
AUTOREFERAT

OPIS DOROBKU I OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH

DR INŻ. JUSTYNA ŻULEWSKA

KATEDRA MLECZARSTWA I ZARZĄDZANIA JAKOŚCIĄ
WYDZIAŁ NAUKI O ŻYWNOŚCI
UNIwersytet WARMIŃSKO-MAZURSKI W OLSZTYNIE
10-719 OLSZTYN, UL. OCZAPOWSKIEGO 7
TEL. 89 523 42 20
e-mail: justyna.zulewska@uwm.edu.pl

OLSZTYN 2015

SPIS TREŚCI

| | | |
|------|---|----|
| I. | DANE OSOBOWE..... | 3 |
| II. | POSIADANE DYPLOMY I STOPNIE NAUKOWE..... | 3 |
| III. | INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH..... | 4 |
| IV. | 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..... | 5 |
| | A) TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA..... | 5 |
| | B) PUBLIKACJE NAUKOWE WCHODZĄCE W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO..... | 5 |
| | C) OMÓWIENIE PUBLIKACJI WCHODZĄCYCH W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO..... | 7 |
| V. | OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH..... | 18 |
| VI. | PODSUMOWANIE DOROBKU NAUKOWO-BADAWCZEGO..... | 30 |

JUSTYNA ŻULEWSKA

I. DANE OSOBOWE

Adres zamieszkania: ul. Pliszki 20, 11-041 Olsztyn
Adres służbowy: ul. Oczapowskiego 7, 10-719 Olsztyn
K: +48 606 493 583
T: +48 89 523 42 20
e-mail: justyna.zulewska@uwm.edu.pl
Data i miejsce urodzenia: 13.11.1975 r. Rypin

II. POSIADANE DYPLOMY I STOPNIE NAUKOWE

Magister inżynier na kierunku technologia żywności i żywienie człowieka w zakresie technologii mleczarskiej

Akademia Rolniczo-Techniczna w Olsztynie
1999

Praca dyplomowa na temat: *Badanie wpływu przechowywania na właściwości funkcjonalne i fizykochemiczne kazeinianu sodu i koncentratu białek serwatkowych.*

Promotor: prof. dr hab. Jerzy Szpendowski

Doktor nauk rolniczych w zakresie technologii żywności i żywienia

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
2004

Tytuł rozprawy: *Wpływ technologii produkcji na właściwości fizykochemiczne i funkcjonalne preparatów z serwatki otrzymanych w różnych warunkach przemysłowych.*

Promotor: prof. dr hab. Zbigniew Śmietana

Dyplom Menedżera Badań Naukowych i Prac Rozwojowych

2012

Studia podyplomowe w ramach projektu Kompetencje dla współpracy nauki i biznesu

Menedżerskie studia podyplomowe dla sektora B+R

Polska Fundacja Ośrodków Wspomagania Rozwoju Gospodarczego „OIC Poland”

Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie

Praca dyplomowa na temat: *Innowacje w projektowaniu bezpieczeństwa mikrobiologicznego produktów ready-to-cook*

III. INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH**Doktorant**

01.12.1999-02.07.2004

Dzienne studia doktoranckie

Wydział Nauki o Żywności

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Technolog

01.04.2003-31.05.2006

Warmińsko-Mazurskie Centrum Doskonałości Mleczarstwa WAMADAIREC

Projekt w 5 Programie Ramowym Komisji Europejskiej

Instytut Rozwoju Mleczarstwa

Wydział Nauki o Żywności

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Menadżer

10.01.2010-30.09.2010 – 12/100 etatu

Modularny i przenośny wirtualny symulator mleczarski

Projekt w Programie Leonardo da Vinci w ramach Projektów Wielostronnych: Transfer Innowacji

Katedra Mleczarstwa i Zarządzania Jakością

Wydział Nauki o Żywności

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Visiting Scientist

16.06.2007-20.02.2009

08.06.2009-25.09.2009

20.06.2010-17.09.2010

01.07.2011-31.08.2011

Department of Food Science

College of Agriculture and Life Science

Cornell University

Ithaca, NY, USA

Adiunkt

01.06.2006-31.12.2007 – ½ etatu

01.01.2008 *dotychczas*

03.11.2011-06.02.2012 – zwolnienie lekarskie

07.02.2012-25.06.2012 – urlop macierzyński

Katedra Mleczarstwa i Zarządzania Jakością

Wydział Nauki o Żywności

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

IV. 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. nr. 65, poz. 595 ze zm.):

A) TYTUŁ OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Studia nad określeniem czynników warunkujących rozdział białek serum mleka i kazeiny micelarnej metodą mikrofiltracji.

Rozprawę habilitacyjną stanowi spójny tematycznie cykl publikacji. Wszystkie prace zostały zrealizowane podczas stażu naukowego w Department of Food Science, College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University, Ithaca, NY, USA (Cornell University znajduje się na 3. pozycji w Światowym Rankingu Uniwersytetów w dziedzinie Nauk Rolniczych). Staż odbyłam w zespole Profesora Davida Barbano, renomowanego specjalisty w zakresie analityki mleczarskiej i produkcji serowarskiej.

B) PUBLIKACJE WCHODZĄCE W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

1. **Żulewska J.**, Newbold M.W., Barbano D.M. 2009. *Efficiency of serum protein removal from skim milk with ceramic and polymeric membranes at 50°C*. Journal of Dairy Science, 92 (4): 1361-1377.

IF¹¹ = 2,463; punkty MNiSW² = 45; Liczba cytowań³ = 19

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań, zaplanowaniu doświadczenia, doborze metod analitycznych, nadzorze nad produkcją i wykonywanymi analizami, analizie wyników, interpretacji wyników, napisaniu publikacji. Mój udział procentowy wynosi 77%.

2. Hurt E.E., **Żulewska J.**, Newbold M.W., Barbano D.M. 2010. *Micellar casein concentrate production with a 3X, 3-stage UTP ceramic membrane process at 50°C*. Journal of Dairy Science, 93 (12): 5588–5600.

IF¹ = 2,497; punkty MNiSW²² = 45; Liczba cytowań³³ = 10

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w opracowaniu koncepcji badań, planowaniu doświadczenia, doborze metod analitycznych, nadzorze nad produkcją i wykonywanymi analizami, analizie wyników, interpretacji wyników, współudziale w pisaniu publikacji. Mój udział procentowy wynosi 30%.

¹ Impact factor według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania (Dla publikacji z 2014, dla których IF nie został obliczony podano ostatni aktualny).

² Punkty MNiSW - Załącznik do komunikatu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 31 grudnia 2014 r.

³ Liczba cytowań według Web of Science na dzień 20 marca 2015 roku.

3. Beckman, S.L., **Żulewska J.**, Newbold M.W., Barbano D.M.. 2010. *Production efficiency of micellar casein concentrate using polymeric spiral-wound microfiltration membranes*. Journal of Dairy Science, 93 (10): 4506-4517.

IF¹ = 2,497; punkty MNiSW² = 45; Liczba cytowań³ = 6

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na współudziale w opracowaniu koncepcji badań, planowaniu doświadczenia, doborze metod analitycznych, nadzorze nad produkcją i wykonywanymi analizami, analizie wyników, interpretacji wyników, współudziale w pisaniu publikacji. Mój udział procentowy wynosi 25%.

4. **Żulewska J.**, Barbano D.M. 2013. *Influence of casein on flux and passage of serum proteins (SP) during microfiltration (MF) using polymeric spiral-wound (SW) membranes at 50°C*. Journal of Dairy Science, 96 (4): 2048–2060.

IF¹ = 2,550; punkty MNiSW² = 45; Liczba cytowań³ = 2

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań, zaplanowaniu doświadczenia, doborze metod analitycznych, nadzorze nad produkcją i wykonywanymi analizami, analizie wyników, interpretacji wyników, napisaniu publikacji. Mój udział procentowy wynosi 80%.

5. **Żulewska J.**, Barbano D.M. 2014. *The effect of linear velocity and flux on performance of ceramic graded permeability membranes when processing skim milk at 50°C*. Journal of Dairy Science, 97 (5): 2619-2632.

IF¹ = 2,550 ; punkty MNiSW² = 45; Liczba cytowań³ = 0

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu koncepcji badań, zaplanowaniu doświadczenia, doborze metod analitycznych, nadzorze nad produkcją i wykonywanymi analizami, analizie wyników, interpretacji wyników, napisaniu publikacji. Mój udział procentowy wynosi 80%.

Łącznie

IF¹ = 12,557

Punkty MNiSW² = 225

Liczba cytowań³ = 37

¹ Impact factor według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania (Dla publikacji z 2014, dla których IF nie został obliczony podano ostatni aktualny).

² Punkty MNiSW - Załącznik do komunikatu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 31 grudnia 2014 r.

³ Liczba cytowań według Web of Science na dzień 20 marca 2015 roku.

C. OMÓWIENIE PUBLIKACJI WCHODZĄCYCH W SKŁAD OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

1. Wprowadzenie

Mikrofiltracja (MF) to oprócz ultrafiltracji, nanofiltracji i odwróconej osmozy, jeden z podstawowych procesów membranowych stosowanych w przetwórstwie żywności. Główną korzyścią procesów membranowych w porównaniu z tradycyjnymi technikami separacji jest brak konieczności stosowania przemian fazowych oraz możliwość zachowania pożądanych fizycznych i chemicznych cech kluczowych składników żywności.

Do najważniejszych kierunków zastosowań MF w przemyśle mleczarskim należą: usuwanie bakterii i przetrwalników z mleka oraz frakcjonowanie kazeiny micelarnej i białek serum (Saboya i Maubois, 2000). W obu przypadkach rozdział bazuje na procesie fizycznym, którego podstawą jest różnica wielkości pomiędzy rozdzielanymi cząsteczkami (np. białka) a porami membrany. Membrany MF stosowane do usuwania bakterii z mleka odtłuszczonego posiadają pory o średnicy 1,4 μm , w przypadku frakcjonowania białek stosuje się membrany o średnicy porów w zakresie od 0,1 do 0,3 μm .

Prawdziwy przełom w zastosowaniu MF na skalę przemysłową nastąpił w latach 80. XX wieku wraz z opracowaniem membran ceramicznych. To pozwoliło na zastosowanie koncepcji jednolitego ciśnienia transmembranowego (uniform transmembrane pressure; UTP) zaproponowanego przez Sandblom'a (1978). System UTP posiada oprócz pompy zasilającej i pompy recyrkulacji retentatu, również pompę permeatu, która wywołuje przepływ permeatu w pętli cyrkulacyjnej równoległe do kierunku przepływu retentatu. Uzyskane ciśnienie transmembranowe jest stosunkowo niskie i jednolite na całej długości membrany. Prace prowadzone od tamtej pory nad uzyskaniem korzyści z zastosowania UTP w alternatywny sposób doprowadziły do opracowania membran ceramicznych Graded Permeability (GP) i Isoflux (Garcera i Toujas, 2002; Grangeon i in., 2002). Membrany GP mają równomierną grubość i porowatość warstwy selektywnej, natomiast przepuszczalność warstwy nośnej zmienia się wzdłuż długości membrany, kreując większy opór dla przepływu permeatu na wlocie retentatu a mniejszy na wylocie (Garcera i Toujas, 2002). Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest utrzymanie stałego i jednolitego natężenia permeacji wzdłuż całej długości membrany, eliminując tym samym konieczność wprowadzania pompy permeatu i redukując koszty pracy. Innym rozwiązaniem zmierzającym do redukcji kosztów operacyjnych związanych z zastosowaniem pętli recyrkulacji permeatu (tak jak w systemie UTP), przy jednoczesnej kontroli zarastania membran jest system ISOFLUX. Membrany ISOFLUX (Grangeon i in., 2002) charakteryzują się stopniowym gradientem grubości warstwy aktywnej wzdłuż długości membrany (Saboya i Maubois, 2000) i równomierną porowatością ceramicznej warstwy nośnej. Obok membran ceramicznych, również membrany polimerowe znajdują zastosowanie w mikrofiltracji mleka. Podstawową korzyścią z zastosowania membran polimerowych jest niższy, w porównaniu z membranami ceramicznymi, koszt instalacji, niemniej jednak wymagają one częstszych wymian.

Należy podkreślić, że rodzaj stosowanych membran szczególnie w odniesieniu do frakcjonowania białek mleka ma ogromny wpływ na stopień rozdziału białek a tym samym wydajność i ekonomikę procesu (Beckman i in., 2010; Hurt i in., 2010; Żulewska i in., 2009).

Rozdział miceli kazeinowych i białek serum w procesie mikrofiltracji mleka z zastosowaniem membran ceramicznych o średnicy porów $0,1 \mu\text{m}$ w dużym stopniu zależy od selektywności membrany (Brans i in., 2004) oraz siły nośnej działającej na cząstki w strumieniu zasilającym jako rezultat turbulentnego przepływu (Altmann i Ripperger, 1987). W przypadku zastosowania membran polimerowych rozdział kazeiny i białek serum zależy w dużej mierze od właściwości membrany i warstwy osadu odkładającego się na membranie (Riedl i in., 1988). Skład retentatów i permeatów, otrzymywanych w procesie mikrofiltracji z zastosowaniem membran ceramicznych lub polimerowych, może się różnić, co wpływa na właściwości funkcjonalne i sensoryczne otrzymanych produktów.

Zastosowanie MF w przetwórstwie mleka w celu rozdziału głównych frakcji białek: kazeiny i białek serum, umożliwia otrzymanie produktów o unikalnych właściwościach. Permeat otrzymany w wyniku rozdziału na membranach MF wykazuje skład podobny do serwatki podpuszczkowej, gdzie głównymi składnikami są β -laktoglobulina (β -LG), α -laktoalbumina (α -LA), laktoza, sole mineralne oraz azot niebiałkowy (Żulewska i in., 2009). Permeat MF jest klarowny, sterylny, nie zawiera fagów, i stanowi bardzo dobry surowiec do produkcji koncentratów i izolatów białek serum (Saboya i Maubois, 2000). Dzięki zastosowaniu ultrafiltracji istnieje możliwość produkcji koncentratów białek serum (ang. Serum Protein Concentrate, SPC) o zawartości białka 34 i 80% będących odpowiednikami koncentratów białek serwatkowych (ang. Whey Protein Concentrate, WPC). Należy jednak pamiętać, że ze względu na różnice w składzie między SPC a WPC, głównie wyższą zawartość tłuszczu i obecność glikomakropeptydu w WPC, właściwości funkcjonalne i sensoryczne tych produktów mogą się różnić. Frakcjonowanie białek mleka za pomocą MF stosuje się na skalę przemysłową relatywnie od niedawna, przez co brak jednoznacznych terminów określających produkty uzyskane w wyniku rozdziału mleka na membranach MF. Permeat MF często jest określany mianem 'idealnej serwatki', mimo że z procesem produkcji sera i serwatką nie ma nic wspólnego. Pierwszą i najbardziej rozpowszechnioną metodą pozyskiwania białek serum mleka był proces produkcji sera, w którym białka serum przechodziły do serwatki, w związku z czym zaczęto powszechnie stosować określenie 'białka serwatkowe'. Niemniej jednak, istnieje różnica pomiędzy białkami serum i białkami serwatkowymi. Te pierwsze są pozyskiwane bezpośrednio z mleka, te drugie są otrzymywane z serwatki po produkcji sera. W literaturze specjalistycznej od dawna stosuje się określenie białka serum. Mleko po oddzieleniu tłuszczu i miceli kazeinowych nazywane jest serum, a białka w nim zawarte nazywane są białkami serum mleka (Walstra i in., 1999).

W procesie MF mleka odtłuszczonego z wykorzystaniem membran ceramicznych o średnicy porów ok. $0,1 \mu\text{m}$ uzyskuje się retentat będący koncentratem kazeiny micelarnej (ang. micellar casein concentrate; MCC) o zredukowanej zawartości białek serum. Retentat MF bogaty w kazeinę wykazuje wiele pożądanych technologicznie właściwości (np. zmniejszenie zużycia mleka na kg sera, skrócenie czasu uzyskania skrzepu, bardziej zwięzły skrzep, mniej pyłu kazeinowego) szczególnie w odniesieniu do produkcji serów (Caron i in., 1997; Neocleous i in., 2002a, 2002b; Saint-Gelais i in., 1998).

Głównym problemem podczas procesu mikrofiltracji w przemyśle mleczarskim jest zarastanie membran (Brans i in., 2004; Marshall i in., 1993), określane w praktyce przemysłowej mianem foulingu (z ang. fouling). Zarastanie membran jest bezpośrednią przyczyną spadku strumienia permeatu, co z kolei wpływa na zmniejszenie wydajności

procesu. Różne rozwiązania projektowe modułów mikrofiltracyjnych (membrany ceramiczne UTP, GP czy ISOFLUX) mogą przyczyniać się do optymalizacji procesu. Proces mikrofiltracji z zastosowaniem membran ceramicznych prowadzi się przy wysokich prędkościach przepływu krzyżowego (Altmann i Ripperger, 1997). Naprężenie ścinające (τ_w), które jest wprost proporcjonalne do prędkości przepływu krzyżowego (Samuelsson i in., 1997), wywołuje przepływ burzliwy minimalizując tym samym zarastanie membran. Zwiększenie prędkości przepływu krzyżowego może spowodować wyższy stopień przechodzenia białek serum i lepszą skuteczność rozdzielania. W przypadku membran polimerowych rozdzielanie zależy w dużym stopniu od fizycznych i chemicznych warunków prowadzenia procesu oraz właściwości strumienia zasilającego.

Dlatego też, w celu optymalnego rozdzielania składników istotne jest zrozumienie wpływu poszczególnych parametrów rozdzielania i interakcji pomiędzy indywidualnymi składnikami mleka zachodzącymi w danych warunkach procesu.

2. Cel i zakres badań

Głównym celem podjętych badań była ocena skuteczności frakcjonowania kazeiny i białek serum z mleka odtłuszczonego metodą mikrofiltracji przy zastosowaniu membran ceramicznych i polimerowych, zdefiniowanie kluczowych czynników warunkujących ten rozdział oraz ocena właściwości uzyskanych produktów.

Wyznaczono następujące cele szczegółowe:

- Porównanie strumienia permeatu (ang. flux) i skuteczności rozdzielania białek serum przy zastosowaniu trzech różnych rodzajów membran: ceramicznych UTP; ceramicznych GP i polimerowych spiralnie zwijanych (ang. spiral wound, SW) w trakcie mikrofiltracji mleka odtłuszczonego w temperaturze 50°C dla procesu ciągłego przy 3-krotnym współczynniku zagęszczenia;
- Określenie parametrów procesu produkcji koncentratu kazeiny micelarnej o zredukowanej o 95% zawartości białek serum z zastosowaniem membran ceramicznych UTP i membran polimerowych spiralnie zwijanych podczas mikrofiltracji mleka odtłuszczonego w temperaturze 50°C;
- Określenie wpływu zawartości kazeiny w strumieniu zasilającym na przebieg procesu rozdzielania białek serum w trakcie mikrofiltracji mleka odtłuszczonego z zastosowaniem membran polimerowych spiralnie zwijanych;
- Określenie wpływu prędkości liniowej oraz prędkości przepływu permeatu i retentatu na skuteczność rozdzielania składników mleka odtłuszczonego przy zastosowaniu membran Membralox GP o średnicy porów 0,1 μm .

Badania prowadzono z wykorzystaniem mleka odtłuszczonego poddawanego obróbce termicznej w temperaturze 72°C w czasie 16 s dla zapewnienia minimalnego stopnia denaturacji białek serwatkowych. Proces mikrofiltracji prowadzono z wykorzystaniem stacji pilotażowej (Tetra Alcross MFS-7, TetraPak Filtration Systems, Aarhus, Dania) wyposażonej w membrany ceramiczne UTP (model EP1940GL0.1 μA , 0,1 μm , materiał: tlenek glinu, Pall

Corp., East Hills, NY) lub membrany ceramiczne GP (Membralox GP, model EP1940GL0.1 μ AGP1020, 0,1 μ m, materiał: tlenek glinu, Pall Corp.). W przypadku membran polimerowych stosowano układ do mikrofiltracji mleka wyposażony w membrany spiralnie zwijane (SW; model FG7838-OS0x-S, 0,3 μ m, materiał: polichlorek winylidenu, Parker-Hannifin, Process Advanced Filtration Division, Tell City, IN). Proces rozdziału prowadzono w temperaturze 50°C. W trakcie doświadczeń dokonywano stosownych pomiarów i analiz, a następnie obliczano takie parametry jak: strumień permeatu (flux), skuteczność i tempo rozdziału białek serum.

W doświadczeniu 4 (publikacja IV.B.4) strumień zasilający stanowiło, oprócz mleka odtłuszczonego, mleko „bezkazeinowe” (ang. casein free skim milk, CFSM) stanowiące permeat po mikrofiltracji mleka odtłuszczonego z wykorzystaniem membran ceramicznych UTP o średnicy porów 0,1 μ m. Większość produkcji prowadzono metodą ciągłą przy 3-krotnym współczynniku zagęszczenia. Jedynie proces mikrofiltracji CFSM prowadzono w systemie pełnej recyrkulacji (zarówno retentat jak i permeat były zawracane do zbiornika zasilającego).

3. Dokumentacja wyników i wnioski

Etap I

Na rynku dostępne są różne membrany (np. materiał, rozwiązania projektowe) przeznaczone do frakcjonowania białek mleka. Charakterystyka pracy poszczególnych urządzeń różni się, co może mieć również wpływ na skuteczność rozdziału określonych składników. Producenci membran prezentując swoje produkty, bardzo często skupiają się na bezpośrednich korzyściach wynikających m.in. z kosztu zakupu instalacji. W związku z brakiem jednoznacznych informacji dotyczących całkowitych kosztów eksploatacji różnych urządzeń MF, a przede wszystkim wpływu zastosowanego rozwiązania technicznego na skuteczność frakcjonowania składników mleka podjęłam badania zmierzające do porównania skuteczności rozdziału kazeiny micelarnej i białek serum podczas mikrofiltracji mleka odtłuszczonego z wykorzystaniem membran ceramicznych typu UTP i GP oraz membran polimerowych spiralnie zwijanych (SW).

Mleko surowe (2710 kg) poddawano wirowaniu, a następnie pasteryzacji (72°C, 16 s) i podzielono na trzy części, z których każdą poddawano procesowi mikrofiltracji w celu frakcjonowania białek mleka. Proces mikrofiltracji prowadzono z wykorzystaniem stacji pilotażowej wyposażonej w membrany ceramiczne o różnych rozwiązaniach projektowych: UTP, GP oraz membrany polimerowe spiralnie zwijane (SW).

Strumień permeatu dla membran ceramicznych UTP i GP oraz polimerowych SW różnił się istotnie (odpowiednio 54,08, 71,79 i 16,21 kg/m²/h) podczas mikrofiltracji mleka odtłuszczonego w 50°C w systemie ciągłym przy 3-krotnym współczynniku zagęszczenia. Natężenie przepływu permeatu wpływa na powierzchnię membran wymaganą do przerobu określonej ilości mleka w danym czasie, tak więc im mniejszy strumień permeatu tym większe zapotrzebowanie na powierzchnię membranową.

Stwierdzono, że zawartość białka właściwego w permeacie uzyskanym przy użyciu membran UTP i GP była wyższa niż w permeacie z membran polimerowych

SW (odpowiednio 0,57, 0,56 i 0,38%). Jak wykazała analiza żeli elektroforetycznych (SDS-PAGE), permeaty GP i SW wykazywały wyższą zawartość kazeiny aniżeli permeaty UTP, przy czym najwyższy stopień przenikania (tempo rozdziału) kazeiny w zadanych warunkach procesu stwierdzono dla membran GP. Ponadto, permeaty GP i SW charakteryzowały się nieznacznym zmętnieniem co mogło być spowodowane obecnością kazeiny. W finalnych produktach, gdzie pożądana jest ich klarowność, dodatek mętnych permeatów może stanowić pewien czynnik ograniczający ich zastosowanie w technologii. Stwierdzono wyższy stopień przenikania β -laktoglobuliny dla membran ceramicznych niż polimerowych. Skuteczność rozdziału białek serum dla procesu MF prowadzonego w systemie ciągłym przy 3-krotnym współczynniku zagęszczenia w temperaturze 50°C wynosiła 64,40% dla UTP, 61,04% dla GP i 38,62% dla membran SW. Membrany polimerowe SW charakteryzowały się znacznie mniejszym stopniem przenikania białek serum niż membrany ceramiczne, co potwierdziły również dane z SDS-PAGE. W celu produkcji koncentratu kazeiny micelarnej o zredukowanej o 60 do 65% zawartości białek serum z wykorzystaniem membran polimerowych SW konieczne byłoby zastosowanie wieloetapowego procesu (mikrofiltracja z diafiltracją), podczas gdy z wykorzystaniem membran ceramicznych (UTP i GP) zakładany cel może zostać osiągnięty po jednoetapowym procesie.

Przedstawione wyniki opisano w publikacji:

1. **Żulewska J.**, Newbold M.W., Barbano D.M. 2009. *Efficiency of serum protein removal from skim milk with ceramic and polymeric membranes at 50°C*. Journal of Dairy Science, 92 (4): 1361-1377 (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IB: 1).

Etap II

Wyniki uzyskane w pierwszym etapie stały się przesłanką do podjęcia dalszych badań nad określeniem warunków prowadzenia procesu mikrofiltracji mleka odtłuszczonego w temperaturze 50°C w celu produkcji koncentratu kazeiny micelarnej o zredukowanej o 95% zawartości białek serum z zastosowaniem membran ceramicznych UTP i membran polimerowych SW. Oszacowano, że w wyniku mikrofiltracji mleka odtłuszczonego w systemie ciągłym przy zastosowaniu 3-krotnego współczynnika zagęszczenia istnieje możliwość usunięcia 68,6% białek serum, pod warunkiem, że membrana nie odrzuca białek serum. W celu usunięcia większej ilości białek serum, rozpuszczalnych składników mineralnych i laktozy z koncentratu kazeiny micelarnej należy rozważyć prowadzenie wieloetapowego procesu. Micele kazeinowe wykazują dobrą stabilność termiczną, podczas gdy białka serwatkowe są termolabilne i podlegają denaturacji w temperaturze powyżej 70°C. Laktoza także ulega termicznej degradacji, m.in. reakcjom Maillarda, prowadzącym do powstania wad smaku i brązowej barwy. Teoretycznie, 97% białek serum można usunąć z mleka odtłuszczonego w 3-etapowym procesie MF mleka przy 3-krotnym współczynniku zagęszczenia, przy czym rzeczywista wartość redukcji zawartości białek serum i wydatek koncentratu kazeiny micelarnej będzie zależał od wielu parametrów prowadzenia procesu. Brak jest danych literaturowych dotyczących rzeczywistej wartości skuteczności rozdziału białek serum w 3-etapowym procesie mikrofiltracji/diafiltracji z zastosowaniem membran ceramicznych UTP lub polimerowych spiralnie zwijanych.

Biorąc powyższe pod uwagę, podjęto badania w celu określenia skuteczności rozdziału białek serum ogółem oraz z poszczególnych jednostkowych etapów mikrofiltracji. Ciągły proces mikrofiltracji mleka odtłuszczonego prowadzono z zastosowaniem membran ceramicznych UTP o średnicy porów 0,1 μm przy 3-krotnym (3X) współczynniku zagęszczenia i w temperaturze 50°C. Każdy proces składał się z trzech etapów: mikrofiltracji (etap 1.) i dwóch etapów diafiltracji (etap 2. i 3.), w której retentat z poprzedniego procesu rozcieńczano wodą do uzyskania początkowej masy nadawy. Porównano różne sposoby obliczania skuteczności rozdziału białek serum: na podstawie zawartości białek serum w mleku i retentatach z każdego etapu (metoda Kjeldahla), na podstawie zawartości białek serum w mleku i permeatach (metoda Kjeldahla), oraz na podstawie analiz elektroforetycznych (SDS-Page) retentatów. Skuteczność rozdziału białek serum dla poszczególnych etapów 3-etapowego procesu MF z zastosowaniem membran ceramicznych UTP wyniosła odpowiednio 64,8%, 87,8% i 98,3% dla pierwszego, drugiego i trzeciego etapu, gdy obliczeń dokonywano na podstawie masy białek serum w permeatach. Biorąc pod uwagę ograniczenia analityczne, obliczanie skuteczności rozdziału białek serum na podstawie masy białek serum w mleku odtłuszczonym i masy białek serum w finalnym permeacie pozwoliło w najlepszy sposób oszacować skuteczność rozdziału SP w trakcie procesu mikrofiltracji. Skuteczność rozdziału białek serum obliczona na podstawie analizy retentatów (metoda Kjeldahla) była niższa aniżeli ta obliczona na podstawie analizy permeatów lub analiz elektroforetycznych retentatów. Oznaczanie zawartości azotu niekazeinowego (ang. non-casein nitrogen, NCN) w retentatach (3X współczynnik zagęszczenia) zgodnie z metodyką dla mleka, przyczynia się do przeszacowania zawartości NCN i białek serum w retentatach z uwagi na niecałkowitą precypitację kazeiny w retentatach. Konieczne są dalsze badania w celu modyfikacji metodyki oznaczania NCN w mleku i retentatach o wyższej zawartości białka niż w mleku krowim.

Z uwagi na wyższe koszty eksploatacyjne mikrofiltracji (MF) z zastosowaniem membran ceramicznych, należy rozważyć prowadzenie procesu z zastosowaniem membran polimerowych. Do tej pory stosunkowo niewiele badań dotyczyło zastosowania membran polimerowych spiralnie zwijanych (SW). Wyniki wcześniejszych badań własnych wykazały niższą skuteczność rozdziału białek serum gdy proces MF prowadzony był z zastosowaniem membran polimerowych SW w porównaniu z membranami ceramicznymi UTP lub GP. Dlatego też, w kolejnym eksperymencie wyniki uzyskane podczas 3-etapowego (tj., etap 1. = Mikrofiltracja, etap 2. i 3. = Diafiltracja (DF)) procesu mikrofiltracji mleka odtłuszczonego z zastosowaniem membran polimerowych o średnicy porów 0,3 μm porównano z danymi dla procesu prowadzonego z zastosowaniem membran ceramicznych UTP.. Jak wykazały badania, podczas 3-etapowego procesu mikrofiltracji z zastosowaniem membran ceramicznych UTP o średnicy porów 0,1 μm istnieje możliwość redukcji zawartości białek serum o 95%. Natomiast, przy zastosowaniu membran polimerowych w adekwatnym procesie można zredukować zawartość białek serum jedynie o 70,3% (w etapach 1., 2. i 3. odpowiednio 38,6, 20,8, i 10,9%). Tempo rozdziału białek serum dla membran polimerowych było mniejsze we wszystkich 3 etapach (etapy 1., 2., i 3. odpowiednio: 0,05, 0,04, i 0,03 $\text{kg}/\text{m}^2/\text{h}$) aniżeli dla membran ceramicznych UTP (etapy 1., 2., i 3. odpowiednio: 0,30, 0,11, i 0,06 $\text{kg}/\text{m}^2/\text{h}$). Wskazuje to na niższą, w porównaniu z membranami ceramicznymi, skuteczność membran polimerowych do rozdziału białek serum z mleka odtłuszczonego gdy

proces mikrofiltracji jest prowadzony w temperaturze 50°C. Prawdopodobnie, membrana polimerowa wraz z warstwą osadu przyczyniała się do blokowania przenikania białek serum przez membranę. Na podstawie obliczeń wykazano, że w celu uzyskania 95% redukcji zawartości białek serum przy prowadzeniu procesu MF z użyciem membran polimerowych koniecznych jest dodatkowo 5 etapów (łącznie 8; MF i 7 DF), przy czym przyjęto, że tempo rozdziału białek serum w kolejnych etapach jest takie jak w etapie 3 (27,4%). Konsekwencją, 8-etapowego procesu mikrofiltracji z zastosowaniem membran polimerowych, byłoby uzyskanie dużych ilości permeatu i dłuższy czas MF/DF w porównaniu z procesem prowadzonym z zastosowaniem membran ceramicznych.

Przedstawione wyżej wyniki opisano w publikacjach:

2. Hurt E.E., **Żulewska J.**, Newbold M.W., Barbano D.M. 2010. *Micellar casein concentrate production with a 3X, 3-stage UTP ceramic membrane process at 50°C*. Journal of Dairy Science, 93 (12): 5588–5600 (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IB: 2).
3. Beckman, S.L., **Żulewska J.**, Newbold M.W., Barbano D.M.. 2010. *Production efficiency of micellar casein concentrate using polymeric spiral-wound microfiltration membranes*. Journal of Dairy Science, 93 (10): 4506-4517 (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IB: 3).

Etap III

Optymalny rozdział składników wymaga zrozumienia wpływu poszczególnych parametrów na przebieg procesu i interakcji pomiędzy indywidualnymi składnikami mleka zachodzącymi w danych warunkach procesu. Po analizie wyników z poprzednich doświadczeń podjęto badania zmierzające do określenia wpływu różnych parametrów procesu na skuteczność rozdziału i zarastanie membran. W tym etapie badań uwagę skupiono na membranach polimerowych SW i membranach ceramicznych GP.

W doświadczeniu 4 (publikacja IV.B.4) mleko surowe (około 1800 kg) poddano wirowaniu, pasteryzacji (72°C przez 16 s), a następnie podzielono na 2 części. Jedną porcję (620 kg) poddano mikrofiltracji (MF) przy użyciu stacji pilotażowej wyposażonej w membrany ceramiczne UTP. Uzyskany permeat stanowił mleko odtłuszczone „bezkazeinowe” (ang. casein-free skim milk; CFSM). CFSM poddano następnie mikrofiltracji z wykorzystaniem membran polimerowych spiralnie zwijanych (SW) przy 3-krotnym współczynniku zagęszczenia i temperaturze 50°C. Bezpośrednio po tym procesie, mikrofiltracji poddano drugą porcję mleka (1105 kg), z zastosowaniem tych samych membran, w celu określenia wpływu zawartości kazeiny w strumieniu zasilającym na przebieg procesu MF z wykorzystaniem membran polimerowych.

Gdy strumieniem zasilającym było CFSM, stwierdzono wysoki stopień przenikania białek serum przez membranę polimerową o średnicy porów 0,3 µm w temperaturze 50°C. Stwierdzono, że białka serum mleka (SP) przyczyniają się w niewielkim stopniu, jeśli w ogóle, do zarastania membran polimerowych PVDF. Natomiast, gdy strumieniem zasilającym było mleka odtłuszczone o normalnej zawartości kazeiny, odnotowano znacznie

niższy strumień permeatu (odpowiednio 17,2 i 80,2 kg/m²/h) i stopień rozdziału białek serum (odpowiednio 35,2 i 59,5%) w porównaniu z mlekiem „bezkazeinowym” (CFSM). W trakcie mikrofiltracji mleka odtłuszczonego z zastosowaniem membran polimerowych wykonanych z polichlorku winylidenu (PVDF), kazeina odgrywała rolę głównego czynnika powodującego zarastanie membran, przyczyniając się tym samym do wzrostu oporów hydraulicznych i mniejszego przenikania białek serum przez membranę.

W celu określenia wpływu prędkości liniowej oraz natężenia przepływu permeatu i retentatu na skuteczność rozdziału składników mleka odtłuszczonego, przy zastosowaniu membran Membralox GP o średnicy porów 0,1 μm przeprowadzono kolejne doświadczenie. W tym celu, mleko surowe (około 500 kg) poddano wirowaniu, a następnie pasteryzacji w temperaturze 72°C z czasem przetrzymywania 16 s. Mleko schłodzono do 4°C i przetrzymywano w tej temperaturze do czasu rozpoczęcia procesu. Mleko odtłuszczone poddawano mikrofiltracji przy użyciu stacji pilotażowej wyposażonej w membrany ceramiczne Membralox GP o nominalnej średnicy porów 0.1 μm. Na początku eksperymentu, urządzenie przepłukano około 155 kg mleka pasteryzowanego w celu usunięcia wody z systemu. Następnie, mleko (około 320 kg) poddano mikrofiltracji (etap 1.) w systemie ciągłym przy 3-krotnym współczynniku zagęszczenia. Retentat z etapu 1. rozcieńczono wodą uzyskaną w procesie odwróconej osmozy (woda RO), dodatkowo poddanej pasteryzacji, w proporcji 1:2 i poddano mikrofiltracji (etap 2.). Całość doświadczenia powtórzono 3-krotnie w układzie 3-etapowym, tj. etap 1. = Mikrofiltracja, etap 2. i 3. = Diafiltracja (DF). Otrzymane wyniki porównano z danymi uzyskanymi przez Hurt i in. (2010) dotyczącymi procesu mikrofiltracji mleka w temperaturze 50°C przy użyciu membran ceramicznych UTP.

W wyniku mikrofiltracji mleka odtłuszczonego przy zastosowaniu membran UTP i GP otrzymano retentaty o zbliżonym stopniu redukcji zawartości białek serum. Szybkość rozdziału białek serum (wyrażona jako ilość (kg) białek serum mleka, która przeniknęła przez m² membrany w jednostce czasu) była wyższa ($P < 0.05$) w przypadku membran GP dla każdego z etapów procesu, w porównaniu z membranami UTP. Wyższy stopień redukcji zawartości białek serum oraz szybsze tempo rozdziału białek serum stwierdzone dla membran GP, w porównaniu z membranami UTP, były spowodowane zastosowaniem większej prędkości przepływu krzyżowego.

Zwiększanie przepływu permeatu w kolejnych etapach procesu nie wpłynęło na przepuszczalność membran i poziom zarastania (foulingu). Wartość natężenia przepływu permeatu, niższa od wartości ograniczającej i wyższa od krytycznej, świadczy o częściowym zarastaniu membran. Krytyczny strumień permeatu (flux) stanowi funkcję prędkości przepływu krzyżowego, tak więc różnice w wartości krytycznego fluxu między membranami UTP i GP były spowodowane jedynie różnicami w tej prędkości (odpowiednio 6,6 i 7,12 m/s dla membran UTP i GP).

Badania uzupełniono o symulację zapotrzebowania na powierzchnię membranową do przerobu 1 miliona kilogramów mleka odtłuszczonego w czasie 18 godzin. Biorąc pod uwagę wartości strumienia permeatu uzyskane dla membran UTP i GP, obliczono, że system UTP wymagałby 34% więcej powierzchni membranowej w porównaniu do systemu GP. Dotychczas brak było w literaturze przedmiotu tego typu symulacji.

Spełnienie warunków, dla których możliwy jest proces MF przy wyższych wartościach fluxu, może przyczynić się do zmniejszenia zapotrzebowania na powierzchnię

membranową wymaganą do przerobu określonej ilości mleka w danym czasie. Mniejsza powierzchnia membran oznacza redukcję kosztów inwestycyjnych, mniejsze zużycie energii, wody i odczynników chemicznych do mycia instalacji MF.

Przedstawione wyżej wyniki opisano w publikacjach:

4. **Żulewska J.**, Barbano D.M. 2013. *Influence of casein on flux and passage of serum proteins (SP) during microfiltration (MF) using polymeric spiral-wound (SW) membranes at 50°C*. Journal of Dairy Science, 96 (4): 2048–2060 (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IB: 4).
5. **Żulewska J.**, Barbano D.M. 2014. *The effect of linear velocity and flux on performance of ceramic graded permeability membranes when processing skim milk at 50°C*. Journal of Dairy Science. 97 (5): 2619-2632 (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IB: 5).

4. Podsumowanie – aspekt aplikacyjny

Zastosowanie mikrofiltracji w przemyśle mleczarskim stwarza ogromne możliwości zarówno dla poprawy higieny i bezpieczeństwa produktów mleczarskich dzięki stosowaniu minimalnej obróbki termicznej mleka jak i pozyskiwania specyficznych składników mleka. Nowe produkty: koncentrat kazeiny micelarnej i koncentrat białek serum, otwierają nowe i zróżnicowane obszary w zakresie poprawy obecnie stosowanych procesów produkcyjnych, szeroko pojętej jakości produktów finalnych, a także w dziedzinie projektowania nowych produktów mleczarskich dla zaspokojenia ciągle rosnących potrzeb konsumentów.

Oferowane przetwórcom mleka membrany przeznaczone do mikrofiltracji w celu rozdziału białek różnią się m.in. pod względem wykonanych materiałów jak i rozwiązań projektowych. Z jednej strony, istnieje szeroki wybór membran polimerowych, np. spiralnie zwijane, których koszt jest stosunkowo niski, podobnie jak zapotrzebowanie na energię, jednak ich stabilność chemiczna jest relatywnie niska. Z drugiej strony, proces mikrofiltracji mleka może być prowadzony z wykorzystaniem membran ceramicznych, które wykazują dużą odporność na chemiczne i fizyczne warunki procesu, np. mogą być stosowane w szerokim zakresie wartości pH (od 0,5 do 13,5) i temperatur (nawet powyżej 100°C). Niemniej jednak koszt instalacji wyposażonej w membrany ceramiczne jest wyższy w porównaniu do membran polimerowych. Wyniki przeprowadzonych badań wskazują jednoznacznie, że rodzaj membran zastosowanych w procesie mikrofiltracji mleka wpływa na skuteczność rozdziału, zawartość białka w retencji i permeacji oraz koszt procesu. W przypadku membran polimerowych, uzyskanie stopnia rozdziału białek serum na poziomie adekwatnym do tego dla membran ceramicznych wymaga wieloetapowego procesu, czego konsekwencją byłoby powstanie dużych ilości permeatu i dłuższy czas procesu MF/DF.

Przetwórcy mleka przy wyborze membran MF do rozdziału białek powinni rozważyć, nie tylko koszt instalacji, ale również wymagany skład i cechy produktów końcowych.

Dzięki przeprowadzonym badaniom można dokonać swoistej priorytetyzacji kluczowych parametrów podczas prowadzenia procesu mikrofiltracji. Podczas eksploatacji instalacji membranowej, szczególną uwagę należy zwrócić na strumień permeatu, tzw. flux,

czyli ilość (kg lub L) permeatu przenikającą przez jednostkę membrany (m^2) w jednostce czasu (godzina). Na podstawie strumienia permeatu można określić zapotrzebowanie na powierzchnię membranową do przerobu określonej ilości mleka. Innymi bardzo istotnymi parametrami są stopień redukcji zawartości białek serum (%) oraz tempo rozdziału białek serum (kg białek serum/ m^2/h). W wielu publikacjach i opracowaniach naukowych, dotyczących procesu frakcjonowania białek mleka metodą mikrofiltracji, brak jednoznacznych danych dotyczących stopnia redukcji zawartości białek serum. Dane dotyczące tempa rozdziału właściwie nie istnieją. Ilość (kg) białek serum jaka została usunięta z nadawy przez $1m^2$ membrany w ciągu 1h procesu może stanowić ekonomiczny wskaźnik procesu. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że stopień redukcji zawartości białek serum w wyniku procesu MF prowadzonego z zastosowaniem membran GP był nieznacznie niższy w porównaniu do membran UTP, niemniej jednak dzięki zastosowaniu membran GP (z uwagi na wyższe wartości fluxu) możliwe było uzyskanie szybszego tempa rozdziału białek serum.

Czynnikiem ograniczającym zastosowanie membran MF w przemyśle mleczarskim jest zjawisko zarastania. W celu ograniczenia zarastania membran i zapewnienia właściwej selektywności membran należy kontrolować wiele parametrów w trakcie prowadzenia procesu. Spadek natężenia przepływu permeatu, jako miara stopnia zarastania membran, jest często powiązany z interakcjami białko-membrana. Rodzaj i stężenie poszczególnych białek w strumieniu zasilającym mogą w różny sposób przyczyniać się do zarastania membran. Dodatkową kwestią jest wartość ciśnienia transmembranowego (TMP). Zgodnie z prawem Darcy'ego, strumień permeatu jest wprost proporcjonalny do zastosowanego TMP oraz odwrotnie proporcjonalny do lepkości strumienia zasilającego. Niemniej jednak, przy wysokich wartościach TMP może zachodzić ściskanie warstwy osadu, a tym samym większa rejekcja białek. Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że lepszym rozwiązaniem w przypadku membran polimerowych SW byłoby prowadzenie procesu przy niskim TMP w celu uzyskania wyższych natężeń przepływu permeatu i lepszej selektywności membran do rozdziału białek serum. W przypadku membran ceramicznych, w celu ograniczenia zjawiska zarastania membran proces należy prowadzić przy wysokich prędkościach przepływu krzyżowego, warunkujących również wartości naprężenia ścinającego. Proces filtracji w dużej mierze jest uzależniony od relacji pomiędzy strumieniem permeatu a naprężeniem ścinającym. Optymalny proces rozdziału składników podczas mikrofiltracji będzie zachodził gdy ta wartość będzie mniejsza od krytycznej. Wartość krytyczna, wynikająca ze stosunku strumień permeatu/naprężenie ścinające, pozwala w praktyce określić warunki procesu zapewniające wysoką produktywność, niskie koszty procesu i wymaganą procedurę mycia instalacji.

Wyniki prowadzonych prac naukowo-badawczych (wchodzących w skład osiągnięcia naukowego) prezentowałam na licznych (12) konferencjach/sympozjach krajowych i międzynarodowych (w tym 9 o charakterze międzynarodowym). Na spotkaniach tych prezentowane były postery (2) lub wygłaszane referaty (14), łącznie 16.

5. Literatura:

1. Altmann, J., S. Ripperger. 1997. Particle deposition and layer formation at the crossflow microfiltration. *J. Membr. Sci.* 124: 119–128.
2. Beckman, S.L., J. Żulewska, M.W., Newbold, D.M. Barbano. 2010. Production efficiency of micellar casein concentrate using polymeric spiral-wound microfiltration membranes. *J. Dairy Sci.* 93: 4506-4517.
3. Brans, G., C. G. P. H. Schroen, R. G. M. van der Sman, R. M. Boom. 2004. Membrane fractionation of milk: State of the art and challenges. *J. Membr. Sci.* 243: 263–272.
4. Caron, A., D. Saint-Gelais, Y. Pouliot. 1997. Coagulation of milk enriched with ultrafiltered or diafiltered microfiltered milk retentate powders. *Int. Dairy J.* 7: 445–451.
5. Garcera D., E. Toujas, inventors. 2002. Graded permeability macroporous support for crossflow filtration. Societe des Ceramiques Techniques, assignee. US Pat. No. US 6,375,014 B1.
6. Grangeon, V., P. Lescoche, T. Fleischmann, B. Ruschel, inventors. 2002. Cross-flow filter membrane and method to manufacture it. Technologies Avancees & Membranes Industrielles (Societe Anonyme), assignee. US Pat. No. 6,499,606 B1.
7. Hurt E., J. Żulewska, M.W. Newbold, D.M. Barbano. 2010. Micellar Casein Concentrate Production with a 3X, 3-stage UTP Ceramic Membrane Process at 50°C. *J. Dairy Sci.* 93: 5588-5600.
8. Marshall, A. D., P. A. Munro, and G. Tragardh. 1993. The effect of protein fouling in microfiltration and ultrafiltration on permeate flux, protein retention and selectivity: A literature review. *Desalination* 91: 65–108.
9. Neocleous, M., D. M. Barbano, M. A. Rudan. 2002a. Impact of low concentration factor microfiltration on composition and aging of Cheddar cheese. *J. Dairy Sci.* 85: 2425–2437.
10. Neocleous, M., D.M. Barbano, M. A. Rudan. 2002b. Impact of low concentration factor microfiltration on milk component recovery and Cheddar cheese yield. *J. Dairy Sci.* 85: 2415–2424.
11. Riedl K., B. Girard, and R.W. Lencki. 1998. Influence of membrane structure on fouling layer morphology during apple juice clarification. *J. Membr. Sci.* 139: 155-166.
12. Saboya, L.V., J.-L. Maubois. 2000. Current development of microfiltration technology in the dairy industry. *Lait* 80: 541–553.
13. Saint-Gelais, D., D. Roy, P. Audet. 1998. Manufacture and composition of low fat Cheddar cheese from milk enriched with different protein concentrate powders. *Food Res. Int.* 31: 137–145.
14. Samulsson G., I.H. Huisman, G. Tragardh, and M. Paulsson. 1997. Predicting limiting flux of skim milk in crossflow microfiltration. *J. Membr. Sci.* 129: 277-281.
15. Sandblom, R.M. 1978. Filtering process. Alfa-Laval AB, assignee. US Patent No. 4,105,547.
16. Walstra, P., T.J. Geurts, A. Noomen, A. Jellema, M.A.J.S. van Boekel. 1999. *Dairy Technology: Principles of Milk Properties and Processes.* Marcel Dekker, Inc., New York, NY.

17. Żulewska, J., M.W. Newbold, D.M. Barbano. 2009. Efficiency of serum proteins removal from skim milk with ceramic and polymeric membranes at 50°C. *J. Dairy Sci.* 92: 1361-1377.

V. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH

Po ukończeniu edukacji na poziomie szkoły średniej (Liceum Ogólnokształcące w Rypinie, profil: biologiczno-chemiczny) rozpoczęłam jednolite studia magisterskie na Wydziale Technologii Żywności Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie (aktualnie Wydział Nauki o Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie). W 1999 roku obroniłam pracę magisterską przygotowaną w Instytucie Rozwoju Mleczarstwa Akademii Rolniczo-Technicznej w Olsztynie uzyskując stopień naukowy magistra inżyniera technologii żywności i żywienia człowieka w zakresie technologii mleczarskiej. W tym samym roku podjęłam studia doktoranckie na Wydziale Nauki o Żywności Akademii Rolniczo-Technicznej, realizując pracę doktorską pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Zbigniewa Śmietany. Z dniem 1 kwietnia 2003 roku zostałam zatrudniona na stanowisku technologa w ramach projektu Warmińsko-Mazurskie Centrum Doskonałości Mleczarstwa WAMADAIREC. W dniu 2 lipca 2004 roku obroniłam z wyróżnieniem dysertację doktorską nt: *Wpływ technologii produkcji na właściwości fizykochemiczne i funkcjonalne preparatów z serwatki otrzymywanych w różnych warunkach przemysłowych*, otrzymując, decyzją Rady Wydziału, stopień naukowy doktora nauk rolniczych w zakresie technologii żywności i żywienia.

Od 1 czerwca 2006 roku jestem zatrudniona na stanowisku adiunkta (do 31.12.2007 roku w wymiarze ½ etatu) w Katedrze Mleczarstwa i Zarządzania Jakością (poprzednio Instytut Rozwoju Mleczarstwa) Wydziału Nauki o Żywności UWM w Olsztynie.

Kierunki mojej pracy badawczej stanowią kompilację własnych zainteresowań naukowych, bieżących trendów i problemów przemysłu mleczarskiego.

Z uwagi na szeroki zakres tematyki badań oraz kompleksowość i różnorodność metod badawczych większość prac naukowo-badawczych realizowałam w zespołach badawczych.

Realizowane przeze mnie badania skupiają się wokół następujących zagadnień:

- A) Właściwości funkcjonalne preparatów białkowych;
- B) Opracowywanie nowych produktów spożywczych;
- C) Żywność funkcjonalna – projektowanie, znakowanie;
- D) Aspekty technologiczne produkcji tłuszczu mlekowego i serów.

A) Właściwości funkcjonalne preparatów białkowych

W ramach tego kierunku badań podjęłam się oceny wpływu procesu produkcji na właściwości fizykochemiczne i funkcjonalne preparatów serwatkowych otrzymywanych różnymi metodami. Zastosowanie wybranych rozwiązań techniczno-technologicznych i dobór parametrów przetwórstwa serwatki pozwala na uzyskanie preparatów serwatkowych

o zróżnicowanym składzie chemicznym oraz różnych właściwościach fizyko-chemicznych i funkcjonalnych. Uzyskane preparaty charakteryzowały się generalnie dobrą rozpuszczalnością w szerokim zakresie pH. W środowisku wodnym o wartości pH 4.6 rozpuszczalność była najniższa dla proszku serwatkowego produkowanego tradycyjną metodą i proszku wstępnie zagęszczanego techniką odwróconej osmozy, co mogło być spowodowane zmianami denaturacyjnymi w procesie technologicznym. Stabilność cieplna obniżała się w miarę wzrostu stężenia składników suchej masy badanych preparatów. Wszystkie otrzymane preparaty serwatkowe charakteryzowały się dobrymi właściwościami emulgującymi, określonymi jako zdolność absorpcji tłuszczu, wydajność emulgowania i stabilność emulsji. Jednakże zawartość białka i stopień jego denaturacji, oraz zawartość tłuszczu wywierały duży wpływ na zdolność adsorpcji tłuszczu analizowanych preparatów. Koncentraty białek serwatkowych wykazywały dobre właściwości pianotwórcze, co niewątpliwie wiązało się z wysoką zawartością białka w tych preparatach. W koncentratkach białek serwatkowych minimalna zawartość białka (C_0) potrzebna do zapoczątkowania żelowania była zależna zarówno od wartości pH jak i siły jonowej. Wartość C_0 malała wraz z obniżaniem się wartości pH, przypuszczalnie ogrzewanie przy niższych wartościach pH ułatwiało rozwijanie struktury białek serwatkowych, jak również formowanie intermolekularnej siatki (Praca doktorska, Załącznik 4: Wykaz, pkt. IID: 1, pkt. IIIB: 1; 3; 5; 7; 13). Znaczna część prezentowanych badań wykonana została we współpracy międzynarodowej z Escola Superior de Biotecnologia, Universidade Catolica Portuguesa i Departamento de Quimica, Universidade de Aveiro w Portugalii. Badania dotyczące ilościowego i jakościowego (FPLC, SDS-Page) składu białek koncentratów białek serwatkowych oraz ich właściwości reologicznych prowadziłam w ww. ośrodkach we współpracy z dr Marią Estevez Pintado i dr Jose Lopes da Silva.

Substytucja tłuszczu mlekowego tłuszczem roślinnym staje się coraz bardziej rozpowszechniona. Wyroby tego typu mogą być doskonałym środkiem zastępczym dla konsumentów, którzy sięgają po produkty o obniżonej zawartości tłuszczu pochodzenia zwierzęcego. Coraz większe zainteresowanie wzbudzają badania dotyczące modyfikacji procesu produkcyjnego pełnego mleka w proszku prowadzące do otrzymania produktu, w którym tłuszcz mlekowy zastąpiono olejem roślinnym w takiej ilości, aby otrzymać niezmienną zawartość tego składnika. Potrzeba prowadzenia badań w tym zakresie wynikała przede wszystkim z zapotrzebowania środowiska przemysłowego. Odpowiednio dobrane parametry dwustopniowego procesu homogenizacji mieszaniny koncentratu mleka odtłuszczonego z olejem oraz suszenia rozpyłowego, a także wprowadzenie do mieszaniny koncentratu mleka środka posiadającego właściwości obniżania napięcia międzyfazowego (lecytyny), pozwalają na otrzymanie produktu o właściwościach bardzo podobnych do tradycyjnego pełnego mleka w proszku. Stwierdzono istotny wpływ temperatury podczas procesu homogenizacji na zmniejszenie kuleczek tłuszczowych oleju roślinnego i ich równomierne rozmieszczenie w koncentracie mleka zagęszczonego. Prowadzenie dwustopniowego procesu homogenizacji w temperaturze 65 – 70°C pozwoliło na otrzymanie stabilnej emulsji olej – woda. Należy przypuszczać, że zastosowanie lecytyny pozwoliło na wytworzenie otoczek kuleczek tłuszczowych, ponieważ nowo utworzone kuleczki

tłuszczowe były bardziej stabilne i nie podlegały procesowi aglomeracji w gronka (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IID: 3; pkt. IIIB: 8).

Serwatka jest znakomitym zamiennikiem tłuszczu obniżającym kaloryczność lodów, a dodatkowo białka w niej zawarte wykazują szereg wartości prozdrowotnych. Dzisiejszy rynek oferuje klientom lody, które oprócz białek mleka i tłuszczu zwierzęcego zawierają również tłuszcz roślinny. W ramach tego kierunku badań (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IIIB: 51) dokonano oceny możliwości zastosowania koncentratów białek serwatkowych o różnej zawartości tłuszczu roślinnego jako bazy w produkcji mieszanek lodowych. Mieszanki lodowe różniły się ($P < 0,05$) pod względem zawartości tłuszczu i białka. Lody otrzymane z badanych mieszanek zostały wyżej ocenione przez panel sensoryczny aniżeli lody śmietankowe. Nie stwierdzono różnic w ocenie smaku między badanymi mieszankami z dodatkiem tłuszczu roślinnego. Ogólna akceptowalność lodów wyprodukowanych z mieszanek z dodatkiem tłuszczu roślinnego była wyższa aniżeli lodów wyprodukowanych na bazie śmietanki.

Białka serwatkowe mają duży potencjał aplikacyjny ze względu na doskonałe właściwości odżywcze oraz funkcjonalne. Obecność tłuszczu w tych produktach wywiera negatywny wpływ na smak oraz właściwości pianotwórcze wyrobów z ich dodatkiem. Biorąc powyższe pod uwagę zrealizowałam serię badań, których celem było określenie wpływu obecności tłuszczu na właściwości pianotwórcze koncentratów białek serwatkowych o deklarowanej zawartości białek 35% (WPC 35) i 80% (WPC 80) oraz porównanie ich z właściwościami pianotwórczymi albuminy białka jaja kurzego. Przygotowano piany z roztworów koncentratów białek serwatkowych o zawartości białka 35 (WPC 35) i 80% (WPC 80), oraz w celach porównawczych z roztworów albuminy białka jaja kurzego naturalnej (EWP) i wysokopienistej (EWP-W). Badano wydajność pienienia, stabilność oraz stopień spęcznienia pian. W celu redukcji zawartości tłuszczu w WPC zastosowano chitozan, co pozwoliło na istotne obniżenie poziomu tłuszczu. Roztwory WPC po zastosowaniu chitozanu, odpowiednio WPC 35 chitozan i WPC 80 chitozan, wykazywały lepszą wydajność pienienia niż WPC 35 i WPC 80 oraz EWP i EWP-W. WPC 35 chitozan i WPC 80 chitozan charakteryzowały się wyższym ($P < 0,05$) spęcznieniem pian niż WPC 35 i WPC 80, a także lepszymi aniżeli EWP i EWP-W. Stabilność pian otrzymanych z roztworów WPC 35 chitozan i WPC 80 chitozan była wyższa ($P < 0,05$) niż przed zastosowaniem chitozanu (WPC 35 i WPC 80) i porównywalna z EWP i EWP-W. Zastosowanie chitozanu do obniżenia zawartości tłuszczu w WPC przyczyniło się do znacznego zmniejszenia mętności badanych roztworów (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IIA: 5; pkt. IIIB: 53).

Zastosowanie technik membranowych do frakcjonowania składników mleka otwiera nowe kierunki zastosowań białek mleka. Koncentrat kazeiny micelarnej jako produkt procesu mikrofiltracji znajduje zastosowanie w produkcji serów głównie za sprawą wysokiej zawartości kazeiny i standaryzacji składu surowca. Inną możliwością zastosowania koncentratu kazeiny wydaje się produkcja napojów, które można poddawać wyższej obróbce termicznej. Napoje otrzymane na bazie koncentratu kazeiny powinny wykazywać wyższą niż mleko stabilność termiczną z uwagi na mniejszą zawartość białek serwatkowych, które

w procesie mikrofiltracji przechodzą do permeatu. Zastosowanie koncentratu kazeiny w produkcji mlecznych napojów niefermentowanych daje wiele ciekawych możliwości zarówno ze względu na skład produktu jak i możliwości przedłużenia ich terminu przydatności do spożycia. Z uwagi na powyższe podjęłam badania nad możliwością zastosowania koncentratu kazeiny (retentat MF o dwukrotnym stopniu zagęszczenia) w produkcji napojów mlecznych. Przedmiotem badania były wyprodukowane napoje na bazie mleka oraz koncentratu kazeiny. Napoje te różniły się zawartością tłuszczu; część napojów wyprodukowano z surowców o pierwotnej jego zawartości 0% i 0.2% odpowiednio dla mleka i koncentratu kazeiny, kolejne zaś normalizowano do zawartości tłuszczu 2%. Napoje na bazie retentatu MF charakteryzowały się większą zawartością białka niż napoje na bazie mleka odtłuszczonego. Napoje na bazie koncentratu kazeiny odpowiadały ankietowanym pod względem walorów zapachowych. Pozostałe oceniane wyróżniki sensoryczne jak barwa i smak, zostały wyżej sklasyfikowane dla napojów na bazie mleka. Wyniki oceny dla napojów z dodatkiem kakao wykazały, że ankietowani wielokrotnie oceniali wyżej walory smakowe napojów na bazie koncentratu kazeiny. Szczególnie w przypadku napojów o niskiej zawartości tłuszczu, większym uznaniem cieszył się napój na bazie koncentratu kazeiny aniżeli napój na bazie mleka odtłuszczonego. Istnieje konieczność prowadzenia dalszych badań w tym zakresie, nie mniej jednak, wyniki wstępnych badań wykazały duży potencjał aplikacyjny koncentratu kazeiny micelarnej (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IID: 14; pkt. IIIB: 48).

Białka zawarte w permeacie, otrzymanym po procesie mikrofiltracji mleka odtłuszczonego z wykorzystaniem membran o średnicy porów $0,1 \mu\text{m}$, są często określane mianem 'natywnych białek serwatkowych'. Permeat MF stanowi surowiec do produkcji koncentratów białek serum (SPC) o różnej zawartości białka, podobnych do produktów otrzymywanych na bazie serwatki. Niemniej jednak, skład preparatów serwatkowych różni się od produktów otrzymanych z permeatu MF. Permeat MF nie zawiera glikomakropeptydu, jako produktu hydrolizy κ -kazeiny przez podpuszczkę, pozostałości barwników, podpuszczki, kwasu mlekowego oraz kultur starterowych po procesie produkcji sera. W związku z powyższym przyjęto hipotezę, że właściwości funkcjonalne i sensoryczne koncentratów wyprodukowanych z permeatu MF różnią się od tych dla koncentratów białek serwatkowych. Przeprowadzone badania mają pionierski charakter. W literaturze można znaleźć nieliczne doniesienia, w których dokonano porównania właściwości funkcjonalnych koncentratów białek serwatkowych i koncentratów białek serum. Niemniej jednak, nikt wcześniej nie dokonał takiego porównania dla produktów wyprodukowanych z tego samego surowca. Jak wiadomo, skład surowca oprócz metody przetwarzania ma ogromny wpływ na cechy produktów końcowych. Celem podjętych badań było określenie i porównanie składu chemicznego, profili sensorycznych i zawartości związków lotnych w koncentracie białek serwatkowych (ang. whey protein concentrate, WPC) i koncentracie białek serum (ang. serum protein concentrate, SPC). Koncentraty zostały wyprodukowane w trzech powtórzeniach, każdorazowo z tej samej partii mleka surowego. Ponadto, dokonano porównania koncentratów (SPC i WPC) otrzymanych doświadczalnie z koncentratami białek serwatkowych (WPC) wyprodukowanymi w skali przemysłowej. W dwóch niezależnych doświadczeniach wyprodukowano koncentraty białek serum i serwatkowe o zawartości białka 34% i 80%. SPC i WPC o zawartości białka 34% suszono rozpyłowo (ang. spray dried, SD),

w celu określenia wpływu temperatury podczas suszenia rozpyłowego na właściwości sensoryczne. Próbkę kontrolną stanowiły koncentraty utrwalane liofilizacyjnie (ang. freeze dried, FD). Ponadto, przeszkolony panel oceniających wyznaczył profile sensoryczne dla uwodnionych koncentratów. Związki lotne ekstrahowano z zastosowaniem mikroekstrakcji do fazy stałej (ang. solid-phase microextraction, SPME) i ekstrakcji rozpuszczalnikowej, następnie zastosowano destylację związków zapachowych wspomaganą rozpuszczalnikiem (ang. solvent-assisted flavor evaporation, SAFE) oraz chromatografię gazową sprzężoną z spektrometrią mas (ang. gas chromatography – mass spectrometry, GC-MS) i chromatografię gazową-olfaktometrię. Koncentraty białek serwatkowych charakteryzowały się wyższą zawartością tłuszczu, wapnia i glikomakropeptydu aniżeli SPC. Wyższa zawartość tłuszczu w WPC (zarówno WPC 34% i WPC 80%) w porównaniu do SPC może mieć istotny wpływ na ich sensoryczne i funkcjonalne właściwości. Nie stwierdzono różnic w barwie (System barw Hunter'a L, a, b) pomiędzy sproszkowanymi SPC i WPC, natomiast po uwodnieniu, roztwory SPC były klarowne, podczas gdy roztwory WPC były mętne. Średnie wartości natężenia przepływu permeatu (flux) w czasie procesu UF i DF w przypadku WPC były wyższe aniżeli w przypadku SPC. Niemniej jednak, odnotowano szybsze tempo spadku wartości fluxu na godzinę dla WPC aniżeli dla SPC. Przy dłuższym czasie prowadzenia procesu, flux dla serwatki (produkcja WPC) może osiągnąć niższe wartości niż w czasie przerobu permeatu MF (produkcja SPC). Nie stwierdzono wyraźnych różnic w profilogramach SPC i WPC suszonych metodą rozpyłową i liofilizacyjną. Suszone rozpyłowo WPC charakteryzowały się wyraźnym maślanym (diacetyl) i kartonowym posmakiem, podczas gdy SD SPC nie. Profile sensoryczne uwodnionych proszków SD charakteryzowały się niską intensywnością smakowitości w porównaniu z handlowymi WPC. Zidentyfikowano 29 związków zapachowych w SPC i WPC. Produkty oksydacji tłuszczów i białek były obecne w obu koncentraty. Koncentraty białek (SPC i WPC) otrzymane w warunkach doświadczalnych wykazywały mniejszą zawartość związków lotnych i niższe stężenie wielu składników pochodzących z oksydacji lipidów w porównaniu z handlowymi WPC. Otrzymane wyniki świadczą o tym, że SPC i WPC, wyprodukowane w kontrolowanych warunkach z tej samej partii mleka przy użyciu tych samych urządzeń do ultrafiltracji, wykazują nieliczne różnice w profilach sensorycznych, nie mniej jednak, ich skład i właściwości fizyczne różnią się, co może mieć wpływ na ich właściwości funkcjonalne. Ponadto, zapach produktów doświadczalnych (oceniony sensorycznie jak i instrumentalnie) różnił się od zapachu produktów handlowych, co może świadczyć o roli jaką odgrywają inne czynniki (np. jakość surowca, rozwiązania techniczno-technologiczne, higiena produkcji) w procesie kształtowania tych cech. Ponadto, z zastosowaniem koncentratów o zawartości białka 80% otrzymanych doświadczalnie i w warunkach przemysłowych wyprodukowano napoje o zawartości białka 6%, które następnie poddano testom akceptacji konsumenckiej. Analiza profili sensorycznych napojów brzoskwiniowych wykazała obecność posmaku słodowego, lipolitycznego, mydlanego i gorzkiego w napojach wyprodukowanych na bazie koncentratów doświadczalnych, podczas gdy w napojach wyprodukowanych z wykorzystaniem koncentratów handlowych stwierdzono posmak kartonowy. Napoje na bazie SPC zostały ocenione w testach akceptacji konsumenckiej najwyżej lub równie wysoko jak te na bazie WPC, biorąc pod uwagę zapach, wygląd i smak. Nie mniej jednak, napoje na bazie SPC otrzymały niższe noty za smak i ogólne wrażenie w porównaniu

z trzema spośród czterech napojów wyprodukowanych na bazie WPC (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IIA: 1, 2; pkt. IIIB: 18, 19, 20, 25, 27, 29, 31, 34, 35, 37). Ten etap badań stanowi rezultat mojej współpracy z zespołem badaczy z North Carolina State University, kierowanym przez dr Mary Anne Drake – światowej sławy naukowca w dziedzinie analityki sensorycznej produktów mleczarskich. Badania zostały współfinansowane przez Dairy Management Inc. i Northeast Dairy Foods Research Center.

B) Opracowywanie nowych produktów spożywczych

Początkowe lata mojej działalności badawczo-naukowej związane były z zespołem prof. dr hab. inż. Stefana Ziajki, w którym realizowałam zagadnienia związane m.in. z projektowaniem produktów spożywczych.

Ukierunkowanie procesu rozwoju produktów spożywczych na potrzeby konsumenta znacznie zwiększa prawdopodobieństwo odniesienia sukcesu rynkowego przez dany produkt. Kluczowym zagadnieniem w procesie opracowywania nowych produktów jest zdolność tłumaczenia subiektywnych potrzeb konsumenckich na obiektywne specyfikacje produktu, tak aby nowy produkt w pełni spełniał potrzeby końcowego odbiorcy. Brałam udział w badaniach zmierzających do opracowania nowego asortymentu tradycyjnych produktów z grupy przecierów owocowo-warzywnych. Celem pracy było opracowanie założeń techniczno-technologicznych nowego produktu i analiza opinii konsumentów dotyczących innowacji produktowych na przykładzie różnych wersji smakowych ketchupu. Akceptacja nowości jest rezultatem wielu czynników, wśród których dla konsumentów ketchupu najważniejszym jest charakterystyczny smak i zapach, a następnie znak jakości. Ponadto, dla konsumentów nie są najważniejsze posiadane przez firmę systemy zarządzania jakością, ale wyróżnienia i nagrody za bezpieczną żywność. Marka jest dla konsumentów gwarancją jakości artykułu, jej wybór jest wyrazem zaufania do produktu i przedsiębiorstwa. Wiedza na temat preferencji konsumentów ma szczególne znaczenie przy konstruowaniu dobrej jakości ketchupu. Na etapie opracowywania nowych produktów i ich wprowadzania na rynek niezwykle istotna jest ich promocja poprzez zastosowanie odpowiedniej reklamy. Jako najlepszą formę uświadamiania klientów o nowych smakach ketchupów ankietowani wskazywali degustacje w sklepach i reklamę telewizyjną. Respondenci wykazali zainteresowanie nowymi smakami ketchupu, najczęściej wskazywali ketchup z czosnkiem. Duże zainteresowanie konsumenci wykazywali również w stosunku do ketchupu z żurawiną oraz ketchupu z anansem. Opracowane nowe produkty wydają się być trafne i mogą przyjąć się na rynku, ponieważ ta gałąź produktów spożywczych ma tylko dwa warianty smakowe dostępne w sklepach: ketchup pikantny i ketchup łagodny (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IID: 4; pkt. IIIB: 12).

Potrzeby konsumenta w odniesieniu do nowych i modyfikowanych wyrobów stanowią element wyjściowy w konstruowaniu Domu Jakości narzędzia stosowanego w metodzie Rozwinięcia Funkcji Jakości (z ang. QFD, Quality Function Deployment). Metoda ta pozwala zarówno na projektowanie nowych produktów jak i poprawę już istniejących. Punktem

wyjścia w tej metodzie jest określenie wymagań konsumenta, a następnie włączenie ich w proces rozwoju produktu. Celem podjętych badań było określenie preferencji konsumenckich i czynników wpływających na proces podejmowania decyzji zakupowych dotyczących twarogu. Wybór twarogu przez konsumentów był w głównej mierze podyktowany smakiem, zawartością tłuszczu, masą opakowania, umiarkowaną ceną, rodzajem opakowania i zapewnieniem świeżości. Konstrukcja Domu Jakości, narzędzia stosowanego w metodzie QFD, pozwala przypisać odpowiednie parametry techniczne wymaganiom konsumenckim, określić korelacje pomiędzy nimi, ich ważność i stopień trudności przy wypełnianiu założeń. Biorąc pod uwagę wymagania konsumenta, określono następujące parametry, na które należy zwrócić szczególną uwagę podczas procesu produkcyjnego, a mianowicie: projekt opakowania, kwasowość twarogu, zawartość tłuszczu i metoda pakowania zapewniająca świeżość produktu (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IID: 12; pkt. IIIB: 47).

W szeregu pracach dokonałam analizy procesu rozwoju nowych produktów spożywczych z uwzględnieniem systemów zarządzania jakością, w szczególności wymagań konsumenta. Proces opracowywania produktów musi być związany z projektowaniem całkowitej jakości, co w praktyce oznacza nie tylko identyfikację, analizę i kontrolę zagrożeń, ale również badanie oczekiwań konsumentów, ustalenie wymagań prawnych, przegląd dokumentów projektowych, weryfikację i walidację projektu, skończywszy na ocenie spełnienia wymagań przeprowadzonej wśród klientów. W sytuacji zmiany receptury produktu czy wyznaczenia terminu przydatności do spożycia, do przeprowadzania symulacji rozwoju drobnoustrojów można wykorzystać modele prognostyczne zawarte w gotowych programach komputerowych. Ponadto modele prognostyczne często znajdują zastosowanie w wymaganym przez prawo UE procesie analizy ryzyka, który musi być oparty na rzetelnych dowodach naukowych (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IID: 5, 8, 17, 18; pkt. IIE: 2; pkt. IIIB: 9, 11, 14, 15, 55).

Bardzo istotne w obszarze projektowania żywności są działania marketingowe, w pracy IID: 19 (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IID: 19) omówiono wybrane, mające wymierne korzyści kampanie promujące spożycie mleka i produktów mleczarskich podejmowane w Polsce i na świecie.

C) Żywność funkcjonalna – projektowanie, znakowanie

W ramach programu Socrates/Erasmus w roku 2001 uczestniczyłam w projekcie badawczym: „Development of *Requeijão* with added probiotic strains” (Opracowanie założeń technologicznych produkcji sera *Requeijão* (tradycyjny portugalski ser pozyskiwany z serwatki) z dodatkiem bakterii probiotycznych). Projekt realizowany był w Escola Superior de Biotecnologia, Universidade Catolica Portuguesa w Portugalii w zespole dr Marii Estevez Pintado i dr Any Pereira Gomez. Celem badań było określenie możliwości wzbogacenia sera *Requeijão* w bakterie *Bifidobacterium lactis* i *Lactobacillus acidophilus*, zbadanie ich

przeżywalności w czasie przechowywania (28 dni) oraz ocena składu i walorów sensorycznych sera z dodatkiem probiotyków. Sery serwatkowe przygotowywano według tradycyjnej receptury z dodatkiem 10% mleka krowiego. Wyprodukowano sery bez dodatku bakterii probiotycznych (sery kontrolne) i sery z dodatkiem (1×10^9 jtk/g produktu) bakterii *Bifidobacterium lactis* i *Lactobacillus acidophilus* (sery probiotyczne). Przeżywalność szczepów probiotycznych monitorowano w okresie przechowywania tj. 28 dni w temperaturze 4 °C. Skład serów z dodatkiem bakterii probiotycznych był porównywalny ze składem produktu kontrolnego. Początkowa liczebność szczepów *B. lactis* i *L. acidophilus* wynosiła 10^9 jtk/g. Ogólnie, dla wszystkich serów probiotycznych liczebność żywych komórek po 4 tygodniach przechowywania pozostawała powyżej rekomendowanego progu (10^6 jtk/g). We wszystkich produktach następował spadek liczby *B. lactis* i *L. acidophilus* w czasie przechowywania, przy czym liczebność *L. acidophilus* obniżała się w szybszym tempie w porównaniu do *B. lactis* we wszystkich wariantach serów probiotycznych (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IIE: 1; pkt. IIIB: 4, 6, 10).

Akceptacja żywności funkcjonalnej przez konsumentów w dużej mierze uwarunkowana jest oznakowaniem tej kategorii produktów. Zrozumiałe i jednoznaczne informacje zamieszczone na opakowaniu żywności funkcjonalnej są podstawą do dalszego jej rozwoju. Konsumenti jogurtów funkcjonalnych potrzebują dodatkowych, prawdziwych informacji, które wyjaśnią im sposób działania dodatków funkcjonalnych stosowanych w żywności. Konsumenti narzekają na złe oznakowanie żywności funkcjonalnej. Preferują oświadczenia o charakterze działania profilaktycznego, wolą zapobiegać chorobom aniżeli leczyć stany chorobowe, co prawdopodobnie wiąże się z rosnącą wiedzą na temat związku między stosowaną dietą a stanem organizmu (większość badanych wierzy w to, że odpowiednio dobrana żywność może wpłynąć korzystnie na stan organizmu) (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IID: 9; pkt. IIIB: 38).

Ze względu na wzrost popytu na żywność funkcjonalną, zwłaszcza na artykuły mleczne, spowodowane dużym zainteresowaniem konsumentów prowadzeniem tzw. zdrowego stylu życia, podjęłam tematykę produkcji żywności funkcjonalnej, szczególnie w kategorii wyrobów mlecznych. Mleczne produkty funkcjonalne można podzielić ze względu na ukierunkowanie działanie w organizmie człowieka, np. na: przewód pokarmowy, układ krążenia, układ odpornościowy, układ kostny, samopoczucie psychiczne i fizyczne. Niezwykle ważne w rozwoju produktów o charakterze funkcjonalnym są również aspekty technologiczne, wymagania prawne oraz ścieżka postępowania w celu zakwalifikowania produktu do grupy żywności funkcjonalnej. Mleko nie tylko zawiera wiele składników odżywczych, ważnych dla wzrostu, rozwoju i utrzymania optymalnego zdrowia, lecz także jest uważane za idealny nośnik innych, dodawanych do niego składników odżywczych, które nie występują w mleku w dużych ilościach. Stwarza to dla przemysłu spożywczego ogromne możliwości wykorzystania mleka jako medium dla składników, których konsumpcja jest zbyt niska, a także do zwiększenia wartości odżywczej produktów mlecznych (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IIB: 6, 7, 13, 15; pkt. IIIB: 16, 49).

D) Aspekty technologiczne produkcji tłuszczu mlekowego i serów

Znajomość kinetyki krystalizacji tłuszczu mlekowego jest bardzo istotna w kontrolowaniu parametrów technologicznych wielu wyrobów bazujących na tłuszczu mlekowym, szczególnie w kontekście kształtowania ich cech użytkowych, w tym tekstury. Badania przeprowadzone w tym zakresie dotyczyły oceny zakresu zmian właściwości fizycznych oraz krystalizacyjnych presuryzowanego tłuszczu mlekowego). Parametrami różnicującymi analizowane próbki było ciśnienie presuryzacji (100, 200, 300 i 400 MPa) oraz temperatura procesu (10 i 40°C). Zdjęcia obrazów krystalizacji poddano analizie obrazu pozwalającej na wyznaczenie wymiaru fraktalnego. Zastosowane w pracy parametry presuryzacji tłuszczu mlekowego wpłynęły na niewielkie, ale istotne statystycznie, zmiany przebiegu krzywych krystalizacji w odniesieniu do I efektu egzotermicznego. Stwierdzono jednocześnie, że efekt tych zmian uzależniony był od wysokości ciśnienia presuryzacji. W odniesieniu do temperatury, w której zachodził proces nie wykazano takiej zależności. Stwierdzono natomiast wyraźne różnice obrazów krystalizacji próbek tłuszczu mlekowego poddanych temu procesowi, w porównaniu z próbką kontrolną. Najwyższy stopień nieregularności powierzchni w warunkach przeprowadzonej analizy fraktalnej stwierdzono w próbce niepresuryzowanej oraz próbkach presuryzowanych w temp. 10°C przy ciśnieniu 200 i 300 MPa. Natomiast najniższą wartość wymiaru fraktalnego uzyskano dla próbki tłuszczu presuryzowanej przy ciśnieniu 400 MPa w temp. 10°C oraz 100 MPa w temperaturze 40°C. Określenie możliwości zastosowania analizy fraktalnej do oceny wpływu różnych parametrów procesów technologicznych na właściwości krystalizacyjne tłuszczu mlekowego wymaga dalszych badań (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IIA: 4).

Kolejnym aspektem mojej pracy badawczej w zakresie technologii serów twarogowych była ocena składu fizykochemicznego serków twarogowych otrzymywanych trzema metodami: klasyczną wirówkową, termowirówkową i poprzez zastosowanie ultrafiltracji. Szczególną uwagę zwrócono na zawartość składników mineralnych. We wszystkich przeprowadzonych doświadczeniach zaobserwowano zależność między zawartością suchej masy a zawartością wapnia; im niższa zawartość suchej masy tym wyższa zawartość wapnia. Ważnym czynnikiem wpływającym w dużej mierze na przyswajalność wapnia jest stosunek jego zawartości do zawartości fosforu w produktach mleczarskich. W badanych serkach twarogowych najbardziej korzystny stosunek zawartości wapnia do fosforu stwierdzono w produktach wyprodukowanych z zastosowaniem ultrafiltracji ze skrzepu kwasowo-podpuszczkowego (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IID: 2; pkt. IIIB: 2).

Od 2010 roku kontynuowałam pracę badawczą w zespole prof. dr hab. inż. Władysława Chojnowskiego. Większość prowadzonych prac dotyczyła aspektów związanych z technologią serów.

W dążeniu do uzyskania jak największych wydajności nowoczesnych linii technologicznych, podejmuje się szereg badań dotyczących oceny wpływu czynników mających wpływ na wydatek serów. Spośród czynników warunkujących wydatek produktu należy wymienić te związane z produkcją mleka (skład chemiczny mleka, wzajemne

proporcje między frakcjami kazeiny, okres laktacji, rasa krów, a także pora roku) oraz z przetwarzaniem mleka (obróbka termiczna mleka, czas i warunki magazynowania, technologia wytwarzania, techniczne wyposażenie serowni, rodzaj użytego enzymu koagulującego oraz rodzaj zakwasu). W odniesieniu do procesu technologicznego szczególną uwagę należy zwrócić na temperaturę zaprawiania mleka, wartość pH w momencie rozpoczęcia krojenia skrzepu mleka, odpowiednią obróbkę gęstwy twarogowej oraz temperaturę i czas obróbki. Analizując szereg czynników warunkujących wydatek serów, podjęto badania zmierzające do określenia bezpośredniego wpływu rozpylenia ziarna na wydatek sera, co może przynieść wymierne korzyści w postaci projektu odpowiednich rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń, np. krajacze, zmniejszając straty białka z serwatką czy wodą płuczającą. Ocenę wpływu parametrów produkcyjnych na stopień rozpylenia a tym samym wydatek serka cottage cheese i serów typu holenderskiego prowadzono w warunkach przemysłowych. Stwierdzono dużą zawartość pyłu kazeinowego w serwatce po produkcji serka cottage ($19,6 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$) i niewielką w wodzie z pierwszego płukania ($2,1 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$). Przy produkcji serka cottage objętość pyłu kazeinowego zależała w dużej mierze od intensywności mieszania, szczególnie w początkowej fazie obróbki skrzepu. Podczas produkcji cottage cheese ze 100 000 L mleka, straty w przeliczeniu na produkt gotowy wyniosłyby 1079,48 kg. Natomiast, dla sera typu holenderskiego straty wyniosłyby 34,7 i 48,9 kg sera o zawartości tłuszczu 48 i 40%, odpowiednio. Badania wykazały, że zwięzłość skrzepu w dużej mierze determinowała objętość otrzymanego pyłu kazeinowego; im wyższa zwięzłość tym mniej pyłu (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IIIB: 42).

Prawidłowo przeprowadzony proces technologiczny jest warunkiem kluczowym do uzyskania sera o właściwej strukturze i konsystencji. Wiele cech sensorycznych sera kształtuje się podczas procesu dojrzewania, np. oczkowanie. Dla poszczególnych typów serów należy stworzyć określone warunki temperatury i wilgotności powietrza, które należy utrzymać w kolejnych etapach dojrzewania. Niemniej jednak, producenci serów często kierują się względami ekonomicznymi przy doborze parametrów dojrzewania. Z uwagi na powyższe brałam aktywny udział w pracach dotyczących oczkowania serów typu szwajcarsko-holenderskiego w zależności od temperatury dojrzewania. Sery badano w czasie 3-fazowego okresu dojrzewania, łącznie przez okres 6 tygodni. Testowano trzy warianty zestawów temperaturowych. W pierwszym, sery przetrzymywano w temperaturze 8°C , następnie 18°C i ponownie w 8°C (8/18/8). W drugim wariantcie, sery dojrzewały w temperaturze 10°C , 20°C i 10°C (10/20/10), a w trzecim 14°C , 22°C i 14°C (14/22/14). W każdym wariantcie temperaturę dojrzewania zmieniano co dwa tygodnie przez okres 6 tygodni. Najkorzystniejszą strukturę oraz tworzenie oczek stwierdzono w serach typu szwajcarsko-holenderskiego w wariantcie trzecim. Oczka serów w trzecim wariantcie ($14/22/14^\circ\text{C}$) były duże, regularne i typowe dla serów typu szwajcarskiego. Sery dojrzewające w wyższej temperaturze charakteryzowały się mniej zwartą teksturą o wyższej elastyczności w porównaniu do serów dojrzewających w niższych temperaturach. Spośród trzech wariantów temperatur zastosowanych podczas dojrzewania serów, sery uzyskane w trzecim wariantcie tj. $14/22/14^\circ\text{C}$, wykazywały najbardziej pożądaną teksturę i oczka (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IIIB: 50).

Część moich badań realizowałam również w ramach projektu badawczego *Enhancing the quality and utilization of whey proteins and serum proteins* współfinansowanego przez New York State Milk Promotion Board. Celem podjętych badań była analiza wpływu dodatku barwnika annato do mleka oraz wpływu stosowanego procesu wybielania serwatki lub permeatu po procesie mikrofiltracji (MF) na prędkość przepływu w czasie ultrafiltracji (UF), diafiltracji (DF) i zarastanie membran w czasie produkcji koncentratów białek serwatkowych (WPC80) lub białek serum (SPC80) o zawartości białka 80%. Koncentraty białek WPC80 i SPC80 produkowano odpowiednio z serwatki po procesie produkcji sera Cheddar (18 wanien przy użyciu 900 kg mleka pełnego każdorazowo) i permeatu MF z mleka odtłuszczonego (18 produkcji przy użyciu 800 kg mleka odtłuszczonego każdorazowo). Plan doświadczenia zakładał 6 wariantów w 3 powtórzeniach, co stanowiło 18 produkcji zarówno dla serwatki jak i permeatu MF: (1) bez dodatku annato; (2) bez dodatku annato + nadtlenek benzoilu (BPO); (3) bez dodatku annato + nadtlenek wodoru (H_2O_2); (4) annato; (5) annato + BPO; and (6) annato + H_2O_2 . W każdym wariacie, około 700 kg serwatki i 530 kg permeatu MF poddawano procesowi ultrafiltracji (UF) i diafiltracji (DF) (w temperaturze $50^{\circ}C$) w systemie wsadowym z zastosowaniem polieterosulfonowych membran ultrafiltracyjnych spiralnie zwijanych o punkcie odcięcia 10 kDa. Dodatek annato nie wpływał na strumień permeatu podczas procesu UF i DF. Wybielenie serwatki lub permeatu MF z lub bez dodatku barwnika wpłynęło na poprawę strumienia permeatu podczas procesu UF. Wybielenie z zastosowaniem H_2O_2 w większym stopniu wpłynęło na poprawę strumienia permeatu aniżeli wybielenie z BPO. Zastosowanie BPO jako środka wybielającego w większym stopniu wpłynęło na wzrost strumienia permeatu w przypadku WPC80 aniżeli SPC80. Jednakże, nie stwierdzono różnic pomiędzy średnią wartością strumienia permeatu dla stosowanych procesów wybielenia w czasie ultrafiltracji WPC80 i SPC80. Natomiast, średnia wartość strumienia permeatu w czasie diafiltracji WPC80 była wyższa aniżeli średnia wartość dla SPC80 niezależnie od sposobu wybielenia. Współczynnik zarastania, jako wskaźnik poziomu zarastania membran, obliczono na podstawie strumienia permeatu dla wody przed i po procesie. Różnice we współczynniku zarastania kształtowały się podobnie jak różnice w strumieniu permeatu podczas procesu. Zarówno dla SPC80 jak i WPC80 wybielenie z H_2O_2 przyczyniło się do mniejszego zarastania membran. Nie stwierdzono wpływu annato na zarastanie membran. Wpływ sposobu wybielenia serwatki na kształtowanie wartości natężenia przepływu permeatu nie jest w pełni poznany i wymaga dalszych badań (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IIA: 3; pkt. IIIB: 45, 46).

W ramach tego kierunku badań podjęłam się również analizy możliwości zastosowania koncentratu kazeiny micelarnej w produkcji serowarskiej. Badania obejmowały określenie wpływu różnej zawartości kazeiny w mleku na przebieg koagulacji kwasowej i podpuszczkowej oraz właściwości powstałych żeli. Wyższa zawartość koncentratu kazeiny micelarnej przyczyniła się do skrócenia czasu krzepnięcia. Mleko o wyższej zawartości kazeiny charakteryzowało się lepszą zdolnością wiązania wody, a przez to mniejszą synerезą. Jak wykazały badania tekstury, żele z mleka o wyższej zawartości kazeiny (produkowane z koncentratu kazeiny micelarnej) były bardziej twarde i zwarte z porównaniu do żeli uzyskanych z mleka czy mieszaniny mleka i koncentratu kazeiny micelarnej (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IIIB: 58).

Jestem autorem i współautorem prac, których tematyka dotyczy głównych kierunków zastosowań MF w przemyśle mleczarskim, ze szczególnym uwzględnieniem właściwości otrzymanych produktów: retentatu i permeatu, oraz charakterystyki dostępnych na rynku rozwiązań projektowych membran ceramicznych: UTP, GP i Isoflux (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IID: 10, 11).

Realizując projekt MPV Dairy Simulator opracowałam teoretyczne i technologiczne założenia (rozdział e-podręcznika) procesu mikrofiltracji mleka w dwóch wersjach językowych polskiej i angielskiej. Przetłumaczyłam również (z języka angielskiego na język polski) 6 modułów nauczania: wirowanie, przechowywanie mleka, opakowania, pakowanie proszku mlecznego, odwrócona osmoza i ultrafiltracja. Projekt stanowił wspólną inicjatywę kilku ośrodków naukowo-dydaktycznych, a mianowicie: Aula de Productos Lacteos w Uniwersytecie Santiago de Compostela w Lugo (Hiszpania), The Agricol College Falticeni (Rumunia), Escola Superior de Biotecnologia w Universidade Catolica Portuguesa (Portugalia), Hame Vocational Institute (Finlandia) i Wydział Nauki o Żywności Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie (Polska). Zaproszenie do udziału w projekcie było wynikiem mojej długoletniej współpracy z członkami European Alliance of Dairy Teachers *EUROPEL*. Uczestniczyłam w przygotowaniu wniosku i kierowałam projektem po stronie polskiej. Projekt zakładał opracowanie 28 modułów nauczania (learning objects, LO) odpowiadających procesom jednostkowym stosowanym w przemyśle mleczarskim. Ponadto, koordynowałam działania pozostałych członków zespołu (4 osoby), byłam odpowiedzialna za kwestie finansowe i administracyjne związane z realizacją projektu (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IIE: 5, 6; pkt. IIIB: 43).

W 2012 roku decyzją Dyrektora Narodowego Centrum Nauki przyznano środki finansowe na realizację projektu *Właściwości reologiczno-sensoryczne serów o zmienionej proporcji α -kazeiny do β -kazeiny*. Koncepcja badań i przygotowanie wniosku są w całości moim autorstwem. Podczas realizacji projektu jestem odpowiedzialna za koordynację i organizację prac badawczych polegającą na opracowaniu planu badań i metodyki badań oraz nadzór merytoryczny. Kieruję pracami kilkunastoosobowego zespołu. Bezpośrednio uczestniczę (lub będę) w wykonywaniu następujących zadań badawczych:

- 1) Określenie kluczowych parametrów rozdziału β -kazeiny z mleka odtłuszczonego przy zastosowaniu mikrofiltracji w temperaturach chłodniczych.
- 2) Ocena właściwości żelujących mleka o zmienionej proporcji α -kazeiny do β -kazeiny.
- 3) Zbadanie wpływu zmiany proporcji α -kazeiny: β -kazeiny na skład, wydajność i dojrzewanie serów typu holenderskiego.
 - 3.1. Mikrofiltracja mleka krowiego w skali ćwierć-technicznej w celu przygotowania mleka serowarskiego o różnej zawartości β -kazeiny.
 - 3.2. Produkcja trzech wariantów sera typu holenderskiego: (1) wyprodukowanych z mleka wzbogaconego w β -kazeinę, (2) o zmniejszonej zawartości β -kazeiny oraz (3) o normalnej zawartości poszczególnych frakcji białkowych (próba kontrolna).

3.3. Ocena zmian proteolitycznych i teksturalnych w serach podczas dojrzewania, po 1, 30 i 60 dniach.

- 4) Określenie zależności pomiędzy właściwościami mleka a składem serów na podstawie analizy statystycznej.

Badania są w trakcie realizacji. W chwili obecnej zrealizowano dwa zadania badawcze, uzyskane wyniki są opracowywane statystycznie i przygotowywane do publikacji. Rezultaty badań zostały już zaprezentowane na Szczycie Mleczarskim w Jokohamie (2013 r.) oraz podczas Cheese Symposium w Irlandii (2014 r.) (Załącznik 4: Wykaz, pkt. IID: 16; pkt. IIE: 7; pkt. IIIB: 54, 57, 59, 60).

Od 2014 roku jestem kierownikiem tematu statutowego: *Optymalizacja procesów produkcji sera, twarogu, preparatów białkowych i przetwórstwa serwatki*. Wraz z zespołem podjęłam badania nad optymalizacją procesu produkcji serów o obniżonej zawartości tłuszczu oraz określeniem wpływu standaryzacji kazeiny metodą mikrofiltracji na proces technologiczny, teksturę oraz mikrostrukturę serów.

VI. PODSUMOWANIE DOROBKU NAUKOWO-BADAWCZEGO

Mój dotychczasowy dorobek publikacyjny obejmuje:

- prace twórcze: **29** (w tym 10 opublikowano w czasopismach z IF);

Dziewięć prac zostało opublikowanych w Journal of Dairy Science, który jest sklasyfikowany jako 2 na 51 czasopism w dziedzinie Agriculture, Dairy and Animal Science, przy czym na pierwszej pozycji jest Animal Genetics.

- komunikaty naukowe (postery i referaty): **60** (w tym 20 głoszonych osobiście);
- opracowania zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych, ekspertyzy: **16**;
- prace popularno-naukowe: **8**.

Wartość naukowa dorobku publikacyjnego do dnia 20 marca 2015 roku wynosi:

- punkty MNiSW: **497**;
- sumaryczny impact factor według listy JCR, zgodnie z rokiem opublikowania: **22,928**;
- liczba cytowań według bazy Web of Science: **85** (bez autocytaowań: 71);
- indeks Hirscha według bazy Web of Science: **5**.

W czasie pracy naukowej brałam udział w realizacji 6 grantów badawczych, w jednym jestem kierownikiem projektu. Uczestniczyłam w przygotowaniu wniosku i kierowałam, po stronie polskiej, międzynarodowym projektem dydaktycznym Modular and Portable Virtual Dairy Simulator.

Za osiągnięcia w dziedzinie naukowej zostałam 3-krotnie nagrodzona przez Rektora Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Ponadto, otrzymałam wyróżnienie za pracę doktorską.

Do ciągłego podnoszenia moich kwalifikacji przyczyniają się staże naukowe, szkolenia i warsztaty, w których biorę udział. Wizyty w wiodących zagranicznych i krajowych ośrodkach naukowych przyczyniły się do ukierunkowania pracy naukowo-badawczej, ale przede wszystkim dały podstawę do samodzielnego prowadzenia warsztatu badawczego.

TABELARYCZNY WYKAZ DOROBKU NAUKOWEGO

| Kategoria | Liczba publikacji | IF ¹ | Punkty MNiSW ² |
|--|-------------------|-----------------|---------------------------|
| Oryginalne prace twórcze przed uzyskaniem stopnia doktora | | | |
| Publikacje w czasopismach recenzowanych innych niż znajdujące się w bazie Journal Citation Reports (JCR) | 2 | - | 16 |
| Oryginalne prace twórcze po uzyskaniu stopnia doktora | | | |
| Publikacje w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR) | 10 | 22,928 | 420 |
| Publikacje w czasopismach innych niż znajdujące się w bazie Journal Citation Reports (JCR) | 12 | - | 30 |
| Publikacje w monografiach naukowych | 5 | - | 21 |
| Prace niepublikowane - sprawozdania, raporty, ekspertyzy | 16 | - | - |
| Prace popularno-naukowe | 8 | - | - |
| Referaty, komunikaty i doniesienia naukowe na konferencjach krajowych i międzynarodowych | | | |
| - przed uzyskaniem stopnia doktora | 9 | - | - |
| - po uzyskaniu stopnia doktora (w tym uwzględnione w Web of Science) | 51 (1) | - | 10 |
| Razem | 113 | 22,928 | 497 |

¹ Impact factor według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania (Dla publikacji z 2014, dla których IF nie został obliczony podano ostatni aktualny)

² Punkty MNiSW - Załącznik do komunikatu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 31 grudnia 2014 r.

Justyna Żulewska