych przyjęto następujące cele szczegółowe:

1. Ocena możliwości i skuteczności redukcji wymiarowości danych pomiarowych uzyskanych przy wykorzystaniu metod spektroskopowych w celu przeprowadzenia analizy statystycznej.
2. Porównanie skuteczności wykorzystania różnych metod spektroskopowych, wraz z metodami dyskryminacyjnymi, do klasyfikacji wybranych produktów spożywczych.
3. Porównanie granic wykrywalności zafałszowań oraz błędów prognozowania poziomu zafałszowań wybranych produktów spożywczych przy zastosowaniu metod spektroskopowych oraz analizy chemometrycznej.
4. Ocena skuteczności wykrywania zafałszowań produktów spożywczych na podstawie fuzji danych (ang. data fusion) uzyskanych za pomocą różnych metod spektroskopowych.

Przedmiot badań i stosowane metody

Materiał badawczy stanowiły eksperymentalne próbki masel, serów podpuszczkowych miążg kakaowych, oliw z oliwek, kaw arabika oraz herbat. Eksperymentalne próbki były fałszowane dodatkiem olejów palmowych i kokosowych, analogów serów, ekwiwalentów tłuszczu kakaowego oraz kaw robusta. Mieszanki eksperymentalne produktów niezafałszowanych zawierały od 10 do 90% produktów fałszujących.

W przeprowadzonych badaniach empirycznych zastosowano pomiar widm fluorescencji, widm UV-Vis oraz w bliskiej podczerwieni (NIR). Pomiaru widm synchronicznych na spektrofluorymetrze Fluorolog 3-11 dokonano w geometrii kąta prostego 1% roztworów wodnych (Zał. 4, pkt. I.B.1, I.B.2, I.B.4, I.B.6) lub w n-heksanie (Zał. 4, pkt. I.B.5, I.B.7) w zakresie od 240 do 700 nm, ze stałą różnicą między długością fali emisji i wzbudzenia $\Delta\lambda=10, 30, 60$ and 80 nm (Zał. 4, pkt. I.B.1, I.B.2, I.B.3, I.B.6), przy dwóch parametrach $\Delta\lambda=60$ i 80 (Zał. 4, pkt. I.B.5) lub tylko przy $\Delta\lambda=60$ nm (Zał. 4, pkt. I.B.7). Pomiaru widm UV w zakresie 190-320 nm (Zał. 4, pkt. I.B.4, I.B.7) oraz Vis w zakresie 190-800 nm roztworów wodnych lub w n-heksanie próbek oraz mieszanek dokonano na spektrofotometrze typu Genesis 6 (Zał. 4, pkt. I.B.7). Pomiar widm w bliskiej podczerwieni w zakresie liczb falowych $12,500-4000\text{ cm}^{-1}$ naparów wodnych próbek herbat przeprowadzono z wykorzystaniem spektrofotometru Bruker (Zał. 4, pkt. I.B.7). Widma synchroniczne fluorescencji oraz widma UV i Vis zostały wykonane w co najmniej dwukrotnym powtórzeniu, natomiast pomiaru widm NIR dokonano w co najmniej czterokrotnym powtórzeniu.

W celu wnioskowania na temat autentyczności danego produktu lub określenia poziomu dodatku fałszującego na podstawie danych spektroskopowych konieczne było zastosowanie metod chemometrycznych. Pierwszy etap analizy chemometrycznej polegał na redukcji wielkowymiarowości danych spektroskopowych. Etap ten przeprowadzono przy wykorzystaniu algorytmu SPA zaimplementowanego w programie C++ (Zał. 4, pkt. I.B.1, I.B.2) lub analizy składowych głównych (PCA) (Zał. 4, pkt. I.B.1, I.B.2, I.B.3, I.B.5, I.B.6, I.B.7). Następnie prowadzono kolejny etap analizy chemometrycznej w podejściu ilościowym lub jakościowym. Podejście ilościowe do wykrywania zafałszowań żywności polegało na obliczaniu limitów detekcji LOD (Zał. 4, pkt. I.B.1, I.B.2) oraz prognozowaniu poziomu dodatku fałszującego w modelowych seriach próbek zafałszowanych przy zastosowaniu wielokrotnej regresji liniowej (MLR ang.

Mutliple Linear Regresssion) (Zał. 4, pkt. I.B.1, I.B.2, I.B.3, I.B.5). Aby ocenić skuteczność przeprowadzonej metody wyznaczano błędy kalibracyjne predykcji oraz błędy walidacyjne predykcji. Zastosowano metody n-krotnej walidacji krzyżowej (ang. leave-one-out) (Zał. 4, pkt. I.B.1, I.B.2, I.B.3, I.B.5) oraz k-krotnej walidacji, w której 80% próbek należało do grupy uczącej, a 20% do grupy testującej (Zał. 4, pkt. I.B.5, I.B.6, I.B.7). Do wykonania obliczeń zastosowano pakiety STATISTICA 8.0–12.5, program R3.4.1 a także algorytm SPA zaimplementowany w programie C++. W podejściu jakościowym zastosowano różne metody klasyfikacji: **liniową analizę dyskryminacyjną** – LDA (Zał. 4, pkt. I.B.1, I.B.2, I.B.3, I.B.5, I.B.6, I.B.7), **kwadratową analizę dyskryminacyjną** – QDA (Zał. 4, pkt. I.B.6, I.B.7), **regularyzowaną analizę dyskryminacyjną** – RDA (Zał. 4, pkt. I.B.6, I.B.7), **metodę k – najbliższych sąsiadów** KNN (Zał. 4, pkt. I.B.6), **metodę wektorów nośnych** – SVM (Zał. 4, pkt. I.B.6, I.B.7) oraz **las losowy** – RF (Zał. 4, pkt. I.B.6). W wyniku stosowania tych metod próbki były klasyfikowane do grup próbek niezafałszowanych, produktów użytych do fałszowania lub ich mieszanek. O skuteczności stosowanych metod klasyfikacji wnioskowano na podstawie uzyskanych błędów klasyfikacji kalibracyjnych oraz walidacyjnych ustalanych przy zastosowaniu metody n-krotnej walidacji krzyżowej (Zał. 4, pkt. I.B.1, I.B.2, I.B.3) oraz k-krotnej walidacji, w której 80% próbek należało do grupy uczącej, a 20% do grupy testującej. Obliczanie błędu powtórzono 100 lub 1000-krotnie (Zał. 4, pkt. I.B.5, I.B.6, I.B.7).

W przedstawionych publikacjach zastosowano ponadto fuzję danych pochodzących z pomiarów spektroskopowych przeprowadzonych różnymi metodami. Użyto fuzji danych niskiego poziomu (zblokowanie danych pochodzących z różnych metod pomiarowych w niezmienionej formie w nową macierz) a także fuzję danych średniego poziomu (analizowanie łącznie danych wstępnie już przetworzonych, w tym przypadku przy wykorzystaniu metody PCA). Liczbę składowych głównych uwzględnianą w dalszej analizie ustalono na podstawie kryterium Kaisera (1960) (Zał. 4, pkt. I.B.5, I.B.6, I.B.7). Zastosowano fuzję danych pochodzących z pomiarów fluorymetrycznych (SF) i w ultrafiolecie (UV) (Zał. 4, pkt. I.B.4), pomiarów fluorymetrycznych (SF), w świetle widzialnym i ultrafioletowym (UV-Vis) (Zał. 4, pkt. I.B.5, I.B.7) oraz pomiarów fluorymetrycznych (SF), w świetle widzialnym i ultrafioletowym (UV-Vis) oraz bliskiej podczerwieni (NIR) (Zał. 4, pkt. I.B.7).

W przedstawionych publikacjach zastosowano ponadto fuzję danych pochodzących z pomiarów

spektroskopowych przeprowadzonych różnymi metodami. Użyto fuzji danych niskiego poziomu (zblokowanie danych pochodzących z różnych metod pomiarowych w niezmienionej formie w nową macierz) a także fuzję danych średniego poziomu (analizowanie łącznie danych wstępnie już przeanalizowanych, w tym przypadku metodą PCA). Liczbę składowych głównych uwzględnianą w dalszej analizie ustalono na podstawie kryterium Kaisera (1960) (Zał. 4, pkt. I.B.5, I.B.6, I.B.7). Zastosowano fuzję danych pochodzących z pomiarów fluorymetrycznych (SF) i w ultrafiolecie (UV) (Zał. 4, pkt. I.B.4), pomiarów fluorymetrycznych (SF), w świetle widzialnym i ultrafioletowym (UV–Vis) (Zał. 4, pkt. I.B.5, I.B.7) oraz pomiarów fluorymetrycznych (SF), w świetle widzialnym i ultrafioletowym (UV–Vis) oraz bliskiej podczerwieni (NIR) (Zał. 4, pkt. I.B.7).

Podstawy wykorzystania metod spektroskopowych w wykrywaniu zafałszowań żywności

Różnicowanie produktów spożywczych i wykrywanie zafałszowań przy wykorzystaniu pomiarów fluorymetrycznych, widm w zakresie światła nadfioletowego i widzialnego oraz bliskiej podczerwieni, umożliwia **różny profil chromoforów i fluoroforów**, które to w badanych produktach spożywczych pochłaniały lub też emitowały promieniowanie.

Żywność zawiera wiele naturalnie występujących związków fluorescencyjnych takich jak alkaloidy, aromatyczne aminokwasy, kumaryny, flawonoidy, kwasy nukleinowe, porfiryny, witaminy i kofaktory, aromatyczne aminy (tryptofan, tyrozyna i fenyloalanina w białkach), witamina A i B₂, zredukowany dinukleotyd nikotynamidoadeninowy (NADH), pochodne pirydoksalu i chlorofilu, niektóre nukleotydy (Christensen i in., 2006, Karoui i Blecker, 2011, Karoui i in., 2003). Stężenie tychże fluoroforów w produktach spożywczych zależy od takich czynników jak: pochodzenie botaniczne i geograficzne, procesu produkcji, warunki przechowywania i świeżość produktu. Z tego właśnie powodu fluorymetria może być szeroko stosowana przy wykrywaniu zafałszowań żywności, w szczególności w kwestiach:

- a) klasyfikacji produktów wytworzonych z różnych gatunków/odmian roślin,
- b) klaryfikacji produktów wytworzonych w różnych procesach produkcyjnych z surowca tego samego gatunku,
- c) oceny świeżość produktów spożywczych,
- d) określenia poziomu zafałszowania produktem innego gatunku/odmiany (Zał. 4, pkt. I.B.3).

W procesie różnicowania próbek masel i serów podpuszczkowych od próbek tychże produktów zafałszowanych olejami roślinnymi, wykorzystano różnice w widmach fluorescencji wynikające z odmiennej zawartości tokoferoli, tokotrienoli i chlorofili w badanych próbkach produktów spożywczych (Schwartz i in., 2008; Ntakatsane i in., 2013) (Zał. 4, pkt. I.B.1, I.B.2). Masło kakaowe oraz ekwiwalenty tłuszczu kakaowego (CBE) z kolei wykazują różnice w widmach fluorescencji spowodowane różną zawartością tokoferoli, tokotrienoli, chlorofili i polifenoli (Belscak i in., 2009; Kamm i in., 2001) (Zał. 4, pkt. I.B.4). Odmierna zawartość tokochromanoli, polifenoli, kwasów tłuszczowych i chlorofili została z kolei wykorzystana do badania autentyczności i potwierdzania braku zafałszowań kaw arabika kawą robusta (Martini in., 2001; Alvesa i in., 2009) (Zał. 4, pkt. I.B.5). Różnice w intensywności fluorescencji olejów jadalnych stanowiły podstawę do klasyfikacji oliw z oliwek pochodzących z odmiennych procesów produkcyjnych i charakteryzujących się różną świeżością. Intensywność fluorescencji tych produktów uzależniona jest od zawartości tokoferoli, tokotrienoli, związków chlorofilowych, feofityny, a także związków fenolowych (Sayago, Morales, Aparicio, 2004). Świeżą oliwę z oliwek ekstra virgin, świeżą oliwą rafinowaną oraz oliwy przeterminowane cechowały różnice w widmach fluorescencji. Spowodowane były one różną zawartością tokochromanoli, polifenoli, kwasów tłuszczowych i związków chlorofilowych (Christensen i in., 2004). Pasma obserwowane w zakresie 270–300 nm ma związek z emisją tokoferoli i tokotrienoli, podczas gdy pasmo w zakresie 660–700 jest charakterystyczne dla związków chlorofilowych oraz feofityn a i b (Sikorska i in., 2004). Proces rafinacji oraz inne podobne procesy odpowiedzialne są za zmiany w zawartości i strukturze wspomnianych związków, jak również powstania skoniugowanych dienów i trienów, które umożliwiają odróżnienie oliwy z oliwek ekstra virgin od innych kategorii oliwy (Zał. 4, pkt. I.B.6).

W procesie różnicowania masel kakaowych i zamienników tłuszczu kakaowego wykorzystuje się różnice w intensywności widm UV, zdeterminowane między innymi zawartością sprzężonych dienów oraz trienów (Grigoriadou i Tsimidou, 2006) (Zał. 4, pkt. I.B.4). Kształt widma UV dla różnych gatunków kaw zależy od zawartości w nich kofeiny, kwasów chlorogenowych i cząsteczki trigonelliny. Obecność pasm około 290 i 320 nm, świadczy o niepełnym rozłożeniu kwasów chlorogenowych i trigonelliny podczas procesu prażenia (Illy and Vian, 1995, Soutoi in., 2010) (Zał. 4, pkt. I.B.5). Kształt widm UV–Vis herbat uzależniony był między innymi od zawartości kofeiny, kwasów chlorogenowych i trigonelliny. Związki te wykazują pasma absorpcji w zakresie

od 190 do 250 nm i od 250 do 300 nm. Trzecie szerokie pasmo absorpcji znajduje się między 300 a 400 nm. Różnicowanie herbat na podstawie widm fluorescencji było możliwe dzięki różnicom w zawartościach aminokwasów, polifenoli i związków chlorofilowych w herbatach różnych typów (Hu i Yin, 2017). Widma NIR herbat wykazują wiele pasm w regionie $4500\text{--}6000\text{ cm}^{-1}$ w wyniku wibracji grupy karbonylowej. Jest ona obecna w takich związkach jak polifenole, alkaloidy, białka, lotne i nielotne kwasy oraz niektóre związki aromatyczne (Chen, Zhao i Fang, 2007) (Zał. 4, pkt. I.B.7).

Omówienie wyników badań

a) Wpływ metody metod redukcji wielkowymiarowości danych na uzyskane wyniki

Dzięki zastosowaniu metod spektroskopowych możliwe jest uzyskanie dużej ilości informacji w postaci widm pomiarowych. Aby móc skutecznie wnioskować o aspektach autentyczności produktów spożywczych konieczne jest zastosowanie analizy chemometrycznej. Niejednokrotnie analiza chemometryczna musi być poprzedzona redukcją wielkowymiarowości zmiennych. W publikacjach mojego autorstwa zastosowałam dwie metody redukcji wymiarowości danych: metodę składowych głównych oraz algorytm SPA (ang. Successive Projections Algorithm). W komercyjnych programach statystycznych algorytm PCA dostępny jest powszechnie. Zastosowanie algorytmu SPA wymagało zaimplementowania w języku programowania. W tym celu podjęłam współpracę z dr. Wojciechem Kowalewskim z Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, który zaimplementował wspomniany algorytm SPA w języku C++. Dzięki zastosowaniu algorytmu SPA możliwy był wybór oryginalnych, nieprzetworzonych zmiennych i w efekcie redukcji wymiarowości danych i liczby zmiennych. W przypadku zastosowania analizy składowych głównych nowe zmienne są kombinacją liniową wszystkich wcześniejszych zmiennych, tak więc jest to w rzeczywistości do czynienia redukcja wymiarowości danych a nie z redukcja liczby zmiennych.

Zastosowanie wybranego przeze mnie algorytmu SPA pozwoliło na wybór zmiennych spośród całych widm synchronicznych fluorescencji, co z kolei wpłynęło na uzyskanie niskich limitów detekcji ($\text{LOD}=5,5\%$ przy długości fali 313 nm ($\Delta\lambda=60\text{ nm}$) (Zał. 4, pkt. I.B.1). Intensywności fluorescencji uzyskane dla 5 długości fal (przy zastosowaniu $\Delta\lambda=60\text{ nm}$) pozwoliły na poprawną

klasyfikację przy zastosowaniu metody liniowej analizy dyskryminacyjnej (LDA) próbek serów, wyrobów samopodobnych i mieszanek, z bardzo niskimi błędami na poziomie 1,0% (RMSEC) i 1,1% (RMSEV) (Zał. 4, pkt. I.B.1). Najlepszą zdolność przewidywania poziomu zafałszowania tłuszczu mlecznego olejami roślinnymi, przy zastosowaniu metody wielokrotnej regresji liniowej uzyskano dla intensywności fluorescencji zmierzonych przy parametrze $\Delta\lambda=60$ nm. Błędy predykcyjne poziomu zafałszowania (RMSEC i RMSEV) wynosiły odpowiednio 3,8 i 3,9% (Zał. 4, pkt. I.B.1). Najniższe błędy predykcyjne kalibracyjne i walidacyjne poziomu zafałszowania masła kakaowego substytutem tłuszczu kakaowego (CBE) uzyskane przy wykorzystaniu pomiarów fluorymetrycznych oraz UV były na poziomie 4,8 i 5,9% ($\Delta\lambda=10$ nm) oraz 5.5 i 6.0% (Zał. 4, pkt. I.B.4). Zastosowanie wielokrotnej regresji liniowej do analizy danych fluorescencyjnych wstępnie zredukowanych, przy wykorzystaniu analizy składowych głównych próbek kaw arabika i robusta oraz ich mieszanek umożliwiło prognozowanie poziomu zafałszowania z błędami predykcyjnymi kalibracji i walidacji równymi 5,3 oraz 21,9%. Analiza chemometryczna danych uzyskanych z pomiarów UV pozwoliła na uzyskanie błędów na poziomie 8,2 i 8,9%. Prawdopodobnie zastosowanie algorytmu SPA pozwoliłoby na dalsze obniżenie błędów predykcyjnych poziomu zafałszowania masła kakaowego jego substytutem oraz kawy arabika kawą robustą (Zał. 4, pkt. I.B.5). Niższe błędy klasyfikacji próbek serów, wyrobów seropodobnych oraz ich mieszanek otrzymano dla analizy SPA–LDA (0,0%) w porównaniu z metodą PCA–LDA (3,8%) (Zał. 4, pkt. I.B.2).

b) Wykrywanie zafałszowań wybranych produktów spożywczych i surowców żywnościowych z wykorzystaniem metod klasyfikacji

W ocenie autentyczności badanych produktów spożywczych, miarą skuteczności zastosowanych metod spektroskopowych oraz metod klasyfikacyjnych, były błędy kalibracyjne i walidacyjne klasyfikacji. Błędy kalibracyjne i walidacyjne modeli klasyfikacyjnych uzyskanych przy zastosowaniu liniowej analizy dyskryminacyjnej (LDA) wahały się odpowiednio od 0,0% (Zał. 4, pkt. I.B.1) do 12,2% (Zał. 4, pkt. I.B.7) oraz od 1,1% (Zał. 4, pkt. I.B.1) do 22,4% (Zał. 4, pkt. I.B.5). Przy zastosowaniu metody klasyfikacyjnej LDA dla serów i masel zafałszowanych oraz niezafałszowanych niskie błędy walidacji i kalibracji uzyskano przy wykorzystaniu modeli, w których wcześniejszą redukcję danych przeprowadzono stosując algorytm SPA (Zał. 4, pkt. I.B.1, I.B.2). Niskie błędy uzyskano również w przypadku wykrywania zafałszowania masła kakaowego

jego zamiennikiem (Zał. 4, pkt. I.B.4) pomimo tego, że wcześniejsza redukcja liczby zmiennych była przeprowadzona z wykorzystaniem analizy składowych głównych.

W badaniach przedstawionych w cyklu publikacji podjęłam próbę zastosowania i porównania różnych metod klasyfikacji produktów spożywczych. W publikacji dotyczącej klasyfikacji oliwy z oliwek z uwzględnieniem zastosowanego procesu produkcji (oliwy extra virgin/oliwy rafinowane) oraz świeżości tego produktu (produkt świeży/produkt przeterminowany) do klasyfikacji oprócz szeroko stosowanej metody LDA, zastosowano również takie metody klasyfikacyjne takie jak QDA, RDA, KNN, RF oraz SVM. W tym przypadku najskuteczniejsza okazała się metoda SVM. Uzyskano w niej niższe błędy klasyfikacyjne niż przy wykorzystaniu metod LDA, QDA, RDA, KNN i RF (Zał. 4, pkt. I.B.6). SVM jest jedną z metod sztucznej inteligencji, która znalazła zastosowanie w takich dziedzinach jak: finanse, medycyna, inżynieria, geologia czy fizyka oraz wszędzie tam, gdzie ważne jest przetwarzanie, analiza danych, predykcja, klasyfikacja czy sterowanie. Metody sztucznej inteligencji automatycznie uczą się na podanych przykładach a następnie konstruują potrzebne użytkownikowi modele, odzwierciedlając działanie ludzkiego umysłu (Nałęcz, 2000). Jedną z najczęściej stosowanych metod klasyfikacji produktów spożywczych, czyli LDA, okazała się mieć w większości analizowanych przypadków najwyższe błędy klasyfikacyjne (Zał. 4, pkt. I.B.6, I.B.7). Metoda ta jest powszechnie dostępna w wielu pakietach statystycznych, jednocześnie więc jest jedną z najczęściej stosowanych metod w klasyfikacji produktów spożywczych. Konieczność znajomości podstaw programowania powoduje, że wiele metod klasyfikacyjnych nie jest tak powszechnie stosowana.

c) Prognozowanie poziomu zafałszowań w wykorzystaniem modelowych serii próbek

Dla serii eksperymentalnych mieszanek masel z olejami palmowym i kokosowym oraz tłuszczu pochodzącego z serów, zafałszowanego tłuszczem wyekstrahowanym z analogów serów obliczono granice wykrywalności dodatku fałszującego. Wykorzystano do tego celu zmierzone wcześniej wartości intensywności fluorescencji produktów. Najniższe granice wykrywalności zafałszowań (LOD), uzyskano mierząc widma synchroniczne fluorescencji przy parametrze $\Delta\lambda=80$ nm. Najniższe limity detekcji zafałszowania w próbkach masel nie przekraczały 5% (Zał. 4, pkt. I.B.1). Najniższe limity detekcji zafałszowania sera analogami serów nie przekroczyły 3% (Zał. 4, pkt. I.B.2). Powyższe limity detekcji wyznaczone zostały dla wyodrębnionych wcześniej pojedynczych

długości fal za pomocą algorytmu SPA. W publikacji I.B.2 wyznaczone zostały również tzw. wielokrotne limity detekcji. Obliczono je dla wcześniej ustalonej składowej głównej uzyskanej za pomocą analizy PCA. Najniższa ustalona w ten sposób granica wykrywalności była równa 3,1%, czyli nieznacznie przekraczała granicę wykrywalności otrzymaną dla wybranych przy pomocy algorytmu SPA pojedynczych długości fal (Zał. 4, pkt. I.B.2).

Średnie najniższe błędy kalibracyjne i walidacyjne predykcji poziomu zafałszowania modeli wielokrotnej regresji liniowej poprzedzonej wyborem długości fal przy pomocy algorytmu SPA nie przekroczyły 1,5 i 1,8% dla modeli indywidualnych, uwzględniających jedną serię mieszanek, dotyczących jednego produktu (Zał. 4, pkt. I.B.1, I.B.2) – 3,8 i 3,9% dla modeli globalnych uwzględniających wszystkie serie mieszanek (Zał. 4, pkt. I.B.1 i I.B.2). Dla modeli wielokrotnej regresji liniowej, poprzedzonej analizą składowych głównych, średnie błędy kalibracyjne i walidacyjne predykcji poziomu zafałszowania były zróżnicowane. W przypadku modelu mającego służyć wykrywaniu zafałszowań masła kakaowego błędy te kształtowały się na poziomie od 4,8 do 5,6% oraz od 5,9 do 8,4%. Przy wykrywaniu zafałszowań różnych produktów spożywczych uzyskano najniższe błędy predykcji poziomu zafałszowania przy odmiennych parametrach $\Delta\lambda$ (masło: $\Delta\lambda=80$ nm, ser: $\Delta\lambda=60$ nm, czekolada: $\Delta\lambda=10$ nm). Wykorzystując model PDA–MLR w celu wykrywania zafałszowań kawy arabiki kawą robustą błędy kalibracji i walidacji poziomu, predykcji zafałszowania kształtowały się na poziomie 5,3 oraz 22,0%. Błędy walidacji dla tych produktów były obliczane na podstawie k–krotnej walidacji krzyżowej (na podstawie 1000–krotnego losowania grup uczących i testujących w relacji 80:20%). Błędy walidacji w artykułach dotyczących wykrywania zafałszowań masła i serów obliczane były z kolei metodą n–krotnej walidacji krzyżowej (n–elementowa próba dzielona była na n podzbiorów, zawierających po jednym elemencie). W przypadku zastosowania spektroskopii UV do wykrywania zafałszowań kawy, błędy predykcyjne były niższe od tych uzyskanych na podstawie zmierzonych intensywności fluorescencji i wynosiły odpowiednio: 8,2 i 8,9%. Wyniki potwierdzają, że dla tego właśnie produktu zastosowana metoda jest bardziej efektywna.

d) Fuzja danych uzyskanych za pomocą różnych metod spektroskopowych

W publikacjach stanowiących załączniki I.B.4, I.B.5, oraz I.B.7 dokonano sprawdzenia skuteczności fuzji danych pochodzących z pomiarów spektroskopowych uzyskanych różnymi

metodami. Idea polega na połączeniu zalet różnych metod pomiarowych i wykorzystaniu w tym przypadku modelu, w tym modelu predykcji poziomu zafałszowania (Zał. 4, pkt. I.B.4, I.B.5) oraz modelach klasyfikacyjnych służących rozróżnianiu produktów zafałszowanych od niezafałszowanych (Zał. 4, pkt. I.B.4, I.B.5, I.B.7). Niestety nie ma uniwersalnej metody pomiarowej. Każda z nich posiada swoje wady i zalety i dostarcza różnych informacji o badanym produkcie. Fluorescencja i spektroskopia UV–Vis dostarczają komplementarnych informacji. Fluorescencja jest metodą bardzo czułą lecz tylko nieliczne związki są fluofoarami. Ograniczeniem metody UV–Vis jest z kolei stosunkowo niska czułość, jednak wiele związków organicznych absorbuje promieniowanie z zakresów nadfioletu i widzialnego. Spektroskopia NIR ma wiele zalet, takich jak niski koszt, szybka analiza danych, dobra powtarzalność i prosty pomiar, jednak jest metodą mniej czułą niż np. fluorescencja (Williams i Norris, 2001).

W publikacjach I.B.4 i I.B.5 zastosowano dwa rodzaje fuzji danych – niskiego i średniego poziomu. Pierwsza z nich polega na fuzji danych oryginalnych nieprzetworzonych, druga natomiast na fuzji wartości wstępnie przetworzonych – w tym przypadku składowych głównych uzyskanych z analizy PCA. Fuzja danych uzyskanych przy zastosowaniu metod fluorymetrii synchronicznej oraz spektroskopii UV–Vis pozwoliła na obniżenie błędów predykcji poziomu zafałszowania kawy arabika kawą robusta (model wielokrotnej regresji liniowej). Najniższe błędy predykcyjne kalibracji i walidacji uzyskane metodą fluorymetrii synchronicznej kształtowały się na poziomie 5,3 i 21,9%, z kolei błędy predykcji poziomu zafałszowania uzyskane metodą spektroskopii UV–Vis wyniosły odpowiednio 8,2 i 8,9%. Połączenie danych pochodzących z tych dwóch metod spektroskopowych przy zastosowaniu fuzji danych średniego poziomu pozwoliły na uzyskanie błędów predykcji poziomu zafałszowania na poziomie 3,6 i 7,9%.

Przy klasyfikacji metodą LDA próbek masel kakaowych, zamienników masel kakaowych oraz ich mieszanek zastosowanie fuzji danych niskiego poziomu pomiarów fluorymetrycznych oraz uzyskanych przy pomocy spektroskopii UV przy wykorzystaniu metody LDA pozwoliło na obniżenie błędu walidacji odpowiednio z 9,5% (SF) oraz 35% (UV) do poziomu 4,8% (SF+UV) (Zał. 4, pkt. I.B.4) Również w przypadku klasyfikacji kaw arabika, robusta oraz ich mieszanek, zastosowanie fuzji danych pochodzących z metody fluorymetrycznej oraz spektroskopii UV–Vis umożliwiło obniżenie błędu klasyfikacyjnego walidacji odpowiednio z 22,37% (SF) i 9,13% (UV–Vis) do 3,21% (SF+ UV–Vis). Przy zastosowaniu fuzji danych niskiego poziomu uzyskano

niższe błędy klasyfikacyjne niż stosując fuzję danych średniego poziomu (Zał. 4, pkt. I.B.5). W przypadku metod spektroskopowych: fluorymetrii, spektroskopii UV–Vis oraz NIR fuzja danych pozwoliła na obniżenie błędów klasyfikacyjnych kalibracji i walidacji niezależnie od zastosowanej metody klasyfikacyjnej (LDA, QDA, RDA, SVM). Przy zastosowaniu pierwszej ze wspomnianych metod klasyfikacji (LDA), najczęściej stosowanej w artykułach dotyczących wykrywania zafałszowań żywności (Zał. 4, pkt. I.B.7), uzyskano wyższe błędy klasyfikacji w porównaniu z pozostałymi metodami (QDA, RDA, SWM).

4.5. Podsumowanie cyklu publikacji oraz omówienie ewentualnego wykorzystania wyników badań

W przedstawionym cyklu publikacji składających się na osiągnięcie naukowe zaprezentowano zoptymalizowane parametry pomiarowe służące wykrywaniu zafałszowań takich produktów jak sery podpuszczkowe, masło, kawa, tłuszcz kakaowy czy klasyfikacji tychże produktów oraz oliw z oliwek i herbat. Parametry te mogą stanowić podstawę przy opracowywaniu modeli służących wykrywaniu zafałszowań produktów żywnościowych, co może być wykorzystane w różnych gałęziach przemysłu spożywczego np. przy ocenie jakości surowców.

Przedstawiono zalety i wady wynikające z dwóch sposobów doboru redukcji liczby zmiennych – metody analizy składowych głównych oraz algorytmu SPA. Zastosowanie algorytmu SPA pozwalało na uzyskanie niższych błędów klasyfikacyjnych oraz predykcyjnych w porównaniu do tych uzyskanych na podstawie danych zredukowanych metodą PCA. Wiązało się to jednocześnie z koniecznością poniesienia nakładu czasu potrzebnego do przygotowania danych, na podstawie których stworzono model predykcyjny poziomu zafałszowania bądź modele klasyfikacyjne.

Przeprowadzone w pracach analizy chemometryczne pomiarów spektroskopowych wykazały wyższą skuteczność metod klasyfikacyjnych, niewykorzystywanych (według wiedzy autorki publikacji) w analizie danych produktów spożywczych w porównaniu z często stosowaną metodą LDA. Wykazano wysoką skuteczność takich metod klasyfikacyjnych jak SVM czy RDA. Można ponadto stwierdzić, że każda z pozostałych zastosowanych metod (QDA, RF, KNN) była w analizowanych przypadkach metodą obciążoną niższymi błędami kalibracyjnymi i walidacyjnymi klasyfikacji, niż metoda LDA, powszechnie dostępna w pakietach statystycznych.

Na podstawie zaprezentowanych w pracach wyników badań można wnioskować o przydatności różnych metod spektroskopowych oraz skuteczności fuzji danych, niskiego czy średniego poziomu. Niezależnie od metod spektroskopowych, którymi uzyskuje się wyniki poddawane następnie fuzji, jej zastosowanie pozwala na otrzymanie niższych błędów predykcyjnych poziomu zafałszowania w przypadku analiz ilościowych jak również błędów klasyfikacyjnych w przypadku problemów jakościowych dotyczących klasyfikacji produktów. Analizując uzyskane wyniki można stwierdzić, iż w problemach ilościowych dotyczących szacowania poziomu zafałszowania, większą korzyść można uzyskać stosując fuzję danych średniego poziomu. W problemach jakościowych dotyczących klasyfikacji próbek skuteczniejsza okazuje się fuzja danych niskiego poziomu.

Aspekt nowości prowadzonych przeze mnie badań polegał na uwzględnianiu w moich pracach wielu czynników, których właściwa optymalizacja przyczynia się do poprawy skuteczności wykrywania zafałszowań żywności metodami spektroskopowymi. W badaniach posłużyłam się wieloma metodami chemometrycznymi, które do tej pory nie były w ogóle, lub tylko w nieznacznym stopniu, wykorzystywane w badaniach nad jakością żywności. Uzyskane przeze mnie wyniki badań pokazały wyraźnie, że warto podejmować próby wykorzystania nowych metod chemometrycznych. Równie przydatne okazało się zapożyczanie metod z innych gałęzi przemysłu i próby prześnienienia ich na grunt badań nad jakością żywności. Wartość moich prac polegała na wypełnieniu pewnej luki badawczej. Bardzo mało jest bowiem prac, w których sprawdzano jednocześnie tak wiele czynników doboru właściwej metody spektroskopowej, z właściwymi jej parametrami pomiarowymi, poprzez dobór odpowiednich metod chemometrycznych celem optymalizacji rodzaju zastosowanej fuzji danych. Takie właśnie podejście pozwala na uzyskanie całościowego poglądu na przydatność danej metody chemometrycznej bądź spektroskopowej w wykrywaniu zafałszowań żywności.

Rezultaty moich badań mają szansę być szeroko wykorzystane przez instytucje nadzoru, dla których mogą one stanowić wskazówki do poprawy skuteczności obecnie stosowanych przez nie metod wykrywania zafałszowań żywności lub opracowania nowych lepszych metod. Opracowanie bardziej skutecznych metod wykrywania zafałszowań z kolei, oznaczałoby także istotne korzyści dla społeczeństwa. Pozwoliłoby bowiem na wzrost zadowolenia wśród konsumentów, którzy otrzymywaliby żywność należytej jakości. Również wśród uczciwych producentów nastąpiłby

wzrost zadowolenia, wynikający z faktu możliwości działania w warunkach uczciwej konkurencji spowodowany minimalizacją nieuczciwych praktyk.

4.6. Wnioski

Na podstawie badań opisanych w cyklu publikacji wskazanych jako osiągnięcie naukowe można sformułować następujące wnioski.

1. Ze względu na różnice w składzie związków absorbujących i emitujących promieniowanie, metody fluorescencji, UV-Vis oraz NIR mogą być stosowane do wykrywania zafałszowań produktów spożywczych. Wyższą skutecznością w tym zakresie charakteryzował się pomiar widm synchronicznych fluorescencji oraz NIR w porównaniu z promieniowaniem UV-Vis.
2. Zastosowanie metod chemometrycznych wymaga wcześniejszej redukcji wymiarowości danych spektroskopowych. Można ten cel skutecznie osiągnąć poprzez zastosowanie metod takich, jak analiza składowych głównych oraz algorytmu SPA (ang. Successive Projections Algorithm). Zastosowanie metody SPA pozwoliło na uzyskanie, niższych błędów klasyfikacyjnych produktów oraz predykcji dodatków fałszujących niż metoda PCA.
3. Spośród zastosowanych metod klasyfikacyjnych, niższe błędy klasyfikacyjne uzyskano wykorzystując SVM oraz RDA niż przy użyciu powszechnie stosowanej metody LDA, niezależnie od zastosowanej metody spektroskopowej oraz badanego produktu.
4. Najniższe granice wykrywalności zafałszowań (LOD) przy wykorzystaniu pomiarów synchronicznych fluorescencji dla badanych produktów nie przekroczyły 5%. Najniższe błędy kalibracji i walidacji prognozowania poziomu zafałszowania większości badanych produktów spożywczych (z wyjątkiem kawy) nie przekroczyły odpowiednio 5 i 8%, niezależnie od zastosowanej metody spektroskopowej i badanego produktu spożywczego, a dla większości produktów były zdecydowanie niższe.

5. Fuzja danych (ang. data fusion) z różnych pomiarów spektroskopowych poddanych analizie chemometrycznej istotnie obniża błędy klasyfikacji produktów spożywczych oraz błędy prognozowania poziomu zafałszowania. Stwierdzono, iż w przypadku stosowania pomiarów w celach klasyfikacyjnych korzystniejsze jest zastosowanie fuzji danych niskiego poziomu, natomiast w przypadku stosowania pomiarów do prognozowania poziomu zafałszowania korzystniejszą jest zastosować fuzję danych średniego poziomu.

Badania eksperymentalne z wykorzystaniem metod spektroskopowych w połączeniu z metodami chemometrycznymi, które zostały przedstawione w publikacjach składających się na osiągnięcie naukowe, umożliwiły dokładną analizę wpływu poszczególnych czynników zmienności na skuteczność wykrywania zafałszowań żywności tymi metodami zarówno w ujęciu ilościowym jak i jakościowym. Podsumowując wyniki badań można stwierdzić, iż czynnikami zmienności i jednocześnie parametrami służącymi do optymalizacji skuteczności wykrywania zafałszowań w prowadzonych badaniach były:

- rodzaj zastosowanej metody spektroskopowej oraz dobór parametrów pomiarowych;
- sposób redukcji wielkowymiarowości, rodzaj zastosowanej metody bądź też metod chemometrycznych służących predykcji poziomu zafałszowania bądź klasyfikacji;
- w przypadku zastosowania fuzji danych rodzaj metod spektroskopowych poddanych fuzji oraz sposób fuzji danych.

Z każdym kolejnym poziomem optymalizacji można było oczekiwać, iż uzyskiwane błędy predykcji poziomu zafałszowania, bądź klasyfikacji, będą się obniżały. W przypadku niektórych produktów i sposobów zafałszowań uzyskanie błędów na satysfakcjonująco niskim poziomie wymagało optymalizacji tylko wybranych parametrów. W innych przypadkach z kolei uzyskanie niskich wartości błędów wymagało przeprowadzania wszystkich przedstawionych aspektów optymalizacji (włączając dobór najbardziej odpowiednich parametrów pomiarowych, redukcji danych, metody chemometrycznej oraz fuzji danych).

Dobór odpowiedniego sposobu redukcji danych, odpowiednich parametrów pomiaru oraz właściwej metody klasyfikacji pozwoliły na obniżenie granic wykrywalności zafałszowań, błędów predykcji poziomu zafałszowania oraz błędów klasyfikacji próbek zafałszowanych i autentycznych (**weryfikacja hipotezy 1**).

Fuzja danych pochodzących z pomiarów uzyskanych różnymi metodami spektroskopowymi

okazała się skutecznym sposobem poprawy wyników w analizie zafałszowań żywności. Obejmowała ona m.in.

- obniżenie granic wykrywalności dodatków fałszujących w produktach,
- obniżenie błędów standardowych estymacji i walidacji modeli pozwalających na prognozowanie zawartości dodatku użytego do zafałszowania,
- obniżenie błędów klasyfikacji produktów o różnym pochodzeniu botanicznym czy uzyskanych przy zastosowaniu różnych procesów produkcyjnych (**weryfikacja hipotezy 2**).

4.7. Cytowana literatura

- [1] Alvesa R.C., Casal S., Alves M.R., Oliveira M.B. (2009) Discrimination between Arabica and robusta coffee species on the basis of their tocopherol profiles, *Food Chem.* 114, 295–299.
- [2] Bandal S., Singh A., Mangal M., Mangal A.K., & Kumar, S. (2017) Food adulteration: 545 Sources, health risks, and detection methods, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 57(6): 1174–1189..
- [3] Belscak A., Komes D., Horzic D., Kovacevic Gani K., Karlovic D. (2009) Comparative study of commercially available cocoa products in terms of their bioactive composition. *Food Res. Int.* 42, 707–716.
- [4] Chen Q., Zhao J., Fang C.H., Wang D. (2007) Feasibility study on identification of green, black and Oolong teas using near-infrared reflectance spectroscopy based on support vector machine (SVM), *Spectrochim. Acta A* 66, 568–574.
- [5] Christensen J., Nřrgaard L., Bro R., Engelsen S.B. (2006) Multivariate autofluorescence of intact food systems. *Chem Rev* 106:1979–1994.
- [6] Everstine K., Kircher A. (2013), “The Implications of Food Fraud,” *Food Quality & Safety* magazine, June/July.
- [7] Granato D., Putnik P., Bursac Kovacevic D., Sousa Santos J., Calado V., Silva Rocha R., Gomes Da Cruz A., Jarvis B, Ye Rodionova O., Pomerantsev A. (2018) Trends in Chemometrics: Food Authentication, Microbiology, and Effects of Processing, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 17, 163–677.
- [8] Grigoriadou D., Tsimidou M. Z. (2006) Quality control and storage studies of virgin olive oil: Exploiting uv spectrophotometry potential. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.* 108, 61–69.

- [9] Hu L., Yin C. (2017) Development of a new three-dimensional fluorescence spectroscopy method coupling with multilinear pattern recognition to discriminate the variety and grade of green tea, *Food Anal. Methods* 10, 2281–2292.
- [10] Illy R., Viani A. (1995) *Espresso Coffee: The Chemistry of Quality*, Academic, San Diego.
- [11] Johnson R. (2014) *Food Fraud and “Economically Motivated Adulteration” of Food and Food Ingredients*, Congressional Research Service, R43358.
- [12] Kaiser H.F. (1960) The application of electronic computers to factors analysis, *Educ. Psychol. Meas.* 141–151.
- [13] Kamm W., Dionis F., Hischenhuber C., Engel K. H. (2001) Authenticity assessment of fats and oils. *Food Rev. Int.* 17, 249–290.
- [14] Karoui R., Blecker C. (2011) Fluorescence spectroscopy measurement for quality assessment of food systems – a review. *Food Bioprocess Tech.* 4, 364–386.
- [15] Karoui R., Mazerolles G., Dufour E. (2003) Spectroscopic techniques coupled with chemometric tools for structure and texture determinations in dairy products. *Int. Dairy J.* 3, 607–620.
- [16] Kowalczyk S. (2016). *Bezpieczeństwo i jakość żywności*. PWN SA. Warszawa.
- [17] Kowalska A. (2017) Postawy konsumentów wobec autentyczności produktów żywnościowych, *Problemy jakości* 9, 34–42.
- [18] Małecka. (2006) *Bezpieczeństwo żywności w regulacjach prawnych./ w Żywność bezpieczna dla konsumenta*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu (UEP), *Zeszyty Naukowe* 73, 7–17.
- [19] Martin M.J., Pablos F., González A.G., Valdenebro M.S., Carnacho M.L. (2001) Fatty acid profiles as discriminant parameters for coffee varieties differentiation, *Talanta* 54, 291–297.
- [20] Nałęcz M. (2000) *Biocybernetyka i Inżynieria Biomedyczna*, Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa 2000.
- [21] Ntakatsane M.P., Liu X.M., Zhou P. (2013) Rapid detection of milk fat adulteration with vegetable oil by fluorescence spectroscopy. *J. Dairy Sci.* 96, 2130–2136.
- [22] Raport UE 2013/2091 Raport Komitetu Środowiska, Zdrowia Publicznego i Bezpieczeństwa Żywności dotyczący kryzysu żywnościowego, nadużyć w łańcuchu żywnościowym i jego kontroli.
- [23] Rozporządzenie (WE) nr 178/2002 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 28 stycznia 2002 r. ustanawiające ogólne zasady i wymagania prawa żywnościowego, powołujące

- Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności oraz ustanawiające procedury w zakresie bezpieczeństwa żywności (Dz. Urz. WE L 31 z 01.02.2002, str. 1, z późn. zm.).
- [24] Rozporządzenie (WE) nr 882/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie kontroli urzędowych przeprowadzanych w celu sprawdzenia zgodności z prawem paszowym i żywnościowym oraz regułami dotyczącymi zdrowia zwierząt i dobrostanu zwierząt (Dz.U. L 165 z 30.4.2004, str. 1)
- [25] Sayago A., Morales M.T., Aparicio R. (2004) Detection of hazelnut oil in virgin olive oil by a spectrofluorimetric method. *Eur Food Res Technol* 218, 480–483.
- [26] Schwartz H., Ollilainen V., Piironen V., Lampi A.M. (2008) Tocopherol, tocotrienol and plant sterol contents of vegetable oils and industrial fats. *J. Food Compos. Anal.* 21, 152–161.
- [27] Sikorska E., Romaniuk A., Khmelinskii I.V., Herance R, Bourdelande J.L., Sikorski M., Koziół J. (2004) Characterization of edible oils using total luminescence spectroscopy. *J Fluoresc* 14, 25–35.
- [28] Souto U.T.C.P., Pontes M.J.C., Silva E.C., Galvão R.K.H., Araújo M.C.U, Sanches F.A.C., Cunha F.A.S., Oliveira M.S.R. (2010) UV–Vis spectrometric classification of coffees by SPA–LDA. *Food Chem.* 119, 368–371.
- [29] Spink J., Moyer D.C. (2011). Background: Defining the Public Health Threat of Food Fraud, in *Research Grants*, National Center for Food Protection and Defense (NCFPD), Minneapolis, MN, p. 7, Available from: www.ncfpd.umn.edu.
- [30] Szczucki C. (1970), Zakresy znaczeniowe podstawowych pojęć w kontroli produktów mięsnych, „Gospodarka Mięsna”, nr 1. Szczucki,
- [31] Ustawa z dnia 16 kwietnia 1993 r. o zwalczaniu nieuczciwej konkurencji. (Dz.U. 1993 nr 47 poz. 211).
- [32] Ustawa z dnia 21 grudnia 2000 roku o jakości handlowej artykułów rolno–spożywczych (Dz.U. z 2005 r. Nr 187, poz. 1577, z późn. zm.).
- [33] Ustawa z dnia 23 sierpnia 2007 r. o przeciwdziałaniu nieuczciwym praktykom rynkowym (Dz.U. 2007 nr 171 poz. 1206).
- [34] Ustawa z dnia 25 sierpnia 2006 r. o bezpieczeństwie żywności i żywienia (Dz.U. 2006 nr 171 poz. 1225).
- [35] Williams P., Norris K. (2001) *Near Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries*, 2nd ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo–badawczych po uzyskaniu stopnia doktora

Działalność naukową rozpoczęłam w 2004 r., podejmując studia doktoranckie na Wydziale Towaroznawstwa Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu i pracę badawczą w Katedrze Towaroznawstwa Żywności pod kierunkiem pani prof. dr hab. Marii Małeckiej. Zrealizowałam rozprawę doktorską zatytułowaną „Wykrywanie zafałszowań oliwy z oliwek”. Podjęłam w niej próbę wykrywania zafałszowań oliwy z oliwek ekstra virgin innymi, tańszymi gatunkami oliwy oraz olejami sojowym, słonecznikowym i rzepakowym, przy wykorzystaniu metod chromatografii gazowej oraz metody fluorymetrii synchronicznej. W 2010 r. podjęłam pracę jako asystent, a od 2011 r. jako adiunkt w Katedrze Towaroznawstwa Żywności. Moje zainteresowania naukowo–badawcze obejmują zagadnienia związane z jakością i bezpieczeństwem żywności, ze szczególnym uwzględnieniem aspektów jej autentyczności. Głównym zagadnieniem są omówione w punkcie 4.4. badania nad wykorzystaniem metod spektroskopowych w połączeniu z metodami chemometrycznymi do wykrywania zafałszowań produktów spożywczych. Jestem autorem oraz współautorem wielu publikacji i doniesień konferencyjnych z zakresu wspomnianej problematyki (Zał. 4, pkt. II.A.1, II.A.2, II.B2.3; II.B2.5, II.B3.1, II.B3.2, II.B3.4, II.B3.8, II.B3.11, II.B3.12, II.B3.15, II.B3.17, II.B3.20, II.B3.21, II.B3.22). Poza publikacjami, które przedstawiłam jako cykl publikacji ukazały się jeszcze publikacje, w których opisałam badania dotyczące możliwości zastosowania fluorymetrii synchronicznej do wykrywania dodatku do oliwy z oliwek tańszych olejów roślinnych oraz do klasyfikacji różnych kategorii oliw z oliwek (Zał. 4, pkt. II.A.1, II.A.2). Próbkę oliw z oliwek, które zastosowałam do badań klasyfikacyjnych otrzymałam m.in. od organizacji **International Olive Oil Council**. Metoda ta została wykorzystana także do wykrywania zafałszowań innych produktów spożywczych, np. soków (Zał. 4, pkt. II.B2.5.) Wśród innych obszarów moich zainteresowań badawczych można wskazać:

- czynniki wpływające na zawartość wybranych związków biologicznie czynnych w wybranych produktach spożywczych;
- wykorzystanie metod spektroskopowych do prognozowania poziomu wybranych związków biologicznie czynnych oraz oceny zmian zachodzących w produktach spożywczych podczas ich przechowywania;
- analiza zafałszowań żywności na podstawie raportów zamieszczanych w Systemie Wczesnego Ostrzegania o Niebezpiecznej Żywności i Paszach (RASFF).

5.1. Czynniki wpływające na zawartość wybranych związków biologicznie czynnych w wybranych produktach spożywczych

Związki biologicznie czynne to podstawowe składniki odżywcze (np. białka) lub związki nieodżywcze (polifenole) występujące naturalnie w surowcu lub związki będące efektem procesu procesowi technologicznego (produkty reakcji Maillarda), które mogą wzmacniać, osłabiać lub modyfikować funkcje fizjologiczne i metaboliczne organizmu. Związki biologicznie czynne mogą wykazywać korzystne (np. błonnik pokarmowy, oligosacharydy, aminokwasy, witaminy, składniki mineralne), bądź negatywne działanie na organizm człowieka (np. glukozydy cyjanogenne, alkaloidy, produkty reakcji Maillarda). Jedną z moich publikacji dotyczyła związków biologicznie czynnych zawartych w oliwie z oliwek (Zał. 4, pkt. II.B1.1).

Jednym ze związków biologicznie czynnych, który w szczególności znalazły się w kręgu moich zainteresowań była kofeina zawarta w kawie, herbacie, czy napojach energetyzujących. Jednym z zagadnień, które w sposób szczególny mnie interesowało był wpływ gatunków kawy oraz sposobu jej zaparzania na zawartość kofeiny w naparze. W jednej z opublikowanych prac (Zał. 4, pkt. II.B1.7) przedstawiono i analizowano wyniki oznaczenia zawartości kofeiny w kawach z gatunków *Coffea arabica* oraz *Coffea canephora* var. *Robusta* sporządzanych dwoma sposobami (sposobem zwykłym i ciśnieniowym) oraz określano zależności pomiędzy sposobem zaparzania kawy a zawartością kofeiny w sporządzonych naporach. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, iż różnice w zawartości kofeiny w naporach z kaw z gatunku Arabica i Robusta były statystycznie istotne. Kawy z gatunku Robusta cechowały się wyższą zawartością kofeiny niż kawy z gatunku Arabica. Jednocześnie sposób zaparzania wpłynął istotnie statystycznie na zawartość kofeiny oznaczonych w obu rozpatrywanych gatunkach kaw. Kawy zaparzone sposobem ciśnieniowym cechowały się wyższą zawartością kofeiny niż napary sporządzone zwykłym sposobem. Ponadto w badaniach jeszcze nieopublikowanych (publikacja w trakcie opracowania), porównano trzy sposoby zaparzania kawy (ciśnieniowy, tłokowy i przelewowy) i określono wpływ każdej z tych metod na zawartość kofeiny w naporach kawowych. Różnice w zawartości kofeiny w naporach kawowych przygotowanych metodami tłokową i przelewową były statystycznie istotne w porównaniu do tych otrzymanych metodą ciśnieniową. Napary zaparzone sposobem ciśnieniowym cechowały się wyższą zawartością kofeiny niż napary zaparzone sposobem tłokowym i przelewowym.

Celem kolejnych prac była ocena wpływu stopnia przetworzenia na poziom kofeiny w herbatach. Oznaczono zawartości kofeiny w naparach sporządzonych z 30 herbat różnych typów (czarnych, czerwonych, żółtych, zielonych, białych oraz oolong) przy wykorzystaniu spektroskopii UV. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, iż zawartość kofeiny w obrębie poszczególnych typów herbat była zróżnicowana. Wbrew powszechnej opinii nie można więc było stwierdzić, że herbaty białe czy zielone charakteryzują się mniejszą jej zawartością niż herbaty czarne czy czerwone. W wyniku przeprowadzonego testu Tukey'a można było stwierdzić, że jedynie zawartość kofeiny w herbatach oolong statystycznie istotnie różniła się od pozostałych i była zdecydowanie niższa. W przypadku herbaty oolong średnia zawartość kofeiny kształtowała się na poziomie 3,46 mg / g liści, natomiast w przypadku pozostałych herbat mieściła się w przedziale średnio od 10,35 do 12,86 mg / g liści (Zał. 4, pkt. II.B2.7).

Tematem moich badań było również zagadnienie zawartości kofein w różnych produktach spożywczych dostępnych na polskim rynku spożywczym. Analizowano wody mineralne z dodatkiem kofeiny, napoje typu Cola, napoje energetyczne jak również kawy czy herbaty, z których sporządza się napary. Stężenia kofeiny oznaczone w napojach wynosiły od 12,80 do 22,50 mg/100 ml napoju, natomiast w przypadku produktów stałych wartość ta wynosiła od 1,87 do 10,76 mg/1 g produktu.

Kolejne prace dotyczyły badań nad zawartością związków fenolowych w produktach spożywczych. Ustalono, iż czekolady marek własnych oraz brandowych o podobnej zawartości masy kakaowej charakteryzują się porównywalną zawartością związków fenolowych ogółem. Jednocześnie stwierdzono, iż czekolady marek własnych były sprzedawane po statystycznie istotnie niższej cenie w porównaniu do czekolad brandowych (Zał. 4, pkt. II.B1.8, II.B3.7).

Przeprowadziłam również badania, w których porównałam właściwości przeciwutleniające czekolad oraz zawartość związków fenolowych czekolad gorzkich, deserowych oraz mlecznych. Aktywność przeciwutleniającą określono testem FRAP. Zawartość związków fenolowych natomiast na podstawie metody Folina–Ciocalteu. Właściwości przeciwutleniające różniły się statystycznie istotnie w trzech analizowanych grupach czekolad. Na podstawie obliczonego współczynnika korelacji Pearsona stwierdzono ponadto istotny związek między aktywnością antyoksydacyjną

a zawartością masy kakaowej wyrażoną w %. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono również, że cena czekolady nie miała związku z zawartością związków fenolowych badanych czekolad (Zał. 4, pkt. II.B3.19).

W badanych próbkach różnych rodzajów herbat oznaczono również zawartość garbników z użyciem metody miareczkowo–ekstrakcyjnej. W wyniku przeprowadzonej analizy wariancji z testem post hoc Tukey’a stwierdzono, że herbaty żółte i białe różniły się istotnie statystycznie od pozostałych, cechując się najwyższymi zawartościami garbników w ich liściach. W przypadku herbat żółtych średnia zawartość garbników wyniosła 19,55 g / 100 g, natomiast dla herbat białych 23,3 g / 100 g. Najwyższa zawartość garbników w herbatach białych wynikało z braku przeprowadzenia procesu fermentacji, powodującego rozpad garbników. Najniższą natomiast ich zawartością charakteryzowały się herbaty oolong (17 g / 100 g). (publikacja w przygotowaniu.).

Ilościowe oznaczanie składników biologicznie czynnych wykorzystano również w celu wykrywania zafałszowań wybranych produktów spożywczych. W jednej z prac (Zał. 4, II.B1.3) dokonano porównania profilu kwasów tłuszczowych masel handlowych z profilem kwasów tłuszczowych masła wzorcowego. Analizowano skład kwasów tłuszczowych oznaczonego przy pomocy chromatografii gazowej celem oszacowania poziomu ewentualnego dodatku tłuszczów roślinnych. Następnie uzyskane profile kwasów tłuszczowych oceniono w kontekście zafałszowań, stosując model obliczeniowy wykorzystywany w programie Microsoft Office Excel 2007 wraz z dodatkiem solver. W wyniku przeprowadzonej analizy wysunięto wnioski, iż najczęściej dodawanym do masła tłuszczem roślinnym był olej palmowy. Spośród 16 przebadanych próbek, 4 zawierały dodatek oleju palmowego na poziomie przekraczającym 5%, przy czym w dwóch próbkach jego zawartość wynosiła aż około 50%. Na podstawie przeprowadzonych badań wysunięto wniosek, iż fałszowanie masła odbywa się głównie poprzez stosowanie dodatku oleju palmowego (Zał. 4, II.B1.3; II.B3.3).

Wykorzystując metodę analizy składu kwasów tłuszczowych podjęłam również próbę wnioskowania odnośnie zafałszowania oliwy z oliwek ekstra virgin tańszymi olejami z nasion (sojowym, słonecznikowym i rzepakowym). Na podstawie oznaczonych zawartość kwasów tłuszczowych w badanych olejach oraz ich mieszankach (C16: 0, C16: 1, C18: 0, C18: 1, C18: 2, C18:3) obliczono sumy nasyconych kwasów tłuszczowych, nienasyconych kwasów tłuszczowych, jednonienasyconych kwasów tłuszczowych, wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, a także

relacje między grupami. Zastosowano wielokrotną regresję liniową w celu zbudowania modelu pozwalającego na prognozowanie poziomu zafałszowania oliwy z oliwek olejami z nasion na podstawie profilu kwasów tłuszczowych. Najniższe błędy kalibracyjne i walidacyjne predykcji poziomu zafałszowania wynosiły odpowiednio dla próbek zafałszowanych olejami, sojowym, rzepakowym i słonecznikowym 1,4; 1,5 i 3,7; 4,4. oraz 1,6 i 1,8%. (Zał. 4, pkt. II.A.2, II.B3.10).

5.2. Zastosowanie metod spektroskopowych do prognozowania zawartości wybranych związków biologicznie czynnych w produktach spożywczych oraz oceny ich świeżości

Kolejnym nurtem moich badań naukowych było zastosowanie metod spektroskopowych do prognozowania zawartości związków biologicznie czynnych oraz zastosowanie tychże metod do oceny świeżości produktów spożywczych.

Metody chromatograficzne, najczęściej stosowane do oznaczania zawartości kofeiny, są czasochłonne i wymagają użycia drogiego sprzętu. Zastosowanie spektroskopii UV do oznaczania kofeiny wymaga z kolei procesu żmudnej i czasochłonnej ekstrakcji chloroformem. Z tego powodu poszukuje się innych, szybszych i tańszych metod takich jak zastosowana spektroskopia w bliskiej podczerwieni (NIR). Sprawdzone możliwość zastosowania pomiarów w bliskiej podczerwieni do prognozowania zawartości kofeiny w naparach herbaty. Zawartości kofeiny oznaczone były na podstawie pomiarów UV. O przydatności pomiarów widm uzyskanych w bliskiej podczerwieni wnioskowano na podstawie uzyskanych współczynników korelacji pomiędzy oznaczonymi zawartościami kofeiny na podstawie pomiarów UV, a parametrami charakteryzującymi widma NIR. Dla badanych próbek naparów herbacianych dokonano pomiaru absorbancji NIR. Na podstawie uzyskanych widm przeprowadzono analizę głównych składowych (PCA), w celu zredukowania liczby zmiennych. Zastosowano również wielokrotną regresję liniową (MLR) w celu zbudowania modelu umożliwiającego szacowanie zawartości kofeiny w próbkach herbat oraz ich naparach na podstawie zmierzonych widm NIR. Uzyskano bardzo wysokie współczynniki korelacji równe odpowiednio 0,87 oraz 0,96 między składowymi głównymi (PCA) dla wybranych zakresów liczb falowych ($6900\text{--}6000\text{ cm}^{-1}$ i $5000\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$) a oznaczonymi na podstawie spektroskopii UV zawartościami kofeiny w poszczególnych próbkach. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że pomiar widm NIR stanowi dobrą metodę szacowania zawartości kofeiny

w herbatach. Przewagą pomiarów w podczerwieni jest szybkość tej metody. Widma można zmierzyć bezpośrednio dla naparów herbat z pominięciem etapu ekstrakcji uzyskując wysoką korelację z wartościami uzyskanymi na podstawie pomiarów UV. Sam pomiar widm uzyskany dla wodnych naparów daje zadowalające wyniki (Zał. 4, pkt. II.B2.7).

W kolejnych pracach podjęto próbę zastosowania spektroskopii w bliskiej podczerwieni do oceny zdolności przeciwutleniających naparów z liści krzewów owocowych (Zał. 4, pkt. II.B2.2, II.B3.16). W tym celu zbudowano model wielokrotnej regresji liniowej i oceniono jego przydatność do szacowania zdolności przeciwutleniających. W tym celu skorelowano dane otrzymane na podstawie widm NIR z wynikami właściwości przeciwutleniających naparów herbatek uzyskane testem DPPH. W celu określenia zależności pomiędzy wynikami testu z rodnikiem DPPH, a danymi zawartymi w widmach NIR, przeprowadzono analizę z wykorzystaniem metody wielokrotnej regresji liniowej. Do stworzenia modelu wielokrotnej regresji liniowej wykorzystano pięć składowych głównych z przeprowadzonej analizy PCA. W badaniach uzyskano wysokie wartości współczynnika regresji oraz korelacji równe kolejno 0,93 oraz 0,97 niezależnie od zastosowanego zakresu liczb falowych. Takie wysokie wartości współczynników wskazują, że współzależność między testem DPPH, a danymi zawartymi w widmach NIR jest istotna statystycznie. Wyniki badań potwierdzają, że metoda spektroskopii z zakresu bliskiej podczerwieni, przeprowadzona w odpowiednich warunkach pomiarowych, w połączeniu z wielowymiarową analizą statystyczną, stanowią dobre narzędzie w ocenie całkowitych zdolności do redukcji rodnika DPPH przez związki zawarte w naparach z liści krzewów owoców jagodowych. W konsekwencji NIR można wskazać jako skuteczną i alternatywną metodę do monitorowania właściwości przeciwutleniających tych produktów (Zał. 4, pkt. II.B2.2, II B3.16).

Widma spektroskopowe wykorzystano również do monitorowania zmian zachodzących podczas przechowywania produktów spożywczych. W doniesieniu konferencyjnym (Zał. 4, pkt. II.B3.6.) przedstawiono wyniki badań, w których podjęto próbę wykorzystania fluorymetrii synchronicznej do monitorowania zmian zachodzących w mętnych sokach jabłkowych. Przedmiot badań stanowiły mętne soki jabłkowe pochodzące od różnych producentów, w opakowaniach bag in box o pojemności 5 litrów każdy. Zmiany zachodzące w sokach były monitorowane przez 21 dni po otwarciu opakowania, w okresie ich przydatności do spożycia. Widma synchroniczne fluorescencji uzyskane dla świeżych soków oraz po odpowiednio 14 i 21 dniach przechowywania różniły się

istotnie między sobą. W czasie przechowywania produktów obserwowano wzrost intensywności fluorescencji. Przeprowadzona analiza GDA (ang. Generalized Discriminant Analysis) widm synchronicznych fluorescencji, uzyskanych przy $\Delta\lambda = 10$ nm wszystkich badanych soków, pozwoliła na przydzielenie ich do właściwych im grup w zależności od liczby dni przechowywania. Uzyskane wyniki potwierdziły wysoką przydatność pomiarów widm synchronicznych fluorescencji do monitorowania zmian zachodzących w mętnych sokach jabłkowych podczas ich przechowywania.

W nieopublikowanych jeszcze badaniach podjęto również próbę wykorzystania pomiarów NIR w bliskiej podczerwieni do prognozowania zawartości garbników w herbatach. Ich zawartości w różnych rodzajach herbat oznaczono metodą miareczkowo – ekstrakcyjną. W zmielonych próbkach herbat dokonano następnie pomiaru absorpcji w bliskiej podczerwieni zmielonych próbek herbat w zakresie $12\ 500 - 4000\text{ cm}^{-1}$. Wykonano analizę głównych składowych (PCA) dla zakresu $6945 - 5945$ oraz $5357 - 4357\text{ cm}^{-1}$ jak i dla obu połączonych zakresów. Analiza ta pozwoliła na redukcję liczby zmiennych oraz zastosowanie wielokrotnej regresji liniowej (MLR) do zbudowania modelu umożliwiającego szacowanie zawartości garbników w próbkach herbat na podstawie zmierzonych widm absorpcji NIR. Uzyskano współczynniki korelacji wynoszące odpowiednio – 0,82 – dla pierwszego zakresu i 0,80 dla drugiego zakresu. Świadczyło to o wysokiej korelacji między zawartością garbników a poziomem absorpcji. Najwyższy współczynnik 0,88 uzyskano dla połączonych zakresów, co świadczy o najwyższej zdolności predykcyjnej analizy wykonywanej dla poszerzonego zakresu liczb falowych.

5.3. Analiza zafałszowań żywności w Systemie Wczesnego Ostrzegania o Niebezpiecznej żywności i Paszach

Kolejnym obszarem moich zainteresowań był obraz problemu zafałszowań żywności na podstawie danych z systemu wczesnego ostrzegania o niebezpiecznej żywności i paszach (ang. Rapid Alert System for Food and Feed, w skrócie RASFF). RASFF jest nieodłącznym elementem unijnego rynku żywności i pasz, stanowiącym narzędzie powiadamiania o niebezpieczeństwach pochodzących z żywności lub paszy dla zdrowia ludzi. Działanie tego systemu polega na zbieraniu i rozpowszechnianiu informacji o produktach żywnościowych i paszach, jak również o materiałach przeznaczonych do kontaktu z żywnością. Problem zafałszowanej żywności jest jednym z ważnych

aspektów zapewnienia bezpiecznej żywności oraz uczciwej konkurencji rynkowej. Analizowano informacje zamieszczone w bazie systemu wczesnego ostrzegania o niebezpiecznej żywności i paszach, a dotyczące zafałszowań żywności pod względem kraju pochodzenia, kraju notującego zafałszowanie oraz dominujących grup produktów podlegających zafałszowaniom. Na podstawie analiz bazy danych systemu RASFF ustalono, że w okresie od 1980 do 2013 r. odnotowano 763 zgłoszeń dotyczących zafałszowań. Stanowiło to 2,4% całkowitej liczby powiadomień dotyczących żywności odnotowanych w bazie. Prawie połowa zgłoszeń dotyczących zafałszowań żywności w latach 1980–2013 miała charakter odrzucenia produktu na granicy. Powiadomienia alarmowe dotyczyły niespełna 8% odnotowanych przypadków. Na uwagę zasługuje fakt, iż liczba powiadomień dotyczących zafałszowań żywności istotnie wzrosła w ostatnim czasie z 53 do 158 przypadków latach 2008–2013. Z analizy bazy danych RASFF wynika, iż do najczęściej fałszowanych produktów w Europie od 1980 do 2013 r. należały:

- mięso i produkty mięsne (z wyjątkiem drobiu);
- ryby i produkty rybne;
- orzechy i produkty z orzechów.

W 2013 r. znacznie wzrosła liczba odnotowanych przypadków zafałszowań mięsa i produktów mięsnych (53 przypadki – 37%). Większość zafałszowanych produktów spożywczych wyprodukowanych w Europie pochodziła z Polski (42 przypadki – 15%), Niemiec (32 – 12%); Włoch i Holandii (po 24 przypadki – 9%); Francji i Wielkiej Brytanii (po 19 przypadków – 7%) oraz Hiszpanii (11 przypadków – 4%). Przypadki fałszowania żywności odnotowywano w systemie RASFF głównie w Wielkiej Brytanii (150 przypadków – 20%), we Włoszech (121 przypadków – 16%) oraz w Niemczech (69 przypadków – 9%). Może to wskazywać na lepszą efektywność systemu RASFF w tychże krajach. Podsumowując można stwierdzić, że system RASFF stanowi ważny element nadzoru nad bezpieczeństwem żywności oraz polityki ochrony zdrowia ludności Unii Europejskiej. Większość powiadomień w systemie RASFF dotyczących zafałszowań żywności miało charakter odrzucania produktu na granicy i ostatnim czasie dotyczyło to głównie mięsa, dań gotowych, przekąsek oraz orzechów. Odnotowany w ostatnich latach znaczny wzrost zarejestrowanych przypadków fałszowania żywności był prawdopodobnie wynikiem poprawy przepisów i systemów służących ich wykrywaniu (Zał. 4, pkt. II.B3.9.; II.B2.1). Aktualnie tematyka ta pozostaje w kręgu moich zainteresowań i moich seminarzystów, którzy pod moim kierunkiem realizują prace inżynierskie.

Zestawienie dorobku naukowego po uzyskaniu stopnia doktora

Zestawienie dorobku naukowego po uzyskaniu stopnia doktora znajduje się w poniższej tabeli.

	Rodzaj aktywności	Liczba	IF	Punkty	
				Całkowite	Wg udziału
Osiągnięcie naukowe					
1.	Artykuły w czasopiśmie indeksowanych w bazie JCR	6	13,608	170	151
2.	Rozdziały w monografii	1	–	5	5
Razem (osiągnięcie naukowe)		7		175	156
Pozostały dorobek po uzyskaniu stopnia doktora					
3.	Artykuły w czasopiśmie indeksowanych w bazie JCR	2	1,391	35	30,8
4.	Artykuły w pozostałych czasopiśmie	7	–	45	34,2
5.	Rozdziały w monografiach	7	–	32	18,95
6.	Doniesienia w materiałach konferencyjnych	22			
7.	Referaty/doniesienia w formie ustnej wygłoszone na konferencjach	2			
	Recenzje publikacji w czasopiśmie naukowych	29			
Razem pozostały dorobek po uzyskaniu stopnia doktora		69	1,391	112	83,95
Razem		76	14,999	287	239,95

Na mój dorobek naukowy składa się autorstwo lub współautorstwo publikacji naukowych w czasopiśmie międzynarodowych indeksowanych w bazie JCR oraz innych, i monografiach. Ponadto przedstawiałam referaty oraz liczne doniesienia na konferencjach krajowych i zagranicznych.

Szczegółowe informacje na temat dorobku naukowego, jak również pozostałe niewymienione w autoreferacie osiągnięcia naukowe, wraz z informacją o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki zostały szczegółowo przedstawione w Załączniku nr 4.

Anna Dankowska

Spis skrótów

- AAC – System Pomocy i Współpracy Administracyjnej
- CBE – ekwiwalent tłuszczu kakaowego
- FAO – Organizacja Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa,
- FDA – Agencję ds. Żywności i Leków USA
- FFN – Europejska Sieć ds. Nadużyć w Zakresie Żywności
- IF – impact factor
- KNN – k – najbliższych sąsiadów
- LDA – liniowa analiza dyskryminacyjna
- MLR – wielokrotna regresja liniowa
- NIR – bliska podczerwień
- PCA – Principal Component Analysis
- QDA – kwadratowa analiza dyskryminacyjna
- RASFF – System Wczesnego Ostrzegania o Niebezpiecznych Produktach Żywnościowych i Paszach
- RDA – regularyzowana analiza dyskryminacyjna
- RF – las losowy
- RMSEC – błąd średniokwadratowy kalibracji
- RMSEV – błąd średniokwadratowy walidacji
- SF – fluorymetria synchroniczna
- SPA – algorytm kolejnych projekcji (ang. Successive Projections Algorithm)
- SVM – metoda wektorów nośnych
- UV – promieniowanie ultrafioletowe
- Vis – promieniowanie widzialne
- WHO – Światową Organizację Zdrowia