
Autoreferat

Dorobek i osiągnięcia naukowe

dr inż. Joanna Michalak

**Katedra Towaroznawstwa i Badań Żywności
Wydział Nauki o Żywności
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
10-957 Olsztyn, Heweliusza 6
Tel. 89 523 48 96
e-mail: seniutaj@uwm.edu.pl**

Olsztyn 2017

Spis treści

1. Dane osobowe _____	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe _____	3
3. Dotychczasowe zatrudnienie w jednostkach naukowych _____	3
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. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.) _____	4
A. Tytuł osiągnięcia naukowego _____	4
B. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego _____	4
C. Omówienie publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego _____	6
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych _____	32
6. Podsumowanie dorobku naukowo-badawczego _____	43

1. Dane osobowe

Imię i nazwisko: **Joanna Michalak** [REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

Magister inżynier technologii żywności i żywienia człowieka - 1995

Akademia Rolniczo-Techniczna im. Michała Oczapowskiego w Olsztynie, Wydział Technologii Żywności, Kierunek: technologia żywności i żywienie człowieka (dzienne 5-letnie) w zakresie technologii mleczarskiej

Tytuł pracy magisterskiej: Biologiczne metody redukcji zawartości cholesterolu w tłuszczu mlekowym

Promotor: prof. dr hab. Jan Kiswa, prof. zw.

Doktor nauk rolniczych w zakresie technologii żywności i żywienia - 2002

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Wydział Nauki o Żywności, Instytut Towaroznawstwa i Oceny Jakości Żywności

Tytuł rozprawy doktorskiej: Ocena wpływu metody produkcji i warunków przechowywania na zakres zmian fizykochemicznych w mleku UHT

Promotor: prof. dr hab. Andrzej Kuncewicz

3. Dotychczasowe zatrudnienie w jednostkach naukowych

Asystent

01.10.1995 - 30.09.1998 - Zakład Chemii i Analizy Żywności, Wydział Technologii Żywności, Akademia Rolniczo-Techniczna w Olsztynie.

od 1998 r. Wydział Nauki o Żywności,

od 1999 r. Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie,

Następnie na skutek zmian organizacyjnych i zmian nazwy jednostki:

01.10.1998 - 31.08.2003 - Instytut Towaroznawstwa i Oceny Jakości Żywności, Instytut Towaroznawstwa i Kształtowania Jakości, Katedra Analiz Instrumentalnych.

Adiunkt

01.09.2003 – dotychczas, Wydział Nauki o Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie.

Na skutek zmian organizacyjnych i zmian nazwy jednostki:

01.09.2003 - dotychczas - Katedra Analiz Instrumentalnych, Katedra Towaroznawstwa i Badań Żywności.

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. 2016 r. poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311.)

A. Tytuł osiągnięcia naukowego

Akrylamid w żywności: aspekty analityczne i technologiczne

Rozprawę habilitacyjną stanowi powiązany tematycznie cykl publikacji. W publikacjach zamieszczono wyniki badań, z których część wykonano w ramach projektu własnego badawczego, nr rejestracyjny N N312 227236, pt.: „*Badanie zależności pomiędzy składem produktów mleczno-zbożowych dla dzieci i poziomem związków reakcji Maillarda a tworzeniem się akrylamidu*” (2009-2012).

B. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

1. **Michalak J.**, Gujska E., Klepacka J. 2011. The effect of domestic preparation of some potato products on acrylamide content. *Plant Foods for Human Nutrition*, 66 (4), 307-312.

(IF¹ = 2,505, MNiSW² = 35, liczba cytowań³ = 5)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu i opracowaniu koncepcji doświadczenia i badań, zebraniu literatury, wykonaniu doświadczenia i oznaczeń, a także analizie statystycznej i interpretacji wyników, przygotowaniu manuskryptu w języku angielskim, pełnieniu roli autora korespondencyjnego. Mój udział wynosił 80%.

¹Impact factor wg listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania (w przypadku publikacji z 2016 i 2017, dla których IF nie został obliczony, podano ostatni aktualny).

²Punkty MNiSW wg Komunikatu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 9 grudnia 2016 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych wraz z liczbą punktów przyznawanych za publikacje w tych czasopismach.

³Liczba cytowań wg Web of Science na dzień 1 kwietnia 2017 roku.

2. **Michalak J.**, Gujska E., Kuncewicz A. 2013. RP-HPLC-DAD studies on acrylamide in cereal-based baby foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 32, 68-73.

($IF^1 = 2,259$, $MNiSW^2 = 35$, **liczba cytowań³ = 8**)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu i opracowaniu koncepcji badań, zebraniu i analizie literatury, wykonaniu badań i oznaczeń, a także analizie statystycznej i interpretacji wyników, przygotowaniu manuskryptu w języku angielskim, pełnieniu roli autora korespondencyjnego. Mój udział wynosił 80%.

3. **Michalak J.**, Gujska E., Czarnowska M., Klepacka J., Nowak F. 2016. Effect of storage on acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural contents in selected processed plant products with long shelf-life. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71, 115-122.

($IF^1 = 2,276$, $MNiSW^2 = 35$, **liczba cytowań³ = 1**)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu i opracowaniu koncepcji doświadczenia i badań, zebraniu literatury, współudziale w wykonaniu doświadczenia i oznaczeń, przeprowadzeniu analizy statystycznej i interpretacji wyników, przygotowaniu manuskryptu w języku angielskim, pełnieniu roli autora korespondencyjnego. Mój udział wynosił 70%.

4. **Michalak J.**, Gujska E., Czarnowska-Kujawska M., Nowak F. 2017. Effect of different home-cooking methods on acrylamide formation in pre-prepared croquettes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 56, 134-139.

($IF^1 = 2,780$, $MNiSW^2 = 35$, **liczba cytowań³ = 0**)

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na stworzeniu i opracowaniu koncepcji doświadczenia i badań, zebraniu literatury, wykonaniu doświadczenia i oznaczeń, a także analizie statystycznej i interpretacji wyników, przygotowaniu manuskryptu w języku angielskim, pełnieniu roli autora korespondencyjnego. Mój udział wynosił 80%.

Łącznie:

- Sumaryczny impact factor (IF) publikacji wg listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania: **9,820**.
- Suma punktów za publikacje wg wykazu czasopism naukowych Komunikatu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 9 grudnia 2016 w sprawie wykazu czasopism naukowych wraz z liczbą punktów przyznawanych za publikacje w tych czasopismach: **140**.

- Liczba cytowań wg Web of Science na dzień 1 kwietnia 2017: **14**.

Oświadczenia współautorów prac, określające szczegółowo ich indywidualny wkład w powstanie publikacji, znajdują się w Załączniku 5.

C. Omówienie publikacji wchodzących w skład osiągnięcia naukowego

Wprowadzenie

Procesy termiczne są stosowane w przemyśle spożywczym w celu uzyskania bezpiecznych produktów o przedłużonym okresie przydatności do spożycia. Pieczenie, opiekanie, smażenie, prażenie, sterylizacja mogą wywoływać pożądane i niepożądane skutki w żywności, co ma istotny wpływ na końcową jakość produktów spożywczych. Negatywne skutki obróbki termicznej to m.in. tworzenie się związków, które nie występują naturalnie w żywności i mogą wykazywać m.in. działanie mutagenne, rakotwórcze i cytotoksyczne. Związki te określa się mianem zanieczyszczeń procesowych. Do toksycznych związków tworzących się podczas obróbki termicznej produktów spożywczych należą m.in. heterocykliczne aminy aromatyczne, nitrozoaminy, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, 5-hydroksymetylofurfural, furan oraz akrylamid (AA) (Claeys i in., 2005; Capuano i Fogliano, 2011; Bent i in., 2012). W ostatnich latach najwięcej uwagi poświęcono akrylamidowi, ponieważ to zanieczyszczenie procesowe wykryto stosunkowo niedawno.

Akrylamid ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CO}-\text{NH}_2$, 2-propenamid, CAS, rejestracja No.79-06-1) to niskocząsteczkowy związek organiczny złożony z atomów węgla (50,69%), wodoru (7,09%), azotu (19,71%) oraz tlenu (22,51%), o masie cząsteczkowej 71,08 g. Związek ten ma charakter polarny i jest dobrze rozpuszczalny w wodzie, metanolu i etanolu. Od połowy ubiegłego wieku akrylamid jest syntetyzowany na skalę przemysłową. W formie spolimeryzowanej jako poliakrylamid ma zastosowanie w różnych branżach przemysłu i w rolnictwie (Ericsson, 2005; Żyżelewicz i in., 2010; Tekkeli i in., 2012). Już w latach 90. XX wieku wykazano, że akrylamid jest neurotoksyczny, co potwierdzono w badaniach epidemiologicznych. Jego genotoksyczność wykazano w badaniach na komórkach somatycznych i płciowych. W badaniach na zwierzętach (myszach i szczurach) zaobserwowano, że indukuje on powstawanie komórek nowotworowych. Działanie toksyczne wywołuje jedynie w postaci monomeru, w formie spolimeryzowanej nie wykazuje szkodliwego wpływu na organizmy ludzi i zwierząt. Do organizmu ludzkiego akrylamid dostaje się przez przewód pokarmowy, układ oddechowy i skórę, ulegając następnie biotransformacji i eliminacji głównie w wątrobie. Akrylamid wykazuje niską reaktywność

w stosunku do DNA. W wyniku metabolicznej konwersji AA w organizmach żywych tworzy się glicydamid - związek o zdolności tworzenia adduktów z DNA, co może wywoływać mutację genów oraz uszkodzenia chromosomów (Ericsson, 2005; Żyżelewicz i in., 2010; Capuano i Fogliano, 2011; Tekkeli i in., 2012). W 1994 r. Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem (IARC) sklasyfikowała akrylamid jako związek „potencjalnie kancerogeny dla człowieka” (Grupa 2A). W systemie klasyfikacji Unii Europejskiej akrylamid występuje w kategorii drugiej, jako kancerogen i mutagen. W 2010 r. Europejska Agencja Chemikaliów (ECHA) dodała akrylamid do wykazu substancji wzbudzających szczególne obawy (IARC, 1994; European Union Risk Assessment Report, 2002; ECHA 2010).

Do 2002 r. uważano, że akrylamid nie występuje naturalnie w przyrodzie, a otrzymywany jest wyłącznie w procesie syntezy. W kwietniu 2002 r. Szwedzka Państwowa Agencja ds. Żywności i naukowcy z Uniwersytetu w Sztokholmie opublikowali zaskakujące dane dotyczące znacznych zawartości akrylamidu w żywności (od 30 $\mu\text{g}/\text{kg}$ do 2300 $\mu\text{g}/\text{kg}$), szczególnie w produktach ziemniaczanych i zbożowych poddawanych wysokiej obróbce termicznej (Swedish National Food Administration, 2002). Akrylamid w tym samym roku został dodany do listy substancji toksycznych obecnych w żywności. Na podstawie dostępnych wyników badań dotyczących poziomów akrylamidu w produktach spożywczych i wielkości ich spożycia, Światowa Organizacja Zdrowia oceniła, że przeciętne pobranie akrylamidu z żywności wynosi 0,3-2,0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ m.c./dzień (WHO, 2005), przy czym w przypadku dzieci może być nawet kilkakrotnie wyższe ze względu na ich mniejszą masę ciała (Dybing i in., 2005). Wkrótce potem pojawiły się doniesienia innych światowych ośrodków naukowych o nawet wyższej zawartości akrylamidu (do ok. 12000 $\mu\text{g}/\text{kg}$) w żywności bogatej w skrobię i poddanej obróbce termicznej w wysokiej temperaturze, takiej jak frytki, chipsy ziemniaczane, pieczywo, zwłaszcza chrupkie, suchary, krakersy, ciasteczka, płatki śniadaniowe i in. Obecność tego związku stwierdzono również w mięsie i rybach poddawanych wysokiej obróbce termicznej, a także w różnego rodzaju żywności typu „fast food” oraz w pieczywie cukierniczym, czekoladzie i przekąskach słodkich, również w kakao, mleku zastępczym i kleikach dla dzieci. Znaczną zawartość akrylamidu wykryto także w kawie. Niewielką zawartość AA stwierdzono w mleku po obróbce termicznej i produktach mlecznych (Tareke i in., 2002; Tateo i Bononi, 2003; Zhang i in., 2005; Claeys i in., 2005; Fohgelberg i in., 2005; Yuan i in., 2007; Capuano i Fogliano, 2011; Keramat i in., 2011; Krishnakumar i Visvanathan, 2014). Oznaczona w wielu produktach spożywczych zawartość akrylamidu wielokrotnie przewyższała dopuszczalną pozostałość tego związku w wodzie

pitnej przyjętą przez Światową Organizację Zdrowia (WHO) i Unię Europejską (1 µg/L) oraz Agencję Ochrony Środowiska (EPA) (0,5 µg/L) (WHO 1996; EEC 1998).

Obecnie przyjmuje się, że główny szlak tworzenia się akrylamidu w żywności, to reakcje Maillarda (Stadler i Studer, 2016). Akrylamid powstaje w ogrzewanych produktach spożywczych na drodze kondensacji grupy aminowej aminokwasu (asparaginy) z grupą karbonylową cukru (głównie glukozy lub fruktozy). Efektem tej reakcji może być produkt pośredni – zasada *Schiffa*, która w bezpośredniej przemianie może być przekształcana do akrylamidu lub w wyniku kolejnych etapów obejmujących szereg reakcji może tworzyć akrylamid. Alternatywnie AA może tworzyć się w wyniku degradacji Streckera, która przebiega w żywności poddawanej działaniu bardzo wysokich temperatur. Wyniki opublikowanych do tej pory badań potwierdzają taki mechanizm powstawania akrylamidu oraz kluczową rolę asparaginy w procesie tworzenia się tego związku. Szkielet węglowy akrylamidu pochodzi od asparaginy, co potwierdzono w badaniach z zastosowaniem spektrometrii mas z użyciem znakowanych atomów węgla i azotu. Wykazano również, że związki α -hydroksykarbonylowe, w szczególności fruktoza i glukoza, są bardziej reaktywne i znacznie bardziej wydajne w przekształceniu asparaginy do akrylamidu niż związki α -karbonylowe. Grupa α -hydroksylowa odgrywa kluczową rolę w degradacji asparaginy wskutek obniżenia całkowitej energii aktywacji reakcji Maillarda. Atomy węgla pochodzące z cząsteczek cukrów redukujących nie są wykorzystywane do budowy akrylamidu, a jedynie wspomagają reakcję przekształcenia asparaginy do akrylamidu (Claeys i in., 2005; Hedegaard i in., 2008; Keramat i in., 2011; Tekkeli i in., 2012; Krishnakumar i Visvanathan, 2014; Stadler i Studer, 2016).

Akrylamid (AA) może powstawać w ogrzewanej żywności nie tylko w reakcjach Maillarda, ale również na drodze przemian akroleiny, kwasu akrylowego, glutenu pszennego lub wskutek deaminacji 3-aminopropionoamidu, lub w wyniku enzymatycznej dekarboksylacji asparaginy (Capuano i Fogliano, 2011; Keramat i in., 2011; Krishnakumar i Visvanathan, 2014; Stadler i Studer, 2016). Głównym szlakiem tworzenia się akrylamidu w ogrzewanej żywności pozostają jednak reakcje Maillarda, w których, jak wykazano, powstawanie akrylamidu w dużym stopniu związane jest z obecnością niereaktywnej matrycy (skrobi lub białka). Ponadto decydujący wpływ na poziom AA w produkcie ma wysoka temperatura obróbki termicznej (zwykle powyżej 120°C). W żywności ogrzewanej do temp. ok. 160-180°C stwierdzono najwięcej akrylamidu. Natomiast prawdopodobnie długotrwałe ogrzewanie żywności w wyższej temperaturze, zwłaszcza powyżej 200°C, sprzyja degradacji akrylamidu. Stwierdzono również, że niska wilgotność w zakresie 10-20% produktów

ziemniaczanych, a w przypadku produktów zbożowych poniżej 10%, intensyfikuje tworzenie się tego związku. Ponadto tworzenie akrylamidu w żywności jest ograniczone w przypadku aktywności wody produktu powyżej 0,8 i poniżej 0,4, a optymalny poziom aktywności wody to ok. 0,4. Powstawaniu AA w żywności najbardziej sprzyja pH 7-8. Mimo wielu badań i znacznego poszerzenia wiedzy na temat mechanizmu tworzenia się akrylamidu w żywności i czynników na to wpływających, istnieje jeszcze wiele niejasności (Mottram i in., 2002; Stadler i in., 2002; Capuano i Fogliano, 2011; Keramat i in., 2011; Tekkeli i in., 2012; Krishnakumar i Visvanathan, 2014).

W licznych badaniach stwierdzono, że zawartość akrylamidu w żywności waha się w szerokim zakresie, przeciętnie od poniżej 100 µg/kg, a w skrajnych przypadkach nawet od poniżej 10 µg/kg w produktach o wysokiej zawartości białka, do 100-4000 µg/kg w produktach o wysokiej zawartości cukrowców. Najwyższą zawartość tego związku oznaczono w żywności poddawanej takim procesom termicznym, jak: smażenie i opiekanie ziemniaków, prażenie ziaren kakao i kawy, pieczenie chleba i ciasta, obróbka cieplna zbóż (Capuano i Fogliano, 2011; Keramat i in., 2011; Krishnakumar i Visvanathan, 2014).

Od 2002 r. wiele krajów europejskich monitoruje zawartość AA w żywności. Ze względu na stwierdzoną obecność tego związku w wielu produktach spożywczych i jego potencjalnie negatywne skutki dla zdrowia, Komisja Europejska wydała zalecenie (Zalecenie Komisji 2007/331/WE) w sprawie monitorowania poziomu akrylamidu w żywności. Na podstawie wyników badań w latach 2007-2009 Komisja wydała w styczniu 2011 r. zalecenie w sprawie „wartości wskaźnikowych” zawartości akrylamidu w żywności, która jest największym źródłem akrylamidu w diecie. Wartości te nie stanowią progów bezpieczeństwa. Jeżeli zostały przekroczone, mają wskazywać na potrzebę dochodzenia, czy zostały podjęte odpowiednie środki, aby ograniczyć zawartość AA w tych produktach (Zalecenie Komisji 2010/307/EU). W ten sposób ryzyko związane z narażeniem na akrylamid obecny w żywności powinno być kontrolowane i regulowane. Aktualne „wartości wskaźnikowe” ustanowiono w zaleceniu Komisji z 2013 r. (Zalecenie Komisji 2013/647/UE). Wartości odniesienia zalecane w 2011 r. (Zalecenie Komisji 2010/307/UE) obniżono, ponieważ w monitoringu wykazano zmniejszenie zawartości akrylamidu w niektórych kategoriach żywności (WE, 2011; EFSA, 2012; Mojska, 2016).

Do tej pory opracowano wiele różnych strategii redukcji zawartości akrylamidu w żywności, opisanych w „Toolbox”. „Toolbox” zawiera informacje o różnych sposobach redukcji AA i dotyczy czterech obszarów: agronomi, receptur, przetwarzania i końcowego przygotowania. Wytyczne są regularnie aktualizowane na podstawie nowych wyników badań

(Food Drink Europe, 2011; Food Drink Europe, 2013; Mojska, 2016; Stadler i Studer, 2016). Jednak, pomimo podjętych w wielu krajach działań, których celem jest obniżenie poziomu akrylamidu w żywności, jego zawartość w produktach spożywczych zmalała nieznacznie, i dotyczy to tylko niektórych kategorii żywności (produktów ziemniaczanych, żywności przetworzonej na bazie zbóż dla niemowląt i małych dzieci). W tym samym czasie zaobserwowano również trend wzrostowy w pozostałych kategoriach żywności (Mojska, 2016), co może świadczyć o nieskuteczności lub nierealizowaniu przez producentów wszystkich proponowanych w „Toolbox” sposobów obniżania poziomu akrylamidu w żywności. Dane te pokazują, jak trudnym do rozwiązania problemem jest zmniejszenie zawartości tego związku w żywności i jak stale aktualny jest problem jego obecności w wielu produktach spożywczych.

Jednym z ważnych aspektów badań dotyczących obecności akrylamidu w żywności są metody jego oznaczania. Metody analizy tego związku sprzed 2002 r. nie były odpowiednie w przypadku produktów spożywczych, co spowodowało konieczność opracowania wiarygodnej, niedrogiej i prostej procedury jego oznaczania. Obecnie do oznaczania zawartości akrylamidu w żywności stosuje się głównie dwie techniki: chromatografii gazowej (GC) i chromatografii cieczowej (LC), obie sprzężone ze spektrometrią mas (MS) (Keramat i in., 2011; Tekkeli i in., 2012; Gökmen, 2016; Crews, 2016). Metoda GC-MS stosowana jest do analizy zawartości akrylamidu po jego derywatywacji lub do bezpośredniego oznaczania bez uprzedniej derywatywacji analitu. W pierwszym przypadku derywatywacja jest zasadniczą wadą tej metody, jest to bowiem procedura bardzo czasochłonna i kosztowna. W drugim - ze względu na małą selektywność metody - stosowanie jej, zwłaszcza do analizy próbek o bardzo trudnych matrycach, jest znacznie ograniczone (Keramat i in., 2011; Tekkeli i in., 2012; Gökmen, 2016). Natomiast metoda chromatografii cieczowej sprzężonej ze spektrometrią mas (LC-MS) i w połączeniu z tandemową spektrometrią mas LC-MS/MS umożliwia analizę akrylamidu bez konieczności jego upochodniania (Keramat i in., 2011; Tekkeli i in., 2012; Crews, 2016). Jednak ze względu na wysoki koszt spektrometru mas (MS) do technik GC i LC, były uzasadnione dalsze badania w celu opracowania wiarygodnych, wrażliwych, szybkich i jednocześnie ekonomicznych metod analitycznych do oznaczania akrylamidu, w tym GC i LC, ale bez korzystania z MS. W ostatnich latach opracowano kilka tego typu metod, np. GC z detektorem ECD (detektor wychwyty elektronów) lub micro-ECD (wersja mikro), LC z detektorem spektrofotometrycznym UV lub DAD (detektor z ławeczką fotodiodową) (Zhang i in., 2005; Geng i in., 2008; Keramat i in., 2011; Tekkeli i in., 2012). Cześć z nich wykazuje jednak różnego typu ograniczenia w rutynowym stosowaniu do

analizy akrylamidu w szerokiej gamie produktów spożywczych. Dlatego też dalsze badania nad tanimi, prostymi i niezawodnymi metodami, będącymi alternatywą dla kosztownych i skomplikowanych metod oznaczania akrylamidu, są nadal niezbędne.

Badania nad zawartością akrylamidu w żywności rozpoczęłam w 2005 r., 3 lata po pierwszych doniesieniach o obecności tego związku w żywności. Były to jedne z pierwszych badań w tym zakresie w Polsce. Część wyników opisano w publikacjach stanowiących Osiągnięcie, pozostałe przedstawiono w innych publikacjach i w monografiach oraz prezentowano w formie referatów, komunikatów i doniesień naukowych na konferencjach krajowych i międzynarodowych.

Ze względu na to, że jednym z problemów związanych z obecnością akrylamidu w żywności jest opracowanie wiarygodnych, wrażliwych, szybkich i ekonomicznych metod analitycznych, w tym również metod chromatograficznych do oznaczania akrylamidu bez korzystania z MS, badania, których wyniki zamieszczono w jednej z publikacji wchodzących w skład Osiągnięcia (Załącznik 2, punkt 4.B: 2), dotyczą tej problematyki.

Szczególnie wysoki poziom akrylamidu stwierdzono w żywności wysoko przetworzonej, gotowej do spożycia po obróbce termicznej w domu. W ostatnich latach zmiana stylu życia konsumentów spowodowała wzrost zainteresowania żywnością wstępnie przygotowaną. Uważa się, że nawet ok. 50% pobrania akrylamidu z żywności może pochodzić z potraw gotowych do spożycia po podgrzaniu w domu i/lub przygotowywanych w domu (Dybing i in., 2005; Skog i in., 2008; Anese i in., 2009). Jednak informacje dotyczące narażenia na akrylamid z tego źródła są znacznie ograniczone. Należy więc lepiej poznać domowe metody ogrzewania i ich wpływ na tworzenie się akrylamidu w żywności, m.in. również w celu gromadzenia danych naukowych dla krajowych i europejskich organów administracji ds. bezpieczeństwa żywności na temat poziomu akrylamidu powstającego podczas domowego ogrzewania żywności. Wyniki badań mogą stanowić podstawę do opracowania porad dotyczących zdrowego przygotowania dań w gospodarstwach domowych, restauracjach i firmach cateringowych. Dlatego też badania, których wyniki zamieszczono w dwóch publikacjach wchodzących w skład Osiągnięcia (Załącznik 2, punkt 4.B: 1, 4), dotyczą tej problematyki.

Kolejny obszar badań dotyczył oceny możliwości wykorzystania stopnia brązowienia powierzchni żywności do prostej i szybkiej kontroli obecności akrylamidu. Analiza bowiem zawartości AA w żywności z zastosowaniem metod chromatograficznych jest kosztowna i czasochłonna. Ocena stopnia brązowienia może więc być tanim i prostym w użytkowaniu środkiem weryfikacji zawartości akrylamidu w produkcie spożywczym (Pedreschi i in., 2006;

Koh, 2007; Mestdagh i in., 2008; Capuano i in., 2009; Romani i in., 2009; Serpen i Gökmen, 2009). To właśnie stanowiło przesłankę do podjęcia przeze mnie tej problematyki. Badania, których wyniki zamieszczono w jednej z publikacji wchodzących w skład Osiągnięcia (Załącznik 2, punkt 4.B: 4), dotyczą tej problematyki.

Z doniesień wynika, że akrylamid może być niestabilnym związkiem w żywności, jednak opublikowano na ten temat niewiele badań, a ich rezultaty są często niejednoznaczne. Część autorów podaje, że zawartość netto akrylamidu w finalnych produktach spożywczych może być wynikiem złożonych reakcji prowadzących zarówno do tworzenia, jak i degradacji tego związku. Typ reakcji odpowiadających za degradację akrylamidu jest niejasny (Hoenicke i Gatermann, 2004; Hoenicke i Gatermann, 2005; Mustafa, 2008). To skłoniło mnie do podjęcia tej problematyki. Badania, których wyniki opisano w jednej z publikacji wchodzących w skład Osiągnięcia (Załącznik 2, punkt 4.B: 3), dotyczą oceny wpływu warunków przechowywania żywności na stabilność akrylamidu.

Cel naukowy

Celem badań było określenie wpływu wybranych domowych metod ogrzewania oraz warunków przechowywania żywności przetworzonej na zawartość akrylamidu z zastosowaniem metody chromatografii par jonowych RP-HPLC-DAD i pomiaru barwy.

Cele szczegółowe badań:

- Opracowanie prostej, szybkiej, wiarygodnej, ekonomicznej metody oznaczania zawartości akrylamidu w żywności, w tym o trudnych matrycach, łatwej do wprowadzenia w laboratoriach analitycznych jako alternatywne rozwiązanie dla tradycyjnie stosowanych metod analizy AA w żywności;
- Określenie wpływu wybranych metod domowej obróbki cieplnej żywności przetworzonej na zawartość akrylamidu;
- Ocena zastosowania jednego ze wskaźników cieplnych, jakim jest stopień brązowienia powierzchni produktu, do prostej i szybkiej kontroli poziomu akrylamidu w przetworzonych produktach spożywczych gotowych do spożycia po obróbce cieplnej różnymi metodami domowymi;
- Określenie wpływu czasu i temperatury przechowywania żywności przetworzonej na zawartość akrylamidu.

Wyniki i wnioski

Metoda chromatografii par jonowych RP-HPLC-DAD jako alternatywne rozwiązanie dla tradycyjnie stosowanych metod analizy AA w żywności (Załącznik 2, punkt 4.B: 2)

W pracy zaproponowano metodę chromatografii par jonowych RP-HPLC-DAD do oznaczania akrylamidu w żywności. Metodę z powodzeniem zastosowano do oznaczania akrylamidu w czterech grupach produktów dla dzieci na bazie zbóż, o stosunkowo niewielkiej zawartości AA i o trudnych matrycach, zawierających w swoim składzie m.in. kakao, czekoladę, karmel, miód, suszone owoce, proszek mleczny i in. W kaszkach dla dzieci w postaci gotowej do spożycia, w kaszkach instant, w słodkich batonikach i ciasteczkach oznaczony poziom tego związku wynosił odpowiednio 10,8-15,7 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 19,2-59,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 39,0-61,2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ i 13,3-49,5 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

W badaniach zoptymalizowano rozdział chromatograficzny akrylamidu. W pierwszym etapie testowano trzy różne kolumny chromatograficzne. Najlepszą kolumną okazała się Synergie Hydro-RP 80A 4 μm 250 x 4.6 mm (Phenomenex Torrance, CA, USA), otrzymano bowiem dobry rozdział chromatograficzny o czasie retencji akrylamidu ok. 8-9 minut. Ponadto, uzyskano zadowalający symetryczny pik oznaczanego analitu. Badano również 6 różnych faz ruchomych. Ze względu na najlepszą stabilność bazową rozdziałów i najniższy poziom szumów tła oraz satysfakcjonujący rozdział analitu od hydrofobowych związków interferujących obecnych w próbce, za optymalną fazę ruchomą uznano 5 mM sulfonian heptanu sodu w mieszaninie woda/acetonitryl (97/3, v/v). Zastosowanie chromatografii par jonowych z użyciem eluentu z dodatkiem sulfonianu heptanu sodu umożliwiło bardzo dobrą separację piku akrylamidu i znacznie skróciło czas retencji tego związku. Znacznie skrócił się również czas całkowitego rozdziału próbki (30 min), co jest bardzo istotne ze względów ekonomicznych (mniejsze zużycie eluentu) i oszczędności czasu w analizach chromatograficznych. Należy podkreślić, że rozwiązanie to jest zupełną nowością, znacznie poprawia jakość i czas rozdziału, i nie było stosowane wcześniej w innych rozdziałach chromatograficznych opisywanych w literaturze. Ponadto w badaniach dobrano optymalną temperaturę rozdziału chromatograficznego (25°C) i ustawienia detektora spektrofotometrycznego z matrycą fotodiod DAD ($\lambda = 200 \text{ nm}$).

Opracowano również stosunkowo prostą i szybką metodę przygotowania próbek do analizy chromatograficznej. Testowano 6 różnych procedur przygotowania próbek. Procedury różniły się zastosowanymi rozpuszczalnikami do ekstrakcji akrylamidu z matrycy produktów (rodzajem i udziałem procentowym w mieszaninach), warunkami ekstrakcji (czasem,

temperaturą) oraz sposobami oczyszczania uzyskanych ekstraktów analitu. Etap oczyszczania jest niezbędny w celu pozbycia się związków koloidalnych i tłuszczowych z ekstraktów, gdyż substancje te dają interferujące piki na chromatogramach podczas rozdzału. W badaniach ustalono, że najlepszy sposób przygotowania próbek przed analizą obejmuje: ekstrakcję akrylamidu za pomocą 80% metanolu w wodzie (najmniej związków interferujących w próbce, wysoki odzysk analitu), oczyszczanie ekstraktów przez odtłuszczanie heksanem, wymrażanie, odwirowanie w celu zestalenia i wytrącenia hydrofobowych zanieczyszczeń z supernatantu oraz następnie dodatkowe oczyszczenie supernatantu metodą ekstrakcji do fazy stałej (SPE) z zastosowaniem kolumnienek Oasis® HLB (6 mL, 200 mg) firmy Waters (Milford, MA, USA).

Ponadto zastosowanie w badaniach metody chromatografii cieczowej sprzężonej ze spektrometrią mas (LC/MS) umożliwiło potwierdzenie właściwej identyfikacji piku akrylamidu rozdzielanego za pomocą techniki chromatografii par jonowych RP-HPLC-DAD. Dodatkowo te same próbki żywności poddano analizie za pomocą chromatografii par jonowych RP-HPLC-DAD i metodą LC/MS, uzyskując porównywalne wyniki oznaczania ($R^2=0,9978$). Metodę poddano również standardowemu procesowi walidacji, wykazując, że spełnia wymagania stawiane metodom analitycznym określone w dyrektywie Unii Europejskiej (Dyrektywa 2002/657/WE, 2002).

Podsumowując wyniki oceny opracowanej metody, stwierdzono, że metoda chromatografii par jonowych RP-HPLC-DAD jest wiarygodną, szybką, niezawodną i ekonomiczną alternatywą dla technik GC/MS, LC/MS i LC-MS/MS, i może być łatwo wprowadzona w laboratoriach analitycznych. Ponadto należy podkreślić, że inne metody alternatywne dla technik opartych na detekcji MS, opisywane w literaturze, charakteryzują się na ogół bardziej czasochłonną i skomplikowaną procedurą przygotowania próbek niż opracowana metoda. Jest to np. długi i wieloetapowy proces oczyszczania analitu, występowanie etapów krytycznych, jak np. usuwanie rozpuszczalnika po ekstrakcji przez odparowanie za pomocą wyparki lub w strumieniu azotu, co często generuje straty akrylamidu i jest powodem niskiego odzysku. Część z metod opisywanych w literaturze charakteryzuje się też niższym od niniejszej metody poziomem i zakresem liniowości, gorszą powtarzalnością czy stopniem odzysku. Niektóre z przedstawianych w publikacjach metod są również mniej ekonomiczne ze względu na długi czas retencji akrylamidu i długi całkowity czas rozdzału próbki (większe zużycie fazy ruchomej). Ponadto wiele z metod charakteryzuje się niewystarczającą granicą wykrywalności i oznaczalności lub nie nadaje się do analizy próbek o trudnych matrycach (Zhang i in., 2005; Geng i in., 2008; Tekkeli i in., 2012).

Z powyższych względów opracowana metoda chromatografii par jonowych RP-HPLC-DAD wydaje się być znacznie lepszym rozwiązaniem, pozbawionym ww. wad i ograniczeń.

Opracowaną metodę, ze względu na jej wysoką czułość i selektywność, można z powodzeniem stosować do analizy akrylamidu w wielu produktach spożywczych, co wykazano, wykorzystując ją w badaniach zawartości akrylamidu w produktach, takich jak: pieczywo miękkie i chrupkie, płatki śniadaniowe, pierniki, chipsy ziemniaczane, puree ziemniaczane, frytki, a także piwo, kakao, czekolada, kremy czekoladowe, kawa i inne. Wyniki tych badań opublikowano w pozostałych publikacjach wchodzących w skład Osiągnięcia oraz innych. Ze względu na dłuższy cykl wydawniczy wyniki badań dotyczących opracowania metody chromatografii par jonowych RP-HPLC-DAD do oznaczania akrylamidu opublikowano później (Załącznik 2, wykaz punkt 4.B:2) niż wyniki badań zamieszczonych w pierwszej publikacji (Załącznik 2, wykaz punkt 4.B:1) wchodzącej również w skład Osiągnięcia.

Przedstawione powyżej wyniki opisano w publikacji:

Michalak J., Gujska E., Kuncewicz A. 2013. RP-HPLC-DAD studies on acrylamide in cereal-based baby foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, 32, 68-73.

Wpływ wybranych metod domowej obróbki cieplnej żywności przetworzonej na zawartość akrylamidu (Załącznik 2, punkt 4.B: 1, 4)

W doświadczeniu 1 oceniano wpływ różnych metod domowej obróbki termicznej na zawartość akrylamidu w daniach ziemniaczanych gotowych do spożycia po obróbce cieplnej. Badano 3 rodzaje mrożonych frytek ziemniaczanych (karbowanych, prostych cienko i grubo ciętych) pochodzących od różnych producentów (14 różnych produktów) i inne mrożone produkty ziemniaczane, takie jak kuleczki, kostki, kliny i placki ziemniaczane (12 różnych produktów). Produkty ogrzewano czterema metodami: smażenie na patelni, smażenie we frytkownicy na głębokim tłuszczu (3 min, temp. 180°C), pieczenie w piekarniku (10 min, temp. 220°C), ogrzewanie mikrofalowe (10 min, temp. 220°C) w trybie kombinacyjnym – średnio wysoki poziom mocy mikrofal (700 W) i średni poziom mocy grilla. W celu osiągnięcia przez produkty gotowości konsumpcyjnej parametry ogrzewania dobrano na podstawie informacji podanej na opakowaniach. W każdym z produktów oznaczano zawartość akrylamidu przed i po obróbce termicznej.

Stwierdzono obecność akrylamidu we wszystkich produktach przed domową obróbką termiczną. Średnia zawartość tego związku we wszystkich produktach wynosiła 322 µg/kg, i w przypadku frytek (416 µg/kg) była statystycznie istotnie wyższa niż w innych produktach

ziemniaczanych (252 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Stwierdzony na ogół wysoki poziom akrylamidu jeszcze przed obróbką domową prawdopodobnie był spowodowany wstępnym ogrzewaniem produktów. Obserwacje te pozwoliły stwierdzić, że w celu zmniejszenia zawartości AA w gotowych do spożycia mrożonych produktach ziemniaczanych, krajowi producenci powinni dołożyć wszelkich starań, aby zoptymalizować proces produkcyjny. W badaniach wskazano na konieczność stosowania przez producentów łagodniejszych parametrów obróbki termicznej, takich jak temperatura i czas, a także doboru odpowiedniej jakości surowców. Producenci powinni brać pod uwagę przede wszystkim zawartość w surowcach prekursorów łatwo wchodzących w reakcje umożliwiające tworzenie się akrylamidu i ograniczyć stosowanie takich surowców. Najogólniej, przemysł spożywczy powinien podjąć wszelkie dostępne działania rekomendowane w „Toolbox” w celu zmniejszenia zawartości akrylamidu w produktach ziemniaczanych.

Po ogrzewaniu we wszystkich produktach stwierdzono istotnie wyższą zawartość akrylamidu niż przed obróbką termiczną. Większy wzrost zawartości akrylamidu we wszystkich produktach, średnio do 678 $\mu\text{g}/\text{kg}$, stwierdzono po ogrzewaniu w wyższej temperaturze (220°C) i przez dłuższy czas (10 min), w porównaniu z produktami ogrzewanymi w temp. 180°C przez 3 min (średnio do 482 $\mu\text{g}/\text{kg}$). W badaniach nie wykazano istotnych różnic w zawartości akrylamidu w produktach poddanych smażeniu na patelni i w głębokim tłuszczu. Ponadto przypuszczalnie ze względu na łagodniejsze parametry cieplne zastosowane w obu metodach smażenia, we wszystkich smażonych produktach ziemniaczanych wykazano niższą zawartość akrylamidu w porównaniu z produktami poddanymi pieczeniu i ogrzewaniu w kuchence mikrofalowej. Wyniki te mogą sugerować, że na tworzenie się akrylamidu większy wpływ mają parametry obróbki termicznej, takie jak czas i temperatura, niż sposób ogrzewania. Najwyższą zawartość akrylamidu oznaczono we frytkach (790 $\mu\text{g}/\text{kg}$) i innych produktach z ziemniaka (676 $\mu\text{g}/\text{kg}$) po ogrzewaniu w kuchence mikrofalowej. Średnia zawartość tego związku we wszystkich próbkach ogrzewanym tą metodą wynosiła 725 $\mu\text{g}/\text{kg}$ i była istotnie wyższa niż zawartość akrylamidu w tych produktach pieczonych w piekarniku (630 $\mu\text{g}/\text{kg}$), przy czym w obu urządzeniach grzewczych przyjęto takie same wartości parametrów termicznych (czasu i temperatury ogrzewania), które osiągnięto różnymi metodami. Wyniki te dowodzą, że nie tylko temperatura i czas ogrzewania są ważnymi czynnikami wpływającymi na tworzenie się akrylamidu ale także sposób przenoszenia ciepła. Wskazują również na silniejsze oddziaływanie ogrzewania w kuchence mikrofalowej na produkt niż ogrzewania z zastosowaniem metod tradycyjnych.

Podsumowując, można stwierdzić, że w porównaniu z konwencjonalnymi metodami przenoszenia ciepła, takimi jak smażenie czy pieczenie, ogrzewanie mikrofalowe może bardziej sprzyjać tworzeniu się akrylamidu w produktach ziemniaczanych. Podczas ogrzewania konwencjonalnego transfer ciepła do produktu odbywa się głównie przez konwekcję i przewodzenie lub promieniowanie. Mikrofałe powodują szybki wzrost temperatury w żywności ze względu na ich zdolność do wytwarzania energii cieplnej wewnątrz produktu, bez konieczności stosowania jakiegokolwiek medium jako nośnika wymiany ciepła. W przeciwieństwie do ogrzewania konwencjonalnego, żywność nie pochłania ciepła z otoczenia, lecz sama je generuje (Zhang i in., 2008; Łopacka i in., 2015). Specyficzny efekt ogrzewania mikrofalowego wynika prawdopodobnie z tego, że pole elektromagnetyczne działa bezpośrednio na polarne cząsteczki w żywności, powodując obrót i osłabienie lub uwolnienie wiązań chemicznych, co skutkuje zmniejszeniem energii reakcji i przyspieszeniem reakcji chemicznych między cząsteczkami żywności. Prawdopodobnie z tego względu ogrzewanie mikrofalowe może wpływać na wzrost zawartości akrylamidu w żywności w porównaniu z ogrzewaniem konwencjonalnym. Do podobnych wniosków doszli również Yuan i in. (2007), Zhang i in. (2008) oraz Ye i in. (2011). W związku z tym należy rozważyć ograniczenie używania ogrzewania mikrofalowego do obróbki cieplnej wysokowęglowodanowej żywności. Ponadto wydaje się również, że konsument często nie zna rzeczywistej temperatury ogrzewania w domowym urządzeniu grzewczym, która może się różnić od temperatury nastawionej. Ze względu na to, że temperatura i czas ogrzewania żywności są ważnymi czynnikami mającymi wpływ na końcową zawartość tego toksycznego związku, parametry termiczne podczas pieczenia, smażenia oraz ogrzewania w kuchence mikrofalowej powinny być kontrolowane i zmniejszane jak to tylko jest możliwe.

W doświadczeniu 2 oceniano także wpływ różnych metod domowej obróbki termicznej na zawartość akrylamidu w żywności przetworzonej gotowej do spożycia po podgrzaniu, takiej jak krokiety na bazie mąki z nadzieniem mięsny. Produkty pochodziły od różnych producentów i były pakowane w atmosferze modyfikowanej. Wszystkie krokiety miały zbliżone rozmiary, skład pod względem zawartości białka, tłuszczu, cukrów, asparaginy i podobną wartość energetyczną. Produkty ogrzewano metodami domowymi zgodnie z informacjami na etykietach. Było to smażenie na patelni (5 min, temp. 180°C), smażenie we frytkownicy na głębokim tłuszczu (5 min, temp. 180°C), pieczenie w piekarniku (10 min, temp. 200°C) oraz ogrzewanie w kuchence mikrofalowej (10 min, temp. 200°C) w trybie kombinacyjnym - średnio wysoki poziom mocy mikrofały (700 W) i niski poziom mocy grilla. W każdym z produktów oznaczano zawartość akrylamidu przed i po domowej

obróbce termicznej. Przed ogrzewaniem we wszystkich krokietach wykazano średnią zawartość akrylamidu, tj. 190 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Najwyższą zawartość tego toksycznego związku, podobnie jak w doświadczeniu 1, stwierdzono w produktach ogrzewanych w kuchence mikrofalowej. Średnia zawartość akrylamidu we wszystkich produktach ogrzewanych w ten sposób była istotnie wyższa (420 $\mu\text{g}/\text{kg}$) niż w krokietach pieczonych (360 $\mu\text{g}/\text{kg}$), smażonych w głębokim tłuszczu (298 $\mu\text{g}/\text{kg}$) i na patelni (285 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Badanie potwierdziło, że sposób, w jaki ciepło przenoszone jest do żywności, wydaje się mieć znaczący wpływ na szybkość tworzenia się AA oraz że ogrzewanie mikrofalowe może powodować bardziej intensywne powstawanie akrylamidu w produktach niż konwencjonalna obróbka termiczna żywności.

Fale elektromagnetyczne (mikrofale) używane są od lat czterdziestych XX wieku. Ich zastosowanie ma bardzo szeroki zakres, ale to przemysł spożywczy jest największym „konsumentem” energii mikrofalowej, która znalazła zastosowanie w takich procesach, jak blanszowanie, gotowanie, rozmrażanie, pasteryzacja, sterylizacja, pieczenie, odgrzewanie i wytapianie tłuszczów (Oziemblowski i in., 2016). Kuchenki mikrofalowe są powszechnie stosowane w codziennym życiu do szybkiego ogrzewania żywności, w szczególności tzw. żywności wygodnej. Jednocześnie stosunkowo niedużo jest informacji na temat reakcji i interakcji między składnikami żywności pod wpływem działania mikrofal. Zdefiniowanie skutków działania mikrofal na żywność sprawia wiele trudności i prowadzi często do różnych wniosków. Badania niektórych autorów wskazują, że pod wpływem ogrzewania mikrofalowego może tworzyć się więcej akrylamidu w porównaniu z konwencjonalnymi metodami ogrzewania (Takatsuki i in., 2004; Yuan i in., 2007; Zhang i in., 2008; Ye i in., 2011). Jednak inni badacze nie wykazali tworzenia się akrylamidu w żywności w warunkach ogrzewania mikrofalowego (Burch, 2007; Barutcu i in., 2009; Anese i in., 2013). Niektórzy autorzy donoszą również, że krótka ekspozycja na mikrofale (blanszowanie i rozmrażanie) może nawet ograniczać tworzenie się akrylamidu podczas końcowej obróbki cieplnej (Erdođdu i in., 2007). Wydaje się, że podzielone poglądy na temat wpływu ogrzewania mikrofalowego na tworzenie się akrylamidu w żywności mogą wynikać głównie z różnic w parametrach ogrzewania mikrofalowego (poziomu mocy mikrofal, czasu ogrzewania) stosowanych w różnych badaniach, a także składu chemicznego i rodzaju ogrzewanej żywności, w tym poziomu aktywności wody. To polarne cząsteczki składników żywności, w tym cząsteczki wody, poddawane są intensywnemu działaniu pola elektromagnetycznego, co skutkuje wytworzeniem energii cieplnej wewnątrz produktu i wzrostem jego temperatury, ale też przyspieszeniem reakcji między składnikami żywności. O rodzaju i stopniu natężenia

interakcji między związkami w dużej mierze decyduje prawdopodobnie natężenie pola, jego częstotliwość, rodzaj fal, modulacja oraz czas ekspozycji. Przypuszczenia te potwierdzili również w badaniach Yuan i in. (2007), którzy wykazali, że moc mikrofal ma istotny wpływ na tworzenie akrylamidu. Im większa moc podczas ogrzewania mikrofalowego, tym więcej tworzy się akrylamidu.

Prowadzone w ostatnich latach badania dostarczają coraz więcej dowodów na specyficzne oddziaływanie mikrofal np. na biologiczne struktury komórek drobnoustrojów, co do tej pory często odczytywano jako skutki czynnika termicznego. Dlatego też wydaje się, że zmiany zachodzące w żywności pod wpływem ogrzewania mikrofalowego, w tym tworzenie się akrylamidu, nie powinny być odczytywane tylko jako skutki czynnika termicznego, ale również innych czynników, które powodują intensyfikację przemian w żywności. Mechanizm tych reakcji nie jest jasny, dlatego dalsze badania są konieczne w celu lepszego poznania tworzenia się akrylamidu podczas ogrzewania mikrofalowego. Jest to istotne, ponieważ wydaje się, że ogrzewanie mikrofalowe w najbliższych latach będzie coraz bardziej powszechnym sposobem przygotowania żywności ze względu na łatwość i szybkość obróbki cieplnej oraz coraz bardziej szeroką ofertę tzw. żywności wygodnej przeznaczonej do kuchenek mikrofalowych. W związku z tym istnieje konieczność jednoznacznego stwierdzenia, czy wysoka zawartość akrylamidu w żywności po ogrzewaniu mikrofalowym spowodowana jest również oddziaływaniem mikrofal, czy wyłącznie wysokiej temperatury.

Przedstawione powyżej wyniki z doświadczenia 1 opisano w publikacji:

Michalak J., Gujska E., Klepacka J. 2011. The effect of domestic preparation of some potato products on acrylamide content. *Plant Foods for Human Nutrition*, 66(4), 307-312.

Przedstawione powyżej wyniki z doświadczenia 2 opisano w publikacji:

Michalak J., Gujska E., Czarnowska-Kujawska M., Nowak F. 2017. Effect of different home-cooking methods on acrylamide formation in pre-prepared croquettes, *Journal of Food Composition and Analysis*, 56, 134-139.

Zastosowanie pomiaru barwy produktu do szybkiej oceny poziomu AA w przetworzonych produktach spożywczych po obróbce termicznej różnymi metodami domowymi (Załącznik 2, punkt 4.B: 4)

Główny szlak tworzenia się akrylamidu w żywności to reakcje Maillarda, uważane za zjawisko powierzchniowe. Przemiany te dotyczą przede wszystkim powierzchniowej warstwy żywności i prowadzą m.in. do brązowienia powierzchni produktu (Lingnert i in., 2002; Gökmen i in., 2006; Romani i in., 2009; Matthäus i Haase, 2014). Pomiar barwy można

stosować bezpośrednio do oceny zawartości związków barwnych w żywności, ponieważ jest on łatwiejszy i szybszy niż analizy chemiczne. Pomiar barwy wyrażany ilościowo znalazł także zastosowanie jako wskaźnik obciążenia cieplnego różnych produktów (Rufián-Henares i in., 2006; Quintas i in., 2007; Mestdagh i in., 2008).

Z tego względu, że akrylamid jest szkodliwym związkiem tworzącym się w reakcjach Maillarda i oznaczanie jego zawartości jest związane ze skomplikowaną procedurą analityczną oraz wymaga drogiego sprzętu laboratoryjnego, zasadne wydaje się poszukiwanie narzędzi i metod do szybkiej i ekonomicznej oceny jego poziomu w żywności. Takim narzędziem wydaje się być pomiar barwy. Jednak informacje na temat zależności między brązowaniem produktów a zawartością akrylamidu są bardzo zróżnicowane. Niektórzy badacze podają, że ogrzewanie żywności w wysokiej temperaturze przez dłuższy czas powoduje duży wzrost zawartości AA, bez istotnej zmiany parametrów barwy lub struktury produktu (Anese i in., 2009). Inne badania wykazały natomiast, że ogrzewanie w temperaturze powyżej 200°C może skutkować niższą zawartością akrylamidu i ciemniejszą barwą produktu w porównaniu z produktami ogrzewanymi w temperaturze niższej niż 200°C (Şenyuva i Gökmen, 2005; Gökmen i in., 2007; Alves i in., 2010; Mojska i Gielecińska, 2013). Prawdopodobnie więc akrylamid nie jest stabilnym związkiem, a długotrwałe ogrzewanie żywności w bardzo wysokiej temperaturze może powodować, oprócz tworzenia się akrylamidu, również jego częściową degradację i jednocześnie wzrost brązowania powierzchni produktu. Doskonałym przykładem może być zawartość akrylamidu w kawie palonej. Wykazano bowiem, że kawa ciemno palona o znacznie ciemniejszej barwie ma niższą zawartość akrylamidu niż kawa jasno i średnio palona (Mojska i Gielecińska, 2013). Zawartość akrylamidu w żywności jest często definiowana jako zawartość netto, tzn. finalna zawartość w produkcie po utworzeniu i degradacji. Jednak niewiele jest danych dotyczących tych przemian. Typ reakcji odpowiedzialny za degradację jest wciąż nieznan i uważa się, że reakcje te mogą być odmienne w różnych produktach (Delatour i in., 2004; Hoenicke i Gatermann, 2004; Hoenicke i Gatermann, 2005; Mustafa, 2008; Keramat i in., 2011). Część autorów uważa więc, że brązowanie nie może być jedynym czynnikiem prognostycznym do oceny zawartości akrylamidu w żywności (Anese i in., 2009; Alves i in., 2010; Mojska i Gielecińska, 2013). Inni badacze łączą intensywność brązowania powierzchni produktu z zawartością AA w wielu produktach spożywczych, takich jak smażone ziemniaki, pieczywo, w tym pieczywo chrupkie, kawa, ciastka (Surdyk i in., 2004; Mustafa i in., 2005; Pedreschi i in., 2006; Gökmen i in., 2008; Romani i in., 2009; Serpen i Gökmen, 2009; Gökmen i Mogol, 2010). Według niektórych autorów stopień brązowania żywności może

być wskaźnikiem zawartości akrylamidu podczas przetwarzania żywności (Ahrné i in., 2007; Mestdagh i in., 2008; Capuano i in., 2009).

Dlatego też w pracy dotyczącej wpływu różnych metod domowej obróbki termicznej krokietów z mięsem na zawartość akrylamidu badano zależność między barwą powierzchni produktów a zawartością akrylamidu. Celem badań była ocena przydatności pomiaru barwy do przewidywania potencjalnej zawartości akrylamidu w żywności po obróbce termicznej różnymi metodami. W celu uzyskania obiektywnej oceny barwę powierzchni produktów mierzono z użyciem kolorymetru MiniScan EZ (HunterLab, Niemcy) w jednostkach CIE $L^*a^*b^*$, gdzie L^* to natężenie jasności, dodatnie a^* - natężenie koloru czerwonego, ujemne a^* - natężenie koloru zielonego, dodatnie b^* - natężenie koloru żółtego i ujemne b^* - natężenie koloru niebieskiego. Na podstawie wyników pomiarów barwy krokietów przed i po domowej obróbce termicznej różnymi metodami obliczono różnicę barwy (ΔE^*).

Konwencjonalne metody ogrzewania krokietów (smażenie na patelni, smażenie we frytkownicy, pieczenie w piekarniku) powodowały znaczny wzrost brązowienia krokietów. Analiza statystyczna wykazała, że zawartość akrylamidu w krokietach po obróbce cieplnej z wykorzystaniem wszystkich konwencjonalnych sposobów ogrzewania była istotnie liniowo skorelowana ($R=0,889$) z różnicą barwy (ΔE^*). Najwyższą zawartość AA stwierdzono w produktach poddanych ogrzewaniu w kuchence mikrofalowej. Jednocześnie wykazano najmniejszy wzrost brązowienia ich powierzchni. Obliczona różnica barwy (ΔE^*) w przypadku krokietów ogrzewanych mikrofalowo była niższa niż (ΔE^*) krokietów ogrzewanych konwencjonalnie. Badania wykazały, że pomiar barwy powierzchni produktu może być dobrym sposobem szacowania poziomu akrylamidu w produktach ogrzewanych metodami konwencjonalnymi i może być stosowany w praktyce do oceny zawartości AA w żywności ogrzewanej metodami konwencjonalnymi w lokalach gastronomicznych lub w domu z użyciem kolorymetrów barwy, lub za pomocą badania wzrokowego. Konsumentom powinni więc przestrzegać zasady, aby ogrzewać żywność do złotego koloru i nie dopuszczać do nadmiernego brązowienia powierzchni ogrzewanych produktów. Natomiast w przypadku ogrzewania mikrofalowego, wydaje się, że pomiar barwy powierzchni produktu nie może być sposobem szacowania poziomu akrylamidu.

Według niektórych autorów, powietrze w kuchenkach mikrofalowych nie jest ogrzewane w odróżnieniu do pieców konwekcyjnych, więc nie może powodować brązowienia powierzchni produktów spożywczych i tworzenia się akrylamidu. Powierzchnia żywności ogrzewanej mikrofalowo pozostaje wilgotna, a rozwój skórki, smaku, koloru i jednocześnie

tworzenie się akrylamidu są ograniczone (Barutcu i in., 2009; Anese i in., 2013). Chociaż brązowienie powierzchni jest zjawiskiem typowym dla pieczonej i smażonej żywności, i koreluje z poziomem akrylamidu, z moich badań wynika, że ogrzewanie w kuchence mikrofalowej nie powodujące większego wzrostu brązowienia żywności, może powodować intensywniejsze tworzenie się akrylamidu niż ogrzewanie konwencjonalne. Podobne wyniki prezentują również niektórzy autorzy (Takatsuki i in., 2004; Yuan i in., 2007; Zhang i in., 2008; Ye i in., 2011). Jednocześnie Rydberg i in. (2005) oraz Fernandez i in. (2011) podają, że ogrzewanie mikrofalowe sprzyja procesowi pirolizy. Skłania to do stwierdzenia, że prawdopodobnie, w odróżnieniu do metod konwencjonalnych, ogrzewanie mikrofalowe może generować tworzenie się akrylamidu, w znacznej mierze w wyniku intensywnej jednoczesnej pirolizy asparaginy i dikarbonylowych oraz hydroksykarbonylowych aktywnych prekursorów tworzenia się akrylamidu w reakcjach Maillarda. Im bardziej zaawansowana piroliza, tym większa zawartość akrylamidu w produktach ogrzewanych mikrofalowo. Intensywność procesu pirolizy związana jest prawdopodobnie z wcześniej wymienianymi już czynnikami, m.in. mocą mikrofal.

W innych badaniach wykazano, że tworzenie się akrylamidu jest reakcją powierzchniową i ponad 99% AA tworzy się w powierzchniowej warstwie żywności ogrzewanej metodami konwencjonalnymi, np. po pieczeniu w skórce chleba, a tylko 1% w miększu, wykazując istotną korelację między kolorem powierzchni i zawartością akrylamidu w skórce (Surdyk i in., 2004). Skłania to do stwierdzenia, że najprawdopodobniej w odróżnieniu od ogrzewania konwencjonalnego, ogrzewanie mikrofalowe może powodować tworzenie się akrylamidu w całym produkcie, bez intensywnego jego generowania w warstwie powierzchniowej. Skutkuje to większą zawartością tego toksycznego związku w ogrzewanym produkcie, bez większego wzrostu brązowienia jego powierzchni. Podobnych obserwacji dokonali Erdoğdu i in. (2007). Jak już wspomniano wcześniej, mechanizm tych reakcji nie jest jasny, i dlatego konieczne są dalsze badania w celu lepszego poznania tworzenia się akrylamidu podczas ogrzewania mikrofalowego.

Przedstawione powyżej wyniki opisano w publikacji:

Michalak J., Gujska E., Czarnowska-Kujawska M., Nowak F. 2017. Effect of different home-cooking methods on acrylamide formation in pre-prepared croquettes, *Journal of Food Composition and Analysis*, 56, 134-139.

Wpływu czasu i temperatury przechowywania żywności przetworzonej na zawartość akrylamidu (Załącznik 2, punkt 4.B: 3)

Niektóre przetworzone produkty spożywcze mają długi okres trwałości, dlatego ważne jest poznanie zmian zawartości związków toksycznych podczas przechowywania. W ramach prowadzonych w tym zakresie badań oceniano wpływ czasu i temperatury przechowywania na stabilność akrylamidu (AA) i 5-hydroksymetylofurfuralu (HMF) w wybranych handlowych produktach spożywczych o długim okresie trwałości. Badanie obejmowało 90 produktów spożywczych od różnych producentów, które podzielono na 9 grup: kaszki dla niemowląt w słoikach gotowe do spożycia (10 produktów), kaszki instant (10 produktów), herbatniki dla niemowląt (10 produktów). Głównymi składnikami tych produktów były zboża, mleko w proszku i cukry, w niektórych przypadkach suszone owoce i/lub naturalne owoce i inne składniki. Pozostałe grupy produktów to: 100% kakao w proszku (10 produktów), napoje w proszku zawierające 20% kakao (10 produktów), kawa instant (10 produktów), substytuty kawy o różnym udziale kawy, zawierające cykorię, zboża i inne składniki (10 produktów), pieczywo chrupkie (10 produktów) oraz chleb miękki o dłuższym okresie przechowywania pakowany w atmosferze modyfikowanej (10 produktów). Analizowano produkty świeże i przechowywane w temp. 4°C i 25°C przez 6 i 12 miesięcy. Miękki chleb, ze względu na stosunkowo krótki okres trwałości, był badany po 15 i 30 dniach przechowywania. Produkty były przechowywane w opakowaniach handlowych bez dostępu światła. Wszystkie próbki analizowano przed upływem okresu przydatności do spożycia.

Największy spadek zawartości AA, a jednocześnie największy wzrost zawartości HMF stwierdzono w produktach przechowywanych w wyższej temperaturze (25°C) przez dłuższy czas (12 miesięcy). Analiza statystyczna wyników zawartości HMF i akrylamidu w przechowywanych produktach wykazywała istotną ujemną korelację ($R = -0,74$). Można więc stwierdzić, że podczas przechowywania produktów te dwa parametry (poziom AA i poziom HMF) pozostawały w bezpośrednim związku w odwrotnie proporcjonalnej zależności w czasie. Stwierdzono również, że początkowa aktywność wody na poziomie ok. 0,4 sprzyjała tworzeniu HMF oraz większej redukcji akrylamidu w produktach podczas przechowywania. W produktach o aktywności wody na poziomie ok. 0,4 wykazano większy wzrost zawartości HMF i większy spadek zawartości AA niż w innych produktach o wyższej lub niższej aktywności wody. Poziom dostępności wody w produkcie może być więc jednym z czynników odpowiedzialnym za spadek zawartości AA podczas przechowywania. Ponadto wartość 0,4 może być optymalnym poziomem aktywności wody zarówno do tworzenia akrylamidu w żywności, jak i jego degradacji. Wydaje się więc, że prezentowane w literaturze

niejednoznaczne dane dotyczące zmian zawartości akrylamidu w żywności podczas przechowywania (Delatour i in., 2004; Hoenicke i Gatermann, 2004; Hoenicke i Gatermann, 2005; Mustafa, 2008; Keramat i in., 2011) mogą wynikać m.in. z różnic w poziomie dostępności wody w produktach, które poddawano badaniom.

W badaniach wykazano również, że czas i temperatura przechowywania mają istotny wpływ na stabilność AA w produktach. Akrylamid jest stabilnym związkiem podczas przechowywania żywności w niskiej temperaturze. Natomiast wyższa temperatura i dłuższy czas przechowywania wpływają na zmniejszenie zawartości akrylamidu w produktach. W końcowym okresie przechowywania w temp. 25°C, zawartości akrylamidu w kakao (100% kakao), kaszkach instant dla niemowląt, napojach kakao w proszku (20% kakao), kawach instant była odpowiednio o 51, 39, 35 i 33% niższa niż w produktach przed przechowywaniem. Były to grupy produktów wykazujących największy spadek zawartości akrylamidu podczas przechowywania. W pozostałych grupach produktów redukcja zawartości akrylamidu kształtowała się na poziomie poniżej 30%, natomiast w kaszkach w słoikach dla dzieci wynosiła ok. 15%.

Jak wspomniano wcześniej, podobnie jak w przypadku dłuższego ogrzewania żywności w wysokiej temperaturze, spadek zawartości akrylamidu podczas przechowywania może być prawdopodobnie związany z częściową jego degradacją. Jednak mechanizm tych reakcji pozostaje na razie nieznanym. Różnice w zawartości akrylamidu w poszczególnych produktach podczas przechowywania wskazują, że istotne znaczenie może mieć skład produktów, w tym prawdopodobnie zawartość niektórych związków, które mogą wpływać na dalsze przemiany i mniejszą stabilność AA w matrycy produktu. Badania na ten temat są jednak znacznie ograniczone. Według Hoenicke i Gatermann (2004, 2005), reakcje akrylamidu ze związkami zawierającymi grupy SH, które są obecne przede wszystkim w takich produktach spożywczych, jak kawa i kakao lub mleko w proszku, mogą mieć znaczący wpływ na zmniejszenie zawartości AA podczas przechowywania tych produktów oraz produktów spożywczych z ich dodatkiem. Moje badania wydają się również wskazywać na to, że reaktywność akrylamidu wobec sulfhydrylowych, aminowych i hydroksylowych grup peptydów, białek i melanoidyn obecnych obok AA w żywności, może być odpowiedzialna za zmniejszenie zawartości tego związku w niektórych produktach spożywczych podczas przechowywania. Obserwacje te są ważne, ponieważ mogą pomóc w określeniu składników, których dodawanie do żywności mogłoby przyczynić się do redukcji zawartości akrylamidu.

Przedstawione powyżej wyniki opisano w publikacji:

Michalak J., Gujska E., Czarnowska M., Klepacka J., Nowak F. 2016. Effect of storage on acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural contents in selected processed plant products with long shelf-life. *Plant Foods for Human Nutrition*, 71, 115-122.

Podsumowanie

Badania umożliwiły realizację postawionego celu, a przedstawione w omawianych powyżej publikacjach wyniki wskazują na złożoność zagadnień związanych z zawartością akrylamidu w żywności.

Efektom badań jest:

1. Opracowanie metody chromatografii par jonowych RP-HPLC-DAD, która jest wiarygodną, szybką, niezawodną i ekonomiczną alternatywą dla technik GC/MS, LC/MS i LC-MS/MS. Metoda ta może być z powodzeniem stosowana do oznaczania zawartości akrylamidu w wielu produktach spożywczych, w tym w żywności o trudnych matrycach i o stosunkowo niewielkiej zawartości tego związku.

2. Wykazanie, że sposób przenoszenia ciepła jest ważnym czynnikiem mającym wpływ na tworzenie się akrylamidu, i że ogrzewanie mikrofalowe może powodować intensywniejsze powstawanie AA w produktach niż konwencjonalna obróbka termiczna żywności. Większa zawartość akrylamidu w żywności ogrzewanej mikrofalowo może wynikać z różnic w jego tworzeniu się podczas ogrzewania mikrofalowego i metodami konwencjonalnymi. Zmiany w żywności pod wpływem ogrzewania mikrofalowego, w tym tworzenie się akrylamidu, nie powinny być odczytywane tylko jako skutki czynnika termicznego, ale również innych czynników, które prowadzą do intensyfikacji przemian w żywności. Powstawanie AA podczas działania pola elektromagnetycznego na żywność może być intensyfikowane przez proces pirolizy jego prekursorów. Ponadto w odróżnieniu od tworzenia się akrylamidu pod wpływem ogrzewania konwencjonalnego, wydaje się być bardziej zjawiskiem objętościowym niż powierzchniowym. Efektem tego prawdopodobnie jest duża zawartość AA w całym produkcie, a nie tylko w warstwie powierzchniowej.

3. Wykazanie, że pomiar barwy powierzchni produktu może być dobrym sposobem szacowania zawartości akrylamidu w żywności ogrzewanej metodami konwencjonalnymi, natomiast nie jest przydatny do oceny zawartości akrylamidu w żywności ogrzewanej mikrofalowo. Jako wskaźnik obciążenia cieplnego barwa odzwierciedla tylko zmiany (w tym zmiany zawartości akrylamidu) skorelowane z powierzchniowymi zmianami cieplnymi zachodzącymi głównie podczas ogrzewania konwencjonalnego i - w mniejszym stopniu -

podczas ogrzewania mikrofalowego. Dlatego też wykorzystanie pomiaru barwy produktu do oceny zawartości akrylamidu w żywności po obróbce mikrofalowej może być mało użyteczne.

4. Wykazanie, że stabilność akrylamidu w produktach spożywczych podczas przechowywania zależy od temperatury i czasu przechowywania oraz prawdopodobnie od rodzaju i składu chemicznego żywności. Wyższa temperatura, dłuższy czas przechowywania, aktywność wody na poziomie ok. 0,4 oraz obecność związków zawierających określone grupy funkcyjne, wobec których akrylamid może wykazywać wysoką reaktywność, mogą być przyczyną niestabilności tego związku w żywności i znacznego zmniejszenia jego zawartości w produktach podczas przechowywania.

5. Oprócz mojego wkładu do nauki w zakresie obecności AA w żywności, możliwość wykorzystania wyników wykonanych przeze mnie badań w praktyce przez laboratoria analityczne, konsumentów oraz producentów żywności.

- Opracowana i zwalidowana metoda chromatografii par jonowych RP-HPLC-DAD jest stosunkowo prostą i ekonomicznie uzasadnioną metodą oznaczania zawartości akrylamidu nawet w niewyspecjalizowanych laboratoriach analitycznych.

- Konsumenty powinni unikać stosowania ogrzewania mikrofalowego do obróbki termicznej wysokowęglowodanowej żywności, a w przypadku stosowania metod konwencjonalnych ściśle kontrolować temperaturę i czas obróbki termicznej oraz unikać nadmiernego brązowienia żywności. Powinni również kierować się tą zasadą, spożywając posiłki w sieciach gastronomicznych i restauracjach oraz podczas zakupu żywności, czyli ograniczać spożycie żywności wysoko przetworzonej, częściej wybierać żywność nisko przetworzoną i ogrzewaną do złotego koloru a nie brązowego.

- Oddziaływanie energii mikrofalowej na żywność, zwłaszcza w przypadku stosowania mikrofal o wyższej mocy, w niektórych procesach w przemyśle spożywczym powinno być kontrolowane i monitorowane.

- Wyniki badań dotyczących możliwego wpływu niektórych związków na redukcję akrylamidu w przechowywanej żywności mogą być niezwykle istotne w poszukiwaniu sposobów ograniczania zawartości tego związku w żywności na etapie produkcji przemysłowej, stanowiąc podstawę do dalszych badań obejmujących szczegółowe określenie związków, które można by dodawać do produktów w celu redukcji akrylamidu.

Wyniki prac naukowo-badawczych wchodzących w skład Osiągnięcia Naukowego były przeze mnie prezentowane na 6 konferencjach krajowych i międzynarodowych w formie

posterów (6) lub referatów (1). Przedstawione badania we wskazanym Osiągnięciu (4 publikacje) zostały zauważone w świecie i zarejestrowane jako cytowania w bazach: Web of Science (14 cyt.), Scopus (19 cyt.) i Google Scholar (41 cyt.). Cytowania pochodzą m.in. od autorów z czasopism: *Food and Chemical Toxicology*, *European Journal of Lipid Science and Technology*, *Plant Foods for Human Nutrition*, *Journal of Food Composition and Analysis*, *American Journal of Potato Research*, *Journal of Chromatography A*, *LWT - Food Science and Technology*, *Food Additives & Contaminants: Part A*, *Journal of Environmental Sciences*, *Food Analytical Methods*, *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, *Journal of Food Science and Technology*. Wyniki z dwóch publikacji (Załącznik 2, wykaz punkt 4.B:1,2) były również zauważone przez Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) i cytowane w Dzienniku EFSA (2015). W bazie Research Gate publikacje wchodzące w skład Osiągnięcia Naukowego były czytane przez 298 zalogowanych użytkowników i zarejestrowane jako cytowania (22 cyt.). Powyższe dane pochodzą z 1 kwietnia 2017 r.

Literatura

1. Ahrné, L., Andersson, C-G., Floberg, P., Rosén, J., Lingnert, H. (2007). Effect of crust temperature and water content on acrylamide formation during baking of white bread: Steam and falling temperature baking. *LWT - Food Science and Technology*, 40, 1708-1715.
2. Alves, R.C., Soares, C., Casal, S., Fernandes, J.O., Beatriz, M., Oliveira, P.P. (2010). Acrylamide in espresso coffee: Influence of species, roast degree and brew length. *Food Chemistry*, 119, 929-934.
3. Anese, M., Bortolomeazzi, R., Manzocco, L., Manzano, M., Giusto, C., Nicoli, M.C. (2009). Effect of chemical and biological dipping on acrylamide formation and sensory properties in deep-fried potatoes. *Food Research International*, 42, 142-147.
4. Anese, M., Manzocco, L., Calligaris, S., Nicoli, M.C. (2013). Industrially applicable strategies for mitigating acrylamide, furan, and 5-hydroxymethylfurfural in food. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61, 10209-10214.
5. Barutcu, I., Sahin, S., Sumnu, G. (2009). Acrylamide formation in different batter formulations during microwave frying. *LWT - Food Science and Technology*, 42, 17-22.
6. Bent, G.A., Maragh, P., Dasgupta, T. (2012). Acrylamide in Caribbean foods – residual levels and their relation to reducing sugar and asparagine content. *Food Chemistry*, 133, 451-457.
7. Burch, R. (2007). Examination of the effect of domestic cooking on acrylamide levels in food. London, UK: Food Standards Agency. Dostępny: http://www.foodbase.org.uk/results.php?f_report_id=46 (15.01.2016).

8. Capuano, E., Ferrigno, A., Acampa, I., Serpen, A., Açar, Ö.Ç., Gökmen, V., Fogliano, V. (2009). Effect of flour type on Maillard reaction and acrylamide formation during toasting of bread crisp model systems and mitigation strategies. *Food Research International*, 42, 1295-1302.
9. Capuano, E., Fogliano, V. (2011). Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 793-810.
10. Claeys, W.L., De Vleeschouwer, K., Hendrickx, M.E. (2005). Quantifying the formation of carcinogens during food processing: acrylamide. *Trends in Food Science & Technology*, 16, 181-193.
11. Commission Decision 2002/657/EC of 12 August 2002 implementing Council Directive 96/23/EC concerning the performance of analytical methods and the interpretation of results, OJ N° L 221, 17.8.2002. Dostępny: <http://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/ed928116-a955-4a84-b10a-cf7a82bad858/language-en> (12.02.2013).
12. Crews, C. (2016). Chapter 24 – Liquid Chromatographic Tandem Mass Spectrometry to Determine Acrylamide in Foods, *Acrylamide in Food, Analysis, Content and Potential Health Effects*, Academic Press is an imprint of Elsevier, 463-479.
13. Delatour, T., Perisset, A., Goldmann, T., Riediker, S., Stadler, R. (2004). Improved sample preparation to determine acrylamide in difficult matrixes such as chocolate powder, cocoa, and coffee by liquid chromatography tandem mass spectroscopy. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 4625–31.
14. Dybing, E., Farmer, P.B., Andersen, M., Fennell, T.R., Lalljie, S.P.D., Müller, D.J.G., Olin, S., Petersen, B.J., Schlatter, J., Scholz, G., Scimeca, J.A., Slimani, N., Törnqvist, M., Tuijelaars, S., Verger, P. (2005). Human exposure and internal dose assessments of acrylamide in food. *Food and Chemical Toxicology*, 43, 365–410.
15. ECHA. (2010). Dostępny: https://echa.europa.eu/documents/10162/13585/pr_10_05_acrylamide_20100330_en.pdf (20.02.2017).
16. EEC. (1998). Council Directive 98/83/EC of 3 November 1998, On the quality of water intended for human consumption. *Official Journal of the European Communities*, 330, 32–54.
17. EFSA (European Food Safety Authority). (2012). Update on acrylamide levels in food from monitoring years 2007 to 2010. *EFSA Journal* 10(10), 2938. [38 pp.] doi:10.2903/j.efsa.2012.2938. Dostępne: www.efsa.europa.eu/efsajournal (15.09.2014).
18. Erdoğan, S.B., Palazoglu, T.K., Gökmen, V., Şenyuva, H.Z., Ekiz, I. (2007). Reduction of acrylamide formation in French fries by microwave pre-cooking of potato strips. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(1), 133–137.
19. Eriksson, S. (2005). Acrylamide in food products: Identification, formation and analytical methodology. Doctoral thesis, Department of Environmental Chemistry, Stockholm University, Sweden. Dostępny: <https://su.diva-portal.org/smash/get/diva2:197454/FULLTEXT01.pdf> (10.04.2008).

20. European Commission Recommendation of 10 January 2011 on investigations into the levels of acrylamide in food (2010/307/EU). Dostępny: https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/cs_contaminants_catalogue_acrylamide_recommendation_10012011_food_en.pdf (15.09.2014).
21. European Commission Recommendation of 8 November 2013 on investigations into the levels of acrylamide in food (2013/647/EU). Dostępny: https://www.fsai.ie/uploadedFiles/Recomm_2013_647.pdf (15.09.2014).
22. European Union Risk Assessment Report. (2002). Acrylamide, EUR 19835 EN, *Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 24*, 1-207.
23. FDE. (2011). Food Drink Europe Acrylamide Toolbox 2011. Dostępny: http://www.fooddrinkeurope.eu/uploads/publications_documents/Toolboxfinal260911.pdf (15.09.2014).
24. FDE. (2013). Food Drink Europe Acrylamide Toolbox 2013. Dostępny: http://www.fooddrinkeurope.eu/uploads/publications_documents/AcrylamideToolbox_2013.pdf (15.09.2014).
25. Fernández, Y., Arenillas, A., Menéndez, J.Á. (2011). Microwave heating applied to pyrolysis. *Advances in Induction and Microwave Heating of Mineral and Organic Material. Chapter in a book*. pp. 723-752. Ed. Collegium, Viena, Austria, ISBN 978-953-307-522-8.
26. Fohgelberg, P., Rosén, J., Hellenäs, K.-E., Abramsson-Zetterberg, L. (2005). The acrylamide intake via some common baby food for children in Sweden during their first year of life – an improved method for analysis of acrylamide. *Food and Chemical Toxicology*, 43, 951–959.
27. Geng, Z., Jiang, R., Chen, M. (2008). Determination of acrylamide in starch-based foods by ion-exclusion liquid chromatography. *Journal of Food Composition and Analysis*, 21, 178–182.
28. Gökmen, V. (2016). Chapter 23 – Analysis of Acrylamide in Foods with Special Emphasis on Sample Preparation and Gas Chromatography–Mass Spectrometry Detection, *Acrylamide in Food, Analysis, Content and Potential Health Effects*, Academic Press is an imprint of Elsevier, 445-461.
29. Gökmen, V., Akbudak, B., Serpen, A., Açar, J., Eris, A. (2007). Effects of controlled atmosphere storage and low-dose irradiation on potato tuber components affecting acrylamide and color formations upon frying. *European Food Research and Technology*, 224, 681–687.
30. Gökmen, V., Mogol, B.A. (2010). Computer vision-based image analysis for rapid detection of acrylamide in heated foods. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 2, 203–207.
31. Gökmen, V., Açar, Ö.Ç., Arribas-Lorenzo, G., Morales, F.J. (2008). Investigating the correlation between acrylamide content and browning ratio of model cookies. *Journal of Food Engineering*, 87, 380–385.
32. Gökmen, V., Palazoğlu, T.K., Şenyuva, H.Z. (2006). Relation between the acrylamide formation and time-temperature history of surface and core regions of French fries. *Journal of Food Engineering*, 77, 972-976.
33. Hedegaard, R.V., Frandsen, H.H., Skibsted, L.H. (2008). Kinetics of formation of acrylamide and Schiff base intermediates from asparagine and glucose. *Food Chemistry*, 108, 917–925.

34. Hoenicke, K., Gatermann, R. (2004). Stability of acrylamide in food during storage. *Czech Journal of Food Sciences*, 22, 355-356.
35. Hoenicke, K., Gatermann, R. (2005). Studies on the stability of acrylamide in food during storage. *Journal of AOAC International*, 8, 268–73.
36. IARC. (1994). Acrylamide. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, some industrial chemicals, 60, 387-433.
37. Keramat, J., LeBail, A., Prost, C., Jafari, M. (2011). Acrylamide baking products: A review article. *Food and Bioprocess Technology*, 4, 530–543.
38. Koh, B-K. (2007). Color difference and acrylamide content of cooked food. *American Journal of Food Technology*, 2(4), 318-322.
39. Krishnakumar, T., Visvanathan, R. (2014). Acrylamide in food products: A Review. *Journal of Food Processing & Technology*, 5, 344, 1-9.
40. Lingnert, H., Grivas, S., Jagerstad, M., Skog, K., Tornqvist, M., Aman, P. (2002). Acrylamide in foods: Mechanisms of formation and influencing factors during heating of foods. *Scandinavian Journal of Nutrition*, 46, 159–172.
41. Łopacka, J., Lipińska, A., Rafalska, U. (2015). Zmiany zachodzące w materiale opakowaniowym i w żywności w trakcie obróbki mikrofalowej. *Problemy Higieny i Epidemiologii*, 96(1), 77-83.
42. Matthäus, B., Haase, N.U. (2014). Acrylamide – Still a matter of concern for fried potato food? *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116, 675–687.
43. Mestdagh, F., De Wilde, T., Castelein, P., Nemeth, O., Peteghem, C., De Meulenaer, B. (2008). Impact of the reducing sugars on the relationship between acrylamide and Maillard browning in French fries. *European Food Research and Technology*, 227(1), 69–76.
44. Mojska, H. (2016). Chapter 3 – Secular Trends in Food Acrylamide, Acrylamide in Food, Analysis, Content and Potential Health Effects, Academic Press is an imprint of Elsevier, 39–59.
45. Mojska, H., Gielecinska, I. (2013). Studies of acrylamide level in coffee and coffee substitutes: influence of raw material and manufacturing conditions. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 64(3), 173-181.
46. Mottram, D.S., Wedzicha, B.L., Dodson, A.T. (2002). Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature*, 419, 448–449.
47. Mustafa, A. (2008). Acrylamide in Bread Precursors, Formation and Reduction. Doctoral thesis Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2008:19 Dostępny: <http://pub.epsilon.slu.se/1789/> (10.07.2015).
48. Mustafa, A., Andersson, R., Rosen, J., Kamal-Eldin, A., Aman, P. (2005). Factors influencing acrylamide content and color in rye crisp bread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(15), 5985–5989.

49. Oziembłowski, M., Drózd, T., Bobak, Ł., Nęcka, K., Lis, S., Nawara, P., Wrona P. (2016). Skoncentrowane pole mikrofalowe (CMF) jako niekonwencjonalna metoda utrwalania płynnych produktów spożywczych w ramach „teorii płotkowej”. *Przegląd Elektrotechniczny*, 92(1), 113-116.
50. Pedreschi, F., Kaack, K., Granby, K. (2006). Acrylamide content and color development in fried potato strips. *Food Research International*, 39, 40–46.
51. Quintas, M.A.C., Brandão, T.R.S., Silva, C.L.M. (2007). Modelling colour changes during the caramelisation reaction. *Journal of Food Engineering*, 83, 483-491.
52. Romani, S., Bacchiocca, M., Rocculi, P., Dalla Rosa, M. (2009). Influence of frying conditions on acrylamide content and other quality characteristics of French fries. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, 582–588.
53. Ruffian-Henares, J.A., Delgado-Andrade, C., Morales, F.J. (2006). Relationship between acrylamide and thermal-processing indexes in commercial breakfast cereals: A survey of Spanish breakfast cereals. *Molecular Nutrition & Food Research*, 50, 756-762.
54. Rydberg, P., Eriksson, S., Tareke, E., Karlsson, P., Ehrenberg, L., Törnqvist, M. (2005). Factors that influence the acrylamide content of heated foods. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 561, 317–328.
55. Şenyuva, H.Z., Gökmen, V. (2005). Study of acrylamide in coffee using an improved liquid chromatography mass spectrometry method: Investigation of colour changes and acrylamide formation in coffee during roasting. *Food Additives & Contaminants*, 22(3), 214-220.
56. Serpen, A., Gökmen, V. (2009). Evaluation of the Maillard reaction in potato crisps by acrylamide, antioxidant capacity and color. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22, 589–595.
57. Skog, K., Viklund, G., Olsson, K., Sjöholm, I. (2008). Acrylamide in home-prepared roasted potatoes. *Molecular Nutrition & Food Research*, 52, 307–312.
58. Stadler, R.H., Blank, I., Varga, N., Robert, F., Hau, J., Guy, P.A., Robert, M.C., Riediker, S. (2002). Food chemistry: Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature*, 419, 449–450.
59. Stadler, R.H., Studer, A., (2016). Chapter 1 – Acrylamide Formation Mechanisms, Acrylamide in Food, Analysis, Content and Potential Health Effects, Academic Press is an imprint of Elsevier, 1-17.
60. Surdyk, N., Rosén, J., Andersson, R., Åman, P. (2004). Effects of asparagine, fructose, and baking conditions on acrylamide content in yeast-leavened wheat bread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(7), 2047–2051.
61. Swedish National Food Administration. (2002). Information about acrylamide in food. Dostępny: www.slv.se (15.03.2016).
62. Takatsuki, S., Nemoto, S., Sasaki, K., Maitani, T. (2004). Production of acrylamide in agricultural products by cooking. *Journal of the Food Hygienic Society of Japan*, 45(1), 44–48.

63. Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S., Törnqvist, M. (2002). Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(17), 4998–5006.
64. Tateo, F., Bononi, M. (2003). Preliminary study on acrylamide in baby foods on the Italian market. *Italian Journal of Food Science*, 15(4), 593-599.
65. Tekkeli, S.E.K., Önal, C., Önal, A. (2012). A review of current methods for the determination of acrylamide in food products. *Food Analytical Methods*, 5, 29–39.
66. WHO. (1996). Acrylamide. In: Guidelines for drinking-water quality, second ed., vol. 2: Health criteria and other supporting information. International Programme on Chemical Safety, World Health Organization, Geneva. Dostępny: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/2edvol2p1.pdf (15.06.2007).
67. WHO. (2005). Summary report of the sixty-fourth meeting of the Joint FAO/WHO expert committee on food additive (JECFA). Rome, Italy: The ILSI Press International Life Sciences Institute. Washington, DC, 1-47.
68. Ye, H., Miao, Y., Zhao, C., Yuan, Y. (2011). Acrylamide and methylglyoxal formation in potato chips by microwaving and frying heating. *International Journal of Food Science & Technology*, 46, 1921–1926.
69. Yuan, Y., Chen, E., Zhao, G.H., Liu, J., Zhang, X., Hu, Z.S. (2007). A comparative study of acrylamide formation induced by microwave and conventional heating methods. *Journal of Food Science*, 72(4), 212-216.
70. Zhang, Y., Fang, H., Zhang, Y. (2008). Study of formation of acrylamide in asparagine-sugar microwave heating systems using UPLC-MS/MS analytical method. *Food Chemistry*, 108, 542-550.
71. Zhang, Y., Zhang, G., Zhang, Y. (2005). Occurrence and analytical methods of acrylamide in heat-treated foods. Review and recent developments. *Journal of Chromatography A*, 1075, 1-21.
72. Żyżelewicz, D., Nebesny, E., Oracz, J. (2010). Akrylamid – powstawanie, właściwości fizykochemiczne i biologiczne. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, XLIII, 3, 415-427.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Kierunki mojej pracy badawczej wynikają z zainteresowań naukowych, bieżących trendów i problemów związanych z jakością i bezpieczeństwem żywności. Biorąc pod uwagę tematykę badań oraz kompleksowość i różnorodność metod badawczych, prace naukowo-badawcze realizowałam głównie w zespołach badawczych.

Działalność naukową rozpocząłam w czasie przygotowywania pracy magisterskiej. Pracę dyplomową realizowałam w Instytucie Technologii Mleczarskiej. Badania były ściśle związane z zakresem studiów (technologia mleczarska) i dotyczyły możliwości redukcji

zawartości cholesterolu w tłuszczu mlekowym. Celem była ocena wpływu rodzaju zastosowanych mezofilnych i termofilnych szczepionek bakterii fermentacji mlekowej na zmiany zawartości cholesterolu w maśle przed i po przechowywaniu. Oznaczając zawartość cholesterolu, triacylogliceroli i skład kwasów tłuszczowych w tłuszczu mlecznym, miałam możliwość poznania jednej z metod analizy instrumentalnej, jaką jest chromatografia gazowa (GC). Zainteresowania naukowe związane z mlekiem, produktami mleczarskimi oraz z chromatografią kontynuowałam pracując na stanowisku naukowo-dydaktycznym, w zespołach, które wchodziły obecnie w skład Katedry Towaroznawstwa i Badań Żywności.

Moje zainteresowania naukowe obejmują następujące zagadnienia:

1. Jakość i trwałość mleka UHT.
2. Wpływ ogrzewania mikrofalowego i wysokiego ciśnienia na skład chemiczny i jakość mleka.
3. Związki reakcji Maillarda i inne wskaźniki obciążenia cieplnego w produktach spożywczych, ze szczególnym uwzględnieniem żywności dla dzieci i niemowląt.
4. Wykorzystanie (adaptacja i wdrożenie) wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC) w analizie składników żywności.
5. Foliiany i kwas foliowy w surowcach i produktach spożywczych.
6. Związki fenolowe w produktach spożywczych.

5.1. Jakość i trwałość mleka UHT

Pracę zawodową na stanowisku asystenta zaczęłam w czasie wprowadzenia na rynek polski mleka UHT z krajowego surowca, różnej i jeszcze wtedy nie zawsze dobrej jakości. Skłoniło mnie to do podjęcia w ramach pracy doktorskiej kompleksowych badań dotyczących cech jakościowych tego mleka oraz ich zmian w czasie przechowywania. Badania dotyczyły wpływu sterylizacji metodą UHT (pośrednią i bezpośrednią) i warunków przechowywania na jakość gotowego produktu. Badania były finansowane w ramach promotorskiego projektu badawczego pt. *Ocena zakresu zmian wybranych cech i składników w mleku UHT w zależności od sposobu produkcji i warunków przechowywania*, nr rejestracyjny 6 PO6 G 025 20 (2001-2002). Byłam głównym wykonawcą projektu, a kierownikiem był prof. dr hab. Andrzej Kuncewicz.

Badano m.in. mleko UHT wyprodukowane z tego samego surowca metodą pośrednią i bezpośrednią w pilotażowym urządzeniu Tetra Therm Aseptic Pilot firmy Tetra Pack. Kompleksowe badania wykazały, jakie wyróżniki decydują o jakości i trwałości mleka UHT.

Stwierdzono, że obróbka termiczna mleka w systemie UHT indukuje powstawanie nowych, nie występujących w surowcu składników (laktuloza) i przyczynia się do zmian praktycznie wszystkich składników mleka. W wyniku sterylizacji metodą UHT nastąpiło zwiększenie zawartości furozyny, HMF, związków lipoproteinowych, zmniejszenie zawartości niezdenaturowanych białek serwatkowych – wskaźników obciążenia cieplnego mleka. Ponadto wykazano, że rodzaj sterylizacji mleka UHT ma istotny wpływ na zakres tych zmian. Zmiany badanych składników mleka były większe w mleku ogrzewanym metodą pośrednią niż bezpośrednią. Ponadto określono, że poziom laktulozy może być dobrym wskaźnikiem rozróżniania mleka UHT ze względu na rodzaj zastosowanej metody sterylizacji. Wykazano, że temperatura i czas przechowywania mleka mają wpływ na zakres zmian w mleku UHT, takich jak: kwasowość, zawartość witaminy C i kwasu askorbinowego, furozyny, oznaczanych frakcji niezdenaturowanych białek serwatkowych. Zakres tych zmian był większy w mleku przechowywanym w temp. 22°C niż w 4°C. Stwierdzono również, że w czasie przechowywania mleka UHT następuje istotny wzrost zawartości HMF, laktulozy oraz zmniejszenie ilości kompleksów białkowo-tłuszczowych. Nie wykazano jednak istotnego wpływu temperatury przechowywania mleka UHT na zakres tych zmian. W kompleksowych badaniach wykazano, że mleko UHT produkowane w naszym kraju jest dobrej jakości, chociaż odznacza się małą standardowością niektórych cech jakościowych, co wynika z dużego zróżnicowania jakości surowca używanego do produkcji. Zmiany składników mleka, indukowane procesem sterylizacji UHT, pogłębiają się w czasie przechowywania, szczególnie w temperaturze pokojowej. Skłoniło to do zalecenia niewydłużania nadmiernie okresu przydatności do spożycia tego produktu i przechowywania jednak w warunkach chłodniczych. Wyniki badań z tego zakresu były podstawą do przygotowania pracy doktorskiej nt. *Ocena wpływu metody produkcji i warunków przechowywania na zakres zmian fizykochemicznych w mleku UHT*, posłużyły również do przygotowania publikacji i komunikatów naukowych, a także zostały przekazane do praktyki przemysłowej (Praca doktorska, Załącznik 4, punkt 2.A: 2, 5, 2.B1:2, 3, 4, 2.B3: 1, 2.D: 6, 7, 8, 10).

5.2. Wpływ ogrzewania mikrofalowego i wysokiego ciśnienia na skład chemiczny i jakość mleka

Odrębnym zagadnieniem badawczym w tym czasie było określenie zmian w składnikach mleka ogrzewanego techniką mikrofalową, wówczas coraz powszechniej stosowaną w gospodarstwach domowych i mającą szansę wejścia do praktyki przemysłowej.

Badania, w których uczestniczyłam, dotyczyły również wpływu wysokiego ciśnienia na składniki mleka.

Ogrzewanie mikrofalowe, ze względu na specyfikę generacji ciepła w produkcji przez tarcie molekularne między składnikami mleka, może powodować inne niż w grzejnictwie konwencjonalnym kierunki i zakres zmian w tym produkcie, co stało się przesłanką do podjęcia przeze mnie badań w tym zakresie. Wyniki wskazały na nieznacznie większe zmiany składników w mleku surowym poddanym ogrzewaniu mikrofalowemu niż w mleku pasteryzowanym. Stwierdzono większe straty zawartości witaminy C i kwasu askorbinowego, większą zawartość 5-hydroksymetylofurfuralu (HMF) i furozyny. Nie stwierdzono istotnych różnic w zawartości niezdenaturowanych białek serwatkowych i laktulozy. Ponadto wykazano, że ogrzewanie mikrofalowe mleka - podobnie jak konwencjonalne - indukuje tworzenie się nowych struktur białkowo-tłuszczowych. Stwierdzono, że istotne znaczenie w tworzeniu się proteolipidów w mleku ma, oprócz temperatury ogrzewania, moc urządzenia. Prawdopodobnie intensywniejsze oddziaływania mechaniczne między składnikami mleka ogrzewanego mikrofalowo z zastosowaniem wyższej mocy mogą przyspieszać interakcje i wpływać na zwiększenie zawartości tych struktur w mleku. Jednocześnie stwierdzono, że skład proteolipidów w mleku ogrzewanym z zastosowaniem niskiej mocy ogrzewania, nie różnił się istotnie od składu tych struktur w mleku ogrzewanym z użyciem wysokiej mocy (Załącznik 4, punkt 2.A: 1, 2.D: 1, 3).

Badania dotyczące wpływu wysokiego ciśnienia na zakres zmian związków azotowych mleka z zastosowaniem różnych wartości ciśnienia (od 200 do 1000 MPa) i różnego czasu (od 15 do 35 min) jego działania na mleko prowadziłam we współpracy z pracownikami Katedry Mleczarstwa i Zarządzania Jakością Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Utrzymywanie nadciśnienia powodowało wzrost zawartości rozpuszczalnej kazeiny i wzrost denaturacji białek serwatkowych. Wykazano, że wraz ze wzrostem ciśnienia oraz czasu ekspozycji, wzrasta zawartość niebiałkowych i białkowych związków azotowych w mleku. Wysokie ciśnienie miało duży wpływ na zmiany konformacji białek mleka, co znalazło odzwierciedlenie w zmianach stopnia uwodnienia i sedymentacji tych związków (Załącznik 4, punkt 2.A: 3, 2.D: 9).

5.3. Związki reakcji Maillarda i inne wskaźniki obciążenia cieplnego w produktach spożywczych, ze szczególnym uwzględnieniem żywności dla dzieci i niemowląt

Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora szczególne miejsce w moich zainteresowaniach zajęły zagadnienia dotyczące obecności związków reakcji Maillarda

w produktach spożywczych i oceny jakości żywności na podstawie tzw. wskaźników obciążenia cieplnego. Badania dotyczyły szerokiej gamy produktów spożywczych, ze szczególnym uwzględnieniem żywności dla dzieci i niemowląt, i związane były początkowo z oceną zawartości w produktach takich wyróżników, jak: zawartość związków furfuralu (HMF, FMC, MF i F), furozyny, laktulozy, niezdenaturowanych białek serwatkowych, witaminy C i witamin z grupy B. W kolejnych latach badano również zawartość akrylamidu i barwę produktu.

Badania te koncentrowały się na zagadnieniach związanych z jakością produktów spożywczych, która jest wynikiem przemian składników żywności pod wpływem obróbki cieplnej i warunków przechowywania. Zakres tych zmian oceniano na podstawie zawartości witamin i ww. wskaźników obciążenia cieplnego. Wykazano, że zawartość wskaźników obciążenia cieplnego umożliwia w wielu przypadkach ocenę jakości produktu i/lub określenie poziomu intensywności ogrzewania wyrobu. Ponadto wykazano, że w niektórych artykułach, np. mleku i produktach mlecznych, oznaczenie zawartości niezdenaturowanych białek serwatkowych, HMF, laktulozy czy furozyny umożliwia także określenie świeżości i jakości surowca zastosowanego do produkcji, warunków i czasu przechowywania gotowego produktu, a także wykrycie zafałszowania. W badaniach stwierdzono również, że w niektórych produktach spożywczych poziom niektórych z ww. wskaźników cieplnych jest ze sobą istotnie skorelowany (Załącznik 4, punkt 2.A: 4, 2.B1: 1, 2, 4, 2.B2: 2, 2.B3: 2, 2.D: 2, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 15, 16).

Doniesienia medialne w 2002 r. o obecności akrylamidu w żywności oraz informacje, że jest to związek prawdopodobnie tworzący się w reakcjach Maillarda, skłoniły mnie do podjęcia badań z tego zakresu. Wyniki moich badań wstępnych dotyczących zawartości akrylamidu i metod jego oznaczania w żywności były podstawą ubiegania się o grant badawczy. Projekt badawczy własny pt.: *Badanie zależności pomiędzy składem produktów mleczno-zbożowych dla dzieci i poziomem związków reakcji Maillarda a tworzeniem się akrylamidu*, o numerze rejestracyjnym N N312 227236, realizowałam w latach 2009-2012. Badania dotyczące obecności akrylamidu w żywności kontynuuję do chwili obecnej. Prowadzone w ramach grantu badania dotyczyły takich produktów spożywczych, jak: słodczyce (ciastka, czekolada, batony, kremy czekoladowe), w tym również przeznaczone do spożycia przez dzieci, kaszki mleczno - zbożowe dla dzieci i mleko zastępcze dla niemowląt. Wykazano istotny wpływ rodzaju obróbki termicznej, składu produktu (cukry i aminokwasy), kwasowości (pH) i aktywności wody oraz czasu i warunków przechowywania na zawartość związków reakcji Maillarda w badanych produktach spożywczych. Na podstawie wyników

zawartości akrylamidu w różnych rodzajach żywności dla dzieci i niemowląt, i zalecanego spożycia ww. produktów przez odpowiednie grupy wiekowe, obliczono również narażenie tych konsumentów na akrylamid. Zostało ono wyrażone w $\mu\text{g}/\text{kg m.c}/\text{dzień}$ i przedstawione dla poszczególnych grup wiekowych dzieci i niemowląt na trzech poziomach, które uwzględniały oznaczoną minimalną, maksymalną i obliczoną średnią zawartość akrylamidu w kategoriach produktów dla dzieci i niemowląt. Wykazano wysoki poziom narażenia dzieci i niemowląt na akrylamid z żywności. Część wyników uzyskanych w ramach projektu badawczego posłużyła do przygotowania publikacji wchodzących w skład Osiągnięcia stanowiącego podstawę wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego. Pozostałe wyniki przedstawiono w innych publikacjach oraz komunikatach naukowych (Załącznik 4, punkt 2.B1: 11, 2.B2: 1, 3, 2D: 18, 23, 36, 39, 41).

Badania dotyczące problematyki obecności toksycznych związków: akrylamidu i związków furfuralu w żywności prowadziłam również na takich produktach, jak: przetwory owocowe, tzw. żywność wygodna, płatki śniadaniowe, pieczywo i inne produkt zbożowe, kakao, kawa, produkty ziemniaczane i inne. Badano wpływ wybranych czynników na zawartość tych związków w żywności. Wykazano m.in., że zawartość akrylamidu i HMF w badanych produktach wahała się w szerokim zakresie, i wynikała z rodzaju i składu chemicznego surowca (zawartości i rodzaju aminokwasów, zawartości skrobi i cukrów redukujących, poziomu wilgotności, pH i inne) oraz parametrów i rodzaju zastosowanego procesu technologicznego lub obróbki cieplnej, a także warunków przechowywania. Stwierdzono również, że w niektórych produktach spożywczych zawartość tych związków, a także barwa produktów są ze sobą istotnie skorelowane. Oznaczona zawartość akrylamidu w badanych produktach była na ogół zgodna z zaleceniem Komisji Unii Europejskiej. Największe przekroczenie „wartości wskaźnikowych” ustanowionych dla akrylamidu stwierdzono w takich produktach, jak płatki śniadaniowe, ciastka i pieczywo. Oznaczona w badaniach własnych zawartość akrylamidu i HMF posłużyła również do obliczenia narażenia konsumentów na akrylamid z wybranego źródła, np. pieczywa. Niektóre z wyników ww. badań omówiono w publikacjach wchodzących w skład Osiągnięcia Naukowego stanowiącego podstawę wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego, pozostałe zaś przedstawiono w innych publikacjach oraz komunikatach naukowych (Załącznik 4, punkt 2.B1: 10, 12, 14, 2.B2: 2, 5, 7, 2.B3: 2, 3, 4, 2D: 21, 26, 27, 28, 29, 30, 32, 34, 35, 43, 44, 47, 48, 50, 51, 53, 54, 55, 57).

5.4. Wykorzystanie (adaptacja i wdrożenie) wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC) w analizie składników żywności

Wśród moich zainteresowań naukowych znajdują się także zagadnienia związane z wykorzystaniem metod instrumentalnych w badaniach żywności. Realizowane przeze mnie w ramach pracy zawodowej badania związane z jakością i bezpieczeństwem żywności inspirowały mnie do badań dotyczących adaptacji i wdrożenia instrumentalnych metod analizy do oceny żywności. Prowadzone przeze mnie prace metodyczne wiążą się z realizowaną w mojej katedrze problematyką badawczą.

Analityka żywności z zastosowaniem metod instrumentalnych stanowi zasadniczą składową działań w zakresie kontroli bezpieczeństwa zdrowotnego, autentyczności i kształtowania jakości produktów. Prowadzone prace metodyczne obejmowały adaptację, optymalizację, a także wdrożenie metod wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC) do analizy w produktach spożywczych takich związków, jak m.in.: związki furfuralu (HMF, FMC, MF i F), laktoza i laktuloza, furozyna, niezdenaturowane białka serwatkowe, witamina C i kwas askorbinowy, witaminy z grupy B (B₁, B₂, B₆, B₁₂ oraz foliany i kwas foliowy), kwasy fenolowe, akrylamid, kofeina i kwasy organiczne. Badania z tego zakresu dotyczyły: procedury przygotowania próbek do analizy chromatograficznej, doboru warunków rozdziału chromatograficznego w celu uzyskania najlepszych wyników analizy chromatograficznej, walidacji opracowanych, zaadaptowanych, a w niektórych przypadkach zmodyfikowanych lub zoptymalizowanych metod chromatograficznych oraz ich wdrożenia do analizy ww. związków w produktach spożywczych. Na podkreślenie zasługuje również fakt, że zespół, w którym pracuję, często jako pierwszy w kraju wdrożył te metody analityczne do codziennej praktyki laboratoryjnej. Wiele z wdrożonych metod HPLC do analizy składników żywności stosują zespoły badawcze w ośrodku olsztyńskim i innych ośrodkach naukowych. Wyniki badań z tego zakresu przedstawiono w publikacjach oraz komunikatach naukowych (Załącznik 4, punkt 2.A: 7, 8, 9, 2.B1: 2, 4, 7, 2.D: 2, 5, 10, 11, 15, 16, 17, 22, 24, 33, 45, 46).

5.5. Foliiany i kwas foliowy w surowcach i produktach spożywczych

Znaczną część mojego dorobku stanowią prace poświęcone zagadnieniom związanym z zawartością folianów i kwasu foliowego w surowcach i produktach spożywczych, metodom ich oznaczania, stabilności w czasie przetwarzania i przechowywania żywności, a także dotyczące fortyfikowania produktów spożywczych kwasem foliowym. W ostatnich latach światowe badania dostarczyły wielu dowodów, że związki te odpowiedzialne są m.in. za choroby związane z uszkodzeniem cewy nerwowej, zwłaszcza rozszczepem kręgosłupa

i bezmózgowiem. Dotychczasowe badania nie pozostawiają wątpliwości, że spożywanie dziennie ok. 0,4 mg kwasu foliowego zmniejsza znacząco ryzyko wystąpienia tych wad. Dlatego też przyjęcie w naszym kraju programu wzbogacania kwasem foliowym niektórych podstawowych produktów żywnościowych (np. chleba) wydaje się być najbardziej praktycznym sposobem zwiększenia jego spożycia. Stany Zjednoczone były pierwszym krajem, który wprowadził obowiązek fortyfikowania produktów zbożowych kwasem foliowym w ilości 0,14 mg kwasu foliowego na 100 g produktu. W Wielkiej Brytanii od 2000 r. dozwolone jest dodawanie 0,24 mg kwasu foliowego do 100 g mąki. Aktualnie w Polsce fortyfikacja produktów żywnościowych kwasem foliowym jest wyłącznie dobrowolna. Rozważane jest obligatoryjne wzbogacanie mąki kwasem foliowym. Obecnie dobrowolnie wzbogaca się soki, napoje bezalkoholowe oraz produkty zbożowe. Jednocześnie w ostatnich latach lekarze i dietetycy zwracają uwagę na możliwość przedawkowania dziennego spożycia tego kwasu. W ostatnich latach postęp w dziedzinie metod analitycznych umożliwia dokładne sprawdzenie ilości folianów w podstawowych produktach spożywczych i ewentualne skorygowanie obowiązujących tabel z rzeczywistą zawartością tych związków.

Badania, w których uczestniczyłam, dotyczyły: dopracowania i oceny metody analitycznej - wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC) - oznaczania folianów i kwasu foliowego w surowcach i produktach zbożowych, produktach mlecznych, warzywach i owocach oraz w sokach (Załącznik 4, punkt 2.A: 7, 9, 2.B1: 7, 2.D: 17, 24, 33).

Badania dotyczyły także wpływu procesu wypieku chleba na ogólną zawartość folianów, oceny wpływu dodatku kwasu foliowego do mąki na właściwości reologiczne ciasta oraz teksturę i cechy sensoryczne pieczywa. Ponadto oceniano stabilność kwasu foliowego podczas przechowywania fortyfikowanych produktów. Stwierdzono tylko nieznaczne straty dodanego kwasu foliowego podczas wypieku chleba, co może świadczyć o dobrej stabilności tego związku. Zaobserwowano wyższą zawartość natywnych folianów w chlebie niż w mące, co może sugerować możliwość syntetyzowania folianów przez dodane drożdże w czasie fermentacji ciasta. Na tej podstawie stwierdzono, że straty spowodowane wysoką temperaturą wypieku chleba mogą być kompensowane doborem odpowiednich drożdży piekarskich, jakością mąki i warunkami fermentacji. Nie stwierdzono również niekorzystnego oddziaływania dodanego kwasu foliowego na cechy reologiczne ciasta i sensoryczne pieczywa. Odnotowano także przypadki spowolnienia czerstwienia chleba (Załącznik 4, punkt 2.A: 6, 2.B2: 16, 2.D: 14, 49, 56).

Kolejne badania dotyczące kwasu foliowego i folianów były realizowane w ramach grantu pt. *Badanie kwasu foliowego i folianów w przecierowych i klarowanych sokach*

owocowych i owocowo-warzywnych fortyfikowanych kwasem foliowym, nr rejestracyjny N N312 213536 (2009 – 2011). Byłam współwykonawcą projektu, a kierownikiem była prof. dr hab. Elżbieta Gujska. Znaczna część projektu dotyczyła zadań związanych z doбором warunków ekstrakcji kwasu foliowego i folianów oraz hydrolizy folianów, stosowane bowiem wcześniej metody ich oznaczania w sokach nie były w pełni zadowalające. W badaniach prowadzonych przez niezależne zespoły potwierdzono, że każdy materiał biologiczny wymaga stosowania innych parametrów efektywnej ekstrakcji i hydrolizy przed oznaczeniem folianów metodą mikrobiologiczną lub z zastosowaniem HPLC. Przygotowanie próbki do analizy ma decydujący wpływ na zawartość folianów w ekstrakcie i ich oznaczenie. Na podstawie danych literaturowych dotyczących oznaczania folianów w różnych surowcach i produktach spożywczych oraz wyników badań własnych w ramach niniejszego projektu, dobrano optymalne warunki oznaczania tych związków zaproponowaną metodą HPLC (Załącznik 4, punkt 2.A: 9, 2.B1: 7, 8, 2.D: 24).

W ramach ww. grantu badano także wpływ różnych warunków przechowywania soków (czas przechowywania, temperatura pokojowa, warunki chłodnicze) na stabilność dodanego kwasu foliowego i folianów. W niektórych produktach stwierdzono zbyt dużą i niezgodną z ilością deklarowaną przez producentów zawartość kwasu foliowego. Stwierdzono także, że roztwory kwasu foliowego charakteryzują się znaczną stabilnością, nawet kilkumiesięczną, i to zarówno podczas przechowywania w temperaturze chłodniczej, jak i pokojowej. Wydaje się, że producenci w obawie przed posądzeniem o mniejszy dodatek kwasu foliowego dodają ilości znacznie przekraczające ilość deklarowaną lub, nie znając trwałości tego związku, dodają go w nadmiarze, aby zapewnić jego deklarowaną zawartość w końcowym okresie przydatności produktu do spożycia. Powodem może być także niezbyt wysoka cena kwasu foliowego. Producenci powinni wiedzieć, że soki w zależności od jakości surowca, warunków produkcji i przechowywania są także źródłem naturalnych folianów. Syntetyczny kwas foliowy nie jest naturalnym koenzymem i jego długotrwały wpływ na zdrowie nie jest znany. Niektórzy badacze uważają, że zwiększone jego dawki mogą niekorzystnie oddziaływać na organizm człowieka. Wykazano również, że soki zawierały bardzo małą ilość naturalnych folianów i że związki te były bardzo mało stabilne podczas przechowywania, zwłaszcza w temperaturze pokojowej (Załącznik 4, punkt 2.B1: 6, 8, 15, 2.D: 31, 40).

Warzywa i owoce są doskonałym nośnikiem wielu składników odżywczych, w tym witamin. Krótki okres wegetacji w Polsce utrudnia zapewnienie świeżych warzyw i owoców w ciągu całego roku, dlatego ich spożycie nie jest równomierne. Należy je zatem

kompensować, spożywając warzywa i owoce przetworzone, np. mrożone. Mrożonki warzywne i owocowe mogą być wygodnym źródłem składników biologicznie czynnych, w tym folianów. Dlatego badania nad zawartością i stabilnością folianów w czasie przechowywania różnych owoców i warzyw, a także doskonaleniem metod ich ekstrakcji (dobór enzymów) i oczyszczania ekstraktów do analizy HPLC, były realizowane przez zespół z moim współudziałem w Katedrze Towaroznawstwa i Badań Żywności. Opracowana metoda została z powodzeniem zastosowana do analizy zawartości folianów w świeżych i mrożonych owocach i warzywach. Badania dotyczące wpływu temperatury i czasu przechowywania na stabilność folianów prowadzono na wybranych mrożonych warzywach. Największe straty zawartości folianów podczas przechowywania zaobserwowano w zielonej fasolce i mieszance warzywnej. Związki te podczas przechowywania były bardziej stabilne w warzywach, takich jak brokuły i szpinak (Załącznik 4, punkt 2.A: 9, 2.D: 52).

Mleko i fermentowane napoje mleczne mogą stanowić znaczące źródło folianów w diecie. Chociaż zawartość naturalnych folianów w mleku i fermentowanych napojach mlecznych jest niska (<12 µg/100 g) w porównaniu z ich ilością w niektórych warzywach i owocach (50-200 µg/100 g), to w wyniku ich stosunkowo wysokiej konsumpcji, produkty te mogą dostarczyć ok. 10-15% dziennego zapotrzebowania na foliany. W przebadanych próbkach mleka świeżego towarowego, pasteryzowanego, UHT, a także w fermentowanych napojach mlecznych stwierdzono znaczne wahania zawartości folianów. W fermentowanych napojach mlecznych (kefirze, maślanec, mleku acidofilnym) wykazano wyższą zawartość folianów w porównaniu z mlekiem spożywczym pasteryzowanym. W wyniku biosyntezy bowiem z udziałem bakterii fermentacji mlekowej lub mikroflory ziaren kefirowych podczas procesu fermentacji i dojrzewania, kompensowane są straty folianów spowodowane pasteryzacją mleka. Aby fermentowane napoje mleczne stanowiły bogate źródło składników odżywczych, w tym folianów, producenci powinni zwracać większą uwagę na dobór odpowiednich szczepów bakterii fermentacji mlekowej oraz warunków procesu fermentacji i dojrzewania. Ponadto bardzo ważne jest przestrzeganie reżimu chłodniczego w całym łańcuchu dostaw od producenta do konsumenta, co ma istotne znaczenie w zmniejszeniu strat tych bardzo niestabilnych związków (Załącznik 4, punkt 2.A: 7, 2.B1: 9, 2.D: 17, 19, 33, 37).

W kolejnych badaniach dotyczących zawartości folianów i kwasu foliowego w różnych rodzajach i gatunkach piwa wykazano, że wyższą zawartość oznaczonych form folianów miało piwo niepasteryzowane, a także piwo z pszenicy z wtórnej fermentacji. Stwierdzono, że w wyniku odpowiedniego doboru surowców, a także określonych zmian w procesie warzenia, piwo mogłoby być lepszym źródłem folianów (Załącznik 4, punkt

2.D: 38). Ponadto wykazano również, że wątroba może stanowić znaczące źródło folianów w diecie (Załącznik 4, punkt 2.D: 58).

5.6. Związki fenolowe w produktach spożywczych

Pewną część mojego dorobku stanowią prace poświęcone produktom roślinnym, które są źródłem naturalnych przeciwutleniaczy, np. związków fenolowych. Badania naukowe dowodzą, że wzrastający w diecie człowieka udział produktów roślinnych wpływa na zmniejszenie ryzyka zachorowalności na nowotwory i choroby serca. Jedną z możliwych dróg wyjaśnienia tego faktu stało się określenie roli przeciwutleniaczy w zmniejszeniu zapadalności na wiele chorób. Wolne rodniki są czynnikami ryzyka w ponad 100 chorobach, włączając w nie nowotwory, arteriosklerozę, reumatyzm, zapalenie jelita i zaćmę. Procesom oksydacyjnym zapobiega się przez dodatek przeciwutleniaczy. Zastosowanie syntetycznych przeciwutleniaczy jest ograniczone ze względu na ich toksyczność, dlatego też w ostatnich latach wzrasta zainteresowanie naturalnymi produktami roślinnymi będącymi źródłem bezpiecznych antyoksydantów. Badania, w których uczestniczyłam, dotyczyły produktów zbożowych i zielonej herbaty, które ze względu na skalę spożycia mogą być znaczącym źródłem przeciwutleniaczy w diecie człowieka. Zboża zawierają liczne związki fenolowe, wśród których szczególne znaczenie mają kwasy fenolowe. Aktywność przeciwutleniająca wyciągów z produktów zbożowych wykazuje korelację z zawartością w tych produktach fenoli roślinnych. Stwierdzono, że zawartość związków fenolowych może być użytecznym wskaźnikiem rozróżniania niektórych rodzajów i odmian zbóż. Ponadto wykazano, że zielona herbata może być doskonałym źródłem składników fenolowych, jednak zawartość tych związków w napoju zależy od rodzaju herbaty i czasu ekstrakcji z liści. Najlepszym źródłem związków fenolowych okazała się herbata zielona pochodząca z Japonii i Wietnamu. Wykazano także, że większej infuzji kwasów fenolowych do naparu herbaty sprzyja dłuższy czas ekstrakcji z liści. Dlatego też ze względu na pozytywny wpływ związków fenolowych na zdrowie ludzi, czas parzenia liści herbaty powinien być dłuższy niż standardowo zalecany (Załącznik 4, punkt 2.A: 8, 2.D: 20, 25).

W wyniku utworzenia na Wydziale Nauki o Żywności kierunku towaroznawstwo, od kilku lat jestem pracownikiem Katedry Towaroznawstwa i Badań Żywności. Ze względu na specyfikę profilu badań realizowanych w Katedrze i moją współpracę z innymi pracownikami Katedry, badania, w których uczestniczyłam, dotyczą również zagadnień związanych

z konsumencką oceną produktów, prawidłowym znakowaniem artykułów spożywczych i usługami hotelarsko-gastronomicznymi (Załącznik 4, punkt 2.B1: 5, 13, 2.B2: 4, 2.D: 42).

W moim dorobku są również badania, które wykonałam na zamówienie instytucji gospodarczych i naukowych, a wyniki były przekazywane w formie sprawozdań naukowych rozszerzających mój dorobek w grupie niepublikowanych eksperymentalnych prac badawczych. Obecnie uczestniczę również w badaniach realizowanych dla firmy ZENTIS Polska Sp.z.o.o. w ramach projektu NCBiR nr POIR.01.01.01-00-1268/15. Projekt dotyczy wykorzystania przeciwwądowej wymiany masy i technik filtracji membranowej do pozyskiwania preparatów żywności barwiącej z materiału roślinnego.

6. Podsumowanie dorobku naukowo-badawczego

Mój dotychczasowy dorobek naukowy obejmuje:

- oryginalne prace twórcze: **39** (w tym **14** opublikowano w czasopismach z IF);
- komunikaty naukowe (postery i referaty): **58** (w tym **11** głoszonych osobiście);

Wartość naukowa dorobku publikacyjnego do dnia 1 kwietnia 2017 roku wynosi:

- punkty MNiSW zgodnie z aktualnym wykazem: **660**;
- sumaryczny impact factor według listy JCR, zgodnie z rokiem opublikowania: **21,744**;
- liczba cytowań według bazy Web of Science: **57** (bez autocytowań: **53**), Scopus: **74**;
- indeks Hirscha według bazy Web of Science: **5**.

Brałam udział w realizacji pięciu grantów finansowanych z MNiSW, NCBiR oraz NCN – w 4 byłam wykonawcą, w jednym kierownikiem. Wyniki moich badań były przedstawiane w publikacjach i prezentowane na kilkudziesięciu konferencjach krajowych i zagranicznych. Jestem rozpoznawalna jako naukowiec. Wyrazem mojej rozpoznawalności jest wysoka cytowalność moich prac oraz liczne zaproszenia od redaktorów czasopism naukowych do recenzowania publikacji. Dotychczas wykonałam 17 recenzji manuskryptów publikacji dla 9 czasopism naukowych, w tym 14 recenzji do czasopism zamieszczonych na liście JCR.

Rektor Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie przyznał mi nagrody za osiągnięcia w dziedzinie naukowej (2009), organizacyjnej (2012 i 2016) i dydaktycznej (2015). Dziekan Wydziału Nauki o Żywności przyznał mi trzy nagrody w dziedzinie naukowej (2001, 2008 i 2009) oraz dwie nagrody w dziedzinie organizacyjnej (2013 i 2015). Odbyłam 3 staże: jeden zawodowy, jeden naukowy i naukowo-dydaktyczny.

Brałam udział w kilkunastu warsztatach i szkoleniach, podnosząc swoje kwalifikacje dydaktyczne i wiedzę naukową. Posiadam certyfikat audytora wewnętrznego systemów zarządzania bezpieczeństwem zdrowotnym żywności ISO 22000:2005, audytora wewnętrznego zintegrowanych systemów zarządzania jakością, środowiskowego oraz BHP, oraz pełnomocnika kierownictwa zintegrowanych systemów zarządzania jakością, środowiskowego oraz BHP.

Obecnie jestem promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim. Dotychczas byłam promotorem 105 prac dyplomowych, w tym 40 inżynierskich i 65 prac magisterskich, a także recenzentem 28 prac dyplomowych studentów Wydziału Nauki o Żywności. W czasie mojego zatrudnienia prowadziłam zajęcia dla studentów trzech wydziałów (Nauki o Żywności, Nauk Medycznych, Bioinżynierii Zwierząt) i sześciu kierunków studiów oraz na jednym kierunku studiów podyplomowych na Wydziale Nauk Ekonomicznych. Przygotowuję i prowadzę wykłady z 7 przedmiotów oraz ćwiczenia z 17 przedmiotów, w tym jestem koordynatorem 5 przedmiotów na kierunkach: technologia żywności i żywienie człowieka, gastronomia - sztuka kulinarna oraz towaroznawstwo. Od 2003 r. jestem również opiekunem i koordynatorem praktyk na kierunku towaroznawstwo Wydziału Nauki o Żywności.

Aktywnie uczestniczę w życiu uczelni i wydziału. Od trzech kadencji jestem członkiem Komisji dyscyplinarnej ds. studentów UWM w Olsztynie, a od 2013 r. przewodniczącą tej komisji. Piątą kadencję jestem przedstawicielem nauczycieli akademickich w Radzie Wydziału. Byłam przez ten czas członkiem pięciu komisji wydziałowych oraz członkiem zespołu programowego ds. wdrażania KRK towaroznawstwo i członkiem zespołu nowelizacji przedmiotów i specjalności na kierunku towaroznawstwo. Przez 5 lat układałam plan zajęć na wydziale, przez 17 lat byłam członkiem Komisji Rekrutacyjnej w tym 10-krotnie sekretarzem tej komisji, Jeden raz byłam również opiekunem roku studentów na kierunku towaroznawstwo. Aktywnie promując wydział, brałam trzykrotnie udział w Olsztyńskich Dniach Nauki, prowadziłam zajęcia na kursach zorganizowanych w macierzystej katedrze dla uczniów szkół średnich o profilu spożywczym. Ponadto udzielałam autoryzowanych wywiadów do prasy uniwersyteckiej i lokalnej oraz uczestniczyłam w audycjach radiowych dotyczących bezpieczeństwa i jakości żywności.

Intensywnie współpracuję z otoczeniem gospodarczym i innymi ośrodkami naukowymi, m.in. wykonałam, organizowałam i koordynowałam kilkanaście szkoleń i kursów dla pracowników laboratoriów branży spożywczej oraz pracowników gastronomii. Ponadto wykonałam kilkaset analiz składu surowców i produktów spożywczych oraz

ekspertyz na zamówienie zakładów przemysłu spożywczego i farmaceutycznego, a także w ramach współpracy z innymi ośrodkami naukowymi.

Zestawienie dorobku naukowego

Kategoria	Liczba publikacji	IF ¹	Liczba cytowań ²	Punkty MNiSW ³ wg aktualnego komunikatu
Oryginalne prace twórcze przed uzyskaniem stopnia doktora				
Publikacje w czasopismach recenzowanych innych niż znajdujące się w bazie Journal Citation Reports (JCR)	2	-	-	26
Oryginalne prace twórcze po uzyskaniu stopnia doktora				
<i>Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia</i>				
Publikacje w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)	4	9,820	14	140
<i>Publikacje inne nie wchodzące w skład osiągnięcia</i>				
Publikacje w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)	9	11,433	43	210
Publikacje w czasopismach innych niż znajdujące się w bazie Journal Citation Reports (JCR)	13	0,491	-	128
Publikacje w monografiach naukowych w języku angielskim	7	-	-	35
Publikacje w monografiach naukowych w języku polskim	4	-	-	16
Referaty, komunikaty i doniesienia naukowe na konferencjach krajowych i międzynarodowych				
- przed uzyskaniem stopnia doktora	7	-	-	-
- po uzyskaniu stopnia doktora (w tym uwzględnione w Web of Science)	51	-	-	105
Razem cały dorobek naukowy	97	21,744	57	660

¹ Impact factor wg listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania (w przypadku publikacji z 2016 i 2017, dla których IF nie został obliczony, podano ostatni aktualny).

² Liczba cytowań wg Web of Science na dzień 1 kwietnia 2017.

³ Punkty MNiSW wg Komunikatu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 9 grudnia 2016 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych wraz z liczbą punktów przyznawanych za publikacje w tych czasopismach.

J. Michalala