

dr n. techn. inż. dr n. fiz. Maciej JARZĘBSKI



**Struktury
w nanorozmiarze
do potencjalnych
aplikacji
w technologii
żywności**

AUTOREFERAT

Poznań, czerwiec 2022

Spis treści

Dane osobowe	2
1. Imię i nazwisko.....	2
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.	2
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.....	3
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).....	4
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.....	39
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.....	47
7. Inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.....	54

Dane osobowe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9832-9274>

Profil w Nauce Polskiej: <https://nauka-polska.pl/#/profile/scientist?id=229479>

https://www.researchgate.net/profile/Maciej_Jarzebski

Scopus Author ID: 23018727500

Sciprofile: 1141312

1. Imię i nazwisko

Maciej Jarzębski

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

Tytuł/stopień: **magister inżynier**

Podmiot nadający tytuł/stopień: **Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska**

Rok uzyskania: **2006**

Tytuł: **Badania właściwości fizykochemicznych bieli tytanowej otrzymanej w układzie emulsyjnym.**

Tytuł/stopień: **doktor nauk technicznych w zakresie inżynieria materiałowa**

Podmiot nadający tytuł/stopień: **Politechnika Poznańska; Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania**

Rok uzyskania: **2010**

Tytuł: **Nanomateriały hybrydowe odwracalnie absorbujące wodór wytwarzane metodą mechanicznej syntezy.**

Tytuł/stopień: **doktor nauk fizycznych w zakresie biofizyka**

Podmiot nadający tytuł/stopień: **Wydział Fizyki, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu**

Rok uzyskania: **2015**

Tytuł: **Synteza i charakterystyka wybranych nanoczątek o potencjalnych zastosowaniach w medycynie.**

Studia podyplomowe:

- Bezpieczeństwo i higiena pracy (Politechnika Poznańska, 2008)
- Zarządzanie jakością w teorii i praktyce (Politechnika Poznańska, 2009)
- Studium pedagogiczne (Politechnika Poznańska, 2009)

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych.

- od 1 października 2017 do obecnie – Katedra Fizyki i Biofizyki, Wydział Nauk o Żywności i Żywienia, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
stanowisko: adiunkt
- od 1 października 2015 do września 2017 – Instytut Inżynierii Środowiska, Wydział Zamiejscowy Prawa i Nauk o Społeczeństwie w Stalowej Woli, Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II
stanowisko: adiunkt
- od grudnia 2014 do czerwca 2015, Centrum NanoBioMedyczne, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Stanowisko: stażysta podoktorski

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.).

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Osiągnięcie naukowe stanowi monotematyczny cykl publikacji pt. „**Struktury w nanorozmiarze do potencjalnych aplikacji w technologii żywności**”. Złożony jest z 7 prac opublikowanych w latach 2017 – 2021. Prace te będą oznaczane liczbami rzymskimi w dalszej części opisu osiągnięcia.

4.2. Publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego

Osiągnięcie bazuje na 7 publikacjach w czasopismach recenzowanych z IF (impact factor), znajdujących się na liście czasopism punktowanych Ministerstwa Edukacji i Nauki.

Nr	Publikacja	IF ¹	IF ²	Liczba cytowań ³	Punkty MEIN ⁴
I	Particle tracking analysis in food and hydrocolloids investigations Jarzębski M., Bellich B., Białopiotrowicz T., Śliwa T., Kościński J., Cesàro A. <u>Food Hydrocolloids</u> 68 (2017), s. 90 - 101 DOI: 10.1016/j.foodhyd.2016.09.037	4,747	9,147	22	140
II	Verbascum nigrum L. (mullein) extract as a natural emulsifier Jarzębski M., Smułek W., Kościński M., Białopiotrowicz T., Kaczorek E. <u>Food Hydrocolloids</u> 81 (2018), s. 341-350 DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.02.050	5,839	9,147	15	140

¹ IF z roku publikacji

² IF stan na luty 2022

³ Liczba cytowań podstawie analizy bazy

⁴ Na podstawie Wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych, z dnia 1.12.2021 MINISTERSTWO EDUKACJI I NAUKI

III	<p><i>Pea protein for hempseed oil nanoemulsion stabilization</i> Jarzębski M., Fathordoobady F., Guo Y., Xu M., Singh A., Kitts D. D., Kowalczewski P. Ł., Jeżowski P., Pratap-Singh A. <u>Molecules</u> 24 (iss. 23), (2019), art. 4288 DOI: 10.3390/molecules24234288</p>	3,267	4,411	26	140
IV	<p><i>Aesculus hippocastanum L. extract as a potential emulsion stabilizer</i> Jarzębski M., Smulek W., Siejak P., Kobus-Cisowska J., Pieczyrak D., Baranowska H. M., Jakubowicz J., Sopata M., Białopiotrowicz T., Kaczorek E. <u>Food Hydrocolloids</u> 97, (2019), art. 105237 DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105237</p>	7,053	9,147	9	140
V	<p><i>Characterization of St. John's wort (Hypericum perforatum L.) and the impact of filtration process on bioactive extracts incorporated into carbohydrate-based hydrogels</i> Jarzębski M., Smulek W., Baranowska H. M., Masewicz Ł., Kobus-Cisowska J., Ligaj M., Kaczorek E. <u>Food Hydrocolloids.</u> 104, (2020), art. no. 105748 DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.105748</p>	9,147	9,147	11	140
VI	<p><i>Plant extracts containing saponins affects the stability and biological activity of hempseed oil emulsion system</i> Jarzębski M., Siejak P., Smulek W., Fathordoobady F., Guo Y., Pawlicz J.,</p>	4,411	4,411	12	140

	Trzeciak T., Kowalczewski P. Ł., Kitts D. D., Singh A., Pratap-Singh A. <u>Molecules</u> 25 (iss. 11), (2020) art. 2696 DOI: 10.3390/molecules25112696				
VII	<i>Aesculus hippocastanum L. as a stabilizer in hemp seed oil nanoemulsions for potential biomedical and food applications</i> Jarzębski M., Smułek W., Siejak P., Rezler R., Pawlicz J., Trzeciak T., Jarzębska M., Majchrzak O., Kaczorek E., Kazemian P., Ponieważ-Pawlicz M., Fathordoobady F. <u>International Journal of Molecular Sciences</u> 22 (iss. 2), (2021), art. no. 887 DOI: 10.3390/ijms22020887	5,923	5,924	9	140
	Podsumowanie	40,387	51,334	104	980

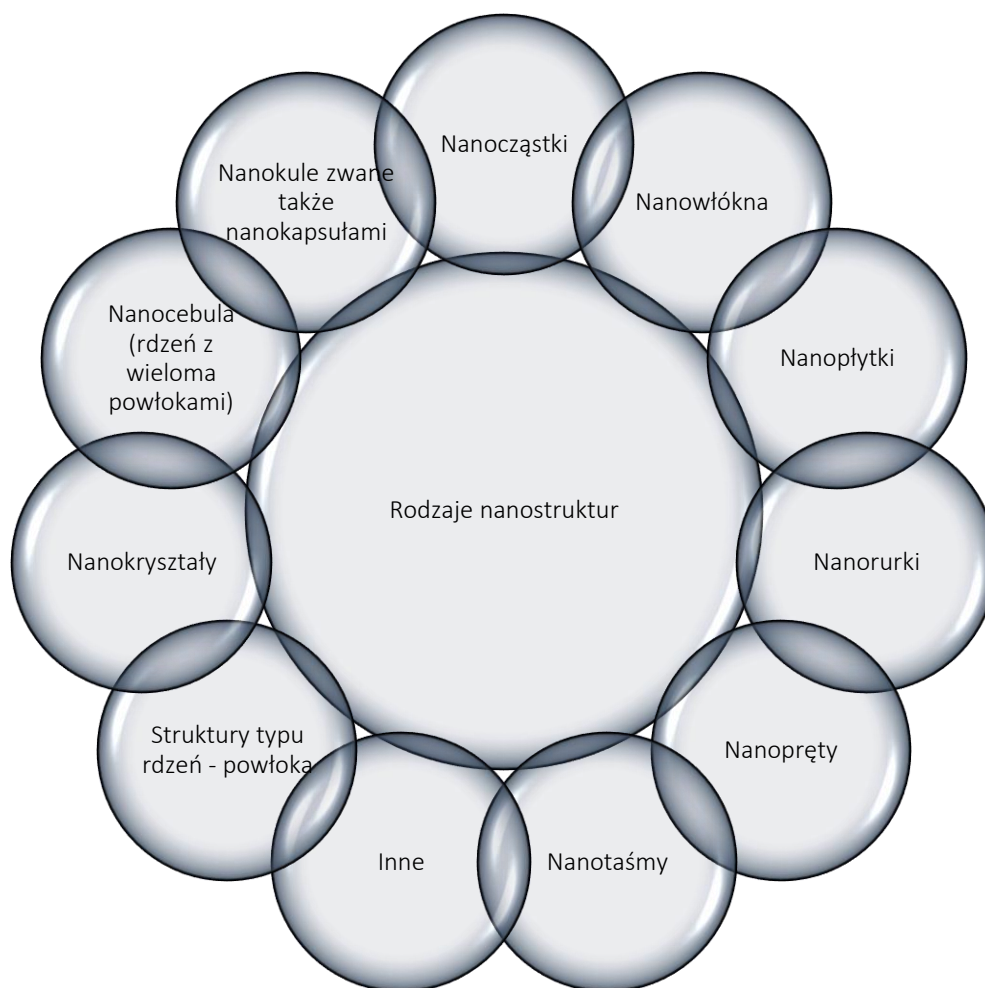
4.3. Omówienie

Cykl monotematycznych prac otwiera artykuł przedstawiający metody „śledzenia” i wyznaczania struktur w nanorozmiarze, na wybranych przykładach produktów stosowanych w technologii żywności. Następnie, przeprowadzono badania nad możliwymi surfaktantami i wybranymi układami emulsyjnymi typu olej w wodzie. Następnie wspomniano dwie prace, w których jestem współautorem (nie wchodzi w skład dzieła), gdzie omówiono wykorzystanie komercyjnie dostępnych preparatów wapniowych, z ich charakterystyką, jako nanocząstki i wprowadzone jako substancja suplementująca wapń w produkt spożywczy.

4.3.1. Wprowadzenie do tematyki struktur w rozmiarze nanometrycznym

Nanotechnologia i badanie struktur w nanorozmiarze jest jednym z wiodących kierunków badawczych. Przedrostek nano, określający struktury, których wymiary są rzędu 10^{-9} metra (1 nm), wywodzi się z greckiego nanos – karzeł. Z czasem przedrostek nano- był bardzo powszechnie stosowany do obiektów w prawie każdej skali, stąd wynikła potrzeba usystematyzowania określeń związanych z nanoświatem i nanotechnologią, aby uniknąć niejednoznaczności. Częściowo udało się to osiągnąć Międzynarodowej Organizacji Standardyzacyjnej ISO (International Organization for Standardization), która wprowadziła definicje i słownictwo w zakresie struktur nano w 2008, a obecnie stosowaną normą w tym zakresie jest ISO/TS 80004-2:2015 Nanotechnologies — Vocabulary — Part 2: Nano-objects. Zgodnie z przytoczoną normą, termin nanoskala definiuje się jako wymiar w granicach od 1nm do 100nm, a nanoobiekt określony jest jako kawałek materii, którego przynajmniej jeden z wymiarów mieści się w granicach nanoskali, przy czym zauważyć należy, że dotyczy to struktur jedno, dwu czy trójwymiarowych.

W odniesieniu do technologii żywności warto na wstępie podać jeszcze definicje cząstek pierwotnych, które są cząstkami źródłowymi dla większych struktur (nanostruktur) zwanych aglomeratami, agregatami lub ich mieszaninami. Stąd też aglomeraty i agregaty są również nazywane cząstkami wtórnymi. Aglomeraty stanowią słabo lub średnio związane ze sobą cząstki (najczęściej cząstki pierwotne lub agregaty). Natomiast w agregatach oddziaływanie między cząstkami jest większe, stąd ich objętość jest zasadniczo mniejsza niż aglomeratów.



Rys. 1 Podział nanostruktur wg ISO/TS 80004-2:2015

Zauważyć można, że Centralny Instytut Ochrony Pracy oprócz norm ISO, wskazuje na opracowanie wykonane przez Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR) w zakresie definicji dotyczącej nanomateriału [1]. SCENIHR w opracowaniu z 2010 zauważył, że przy opisywaniu nanostruktur warto wziąć pod uwagę cały zakres wymiaru czyli od 1 do 999 nanometrów. Jednocześnie przyjął swoją kategoryzację nanostruktur: kategoria 1 - wymiar cząstek > 500 nm; kategoria 2 to struktury mniejsze niż 500 nm a większe niż 100 nm, natomiast kategoria 3 to cząstki definiowane wg normy ISO czyli między 1-100 nm.

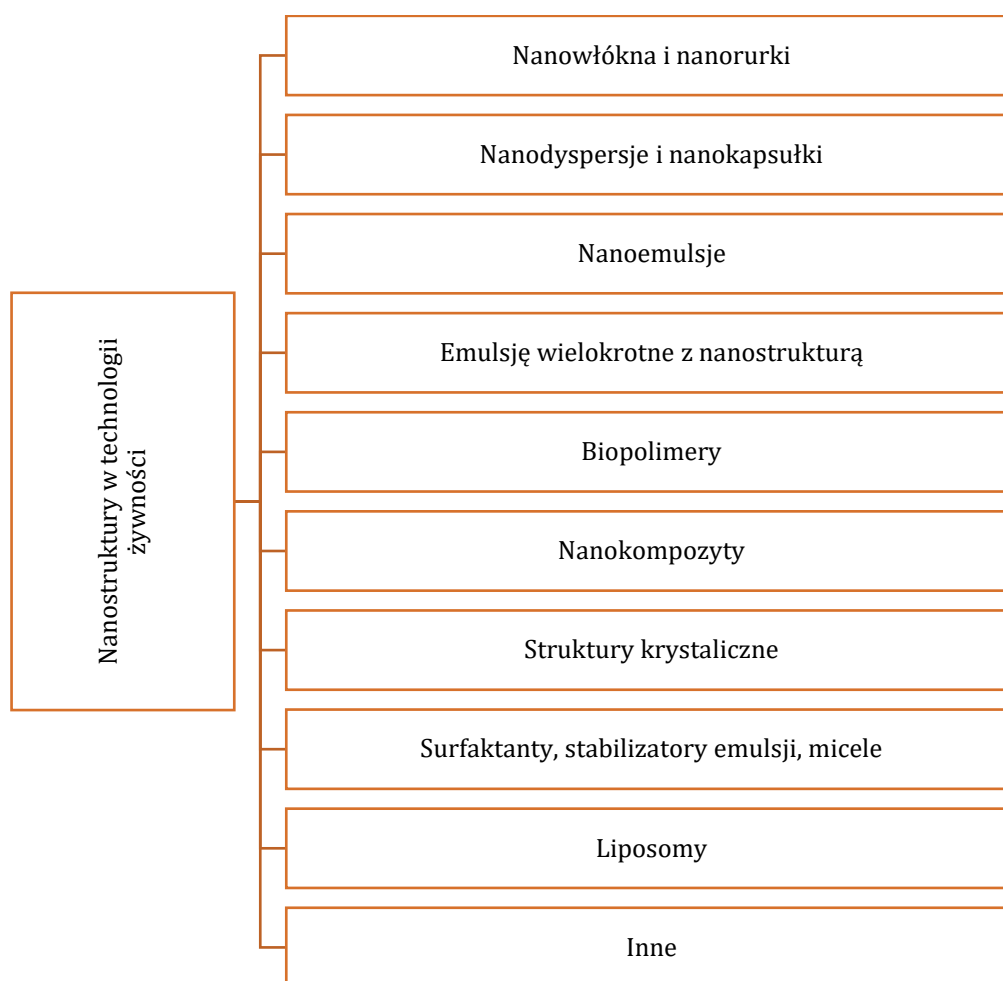
Obecnie, dla określenia struktur, których wymiary mieszczą się w granicach 101 – 999 nm używa się terminu cząstki, obiekty, struktury **submikronowe**.

Do najczęściej wymienianych zastosowań struktur w nanorozmiarze zalicza się aplikacje: biomedyczne, w farmacji, w elektronice, optyce, magazynowaniu wodoru, opracowaniu sensorów, materiałów inżynierskich o projektowanych właściwościach

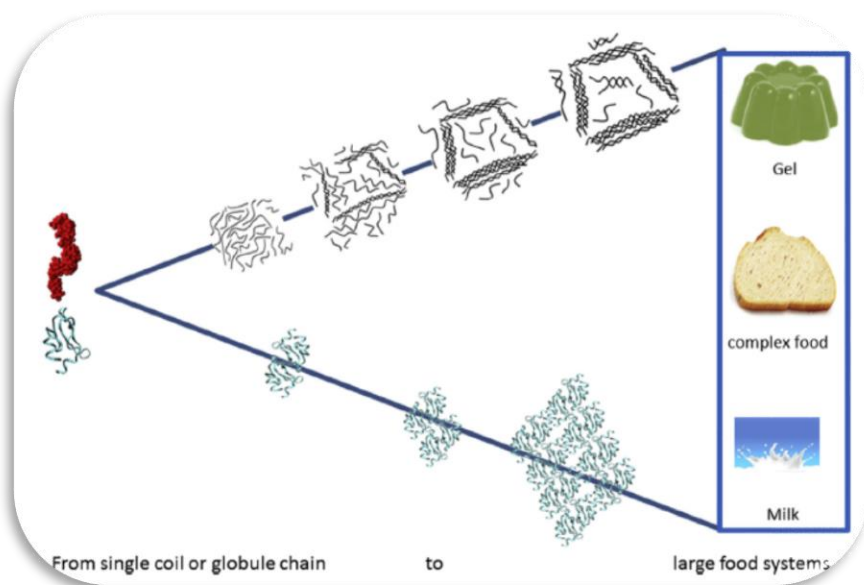
fizykochemicznych i użytkowych. Zwrócono także uwagę na możliwość wykorzystania osiągnięć w dziedzinie nanotechnologii w aplikacjach do żywności [2], typując cztery główne obszary: rolnictwo, przetwórstwo, żywienie i produkty [3].

Z uwagi na potencjał związany z możliwością implementacji rozwiązań z nanotechnologii w zakresie projektowania nowych produktów (Rys. 2) i szerokiemu spektrum metod analitycznych, postanowiłem zająć się zagadnieniem związanym z strukturami w nanorozmiarze do potencjalnych aplikacji w technologii żywności.

Żywność można scharakteryzować z punktu widzenia materiałowego i chemicznego, jako strukturę nanokompozytową, złożoną m.in. z dynamicznie niejednorodnej mieszaniny białek, polisacharydów, tłuszczów, witamin, przeciwutleniaczy, mikroorganizmów, barwników, soli i innych struktur, które rozproszone są w dużej ilości wody (Rys. 3).



Rys. 2 Nanostruktur w żywności/technologii żywności (I, [4])

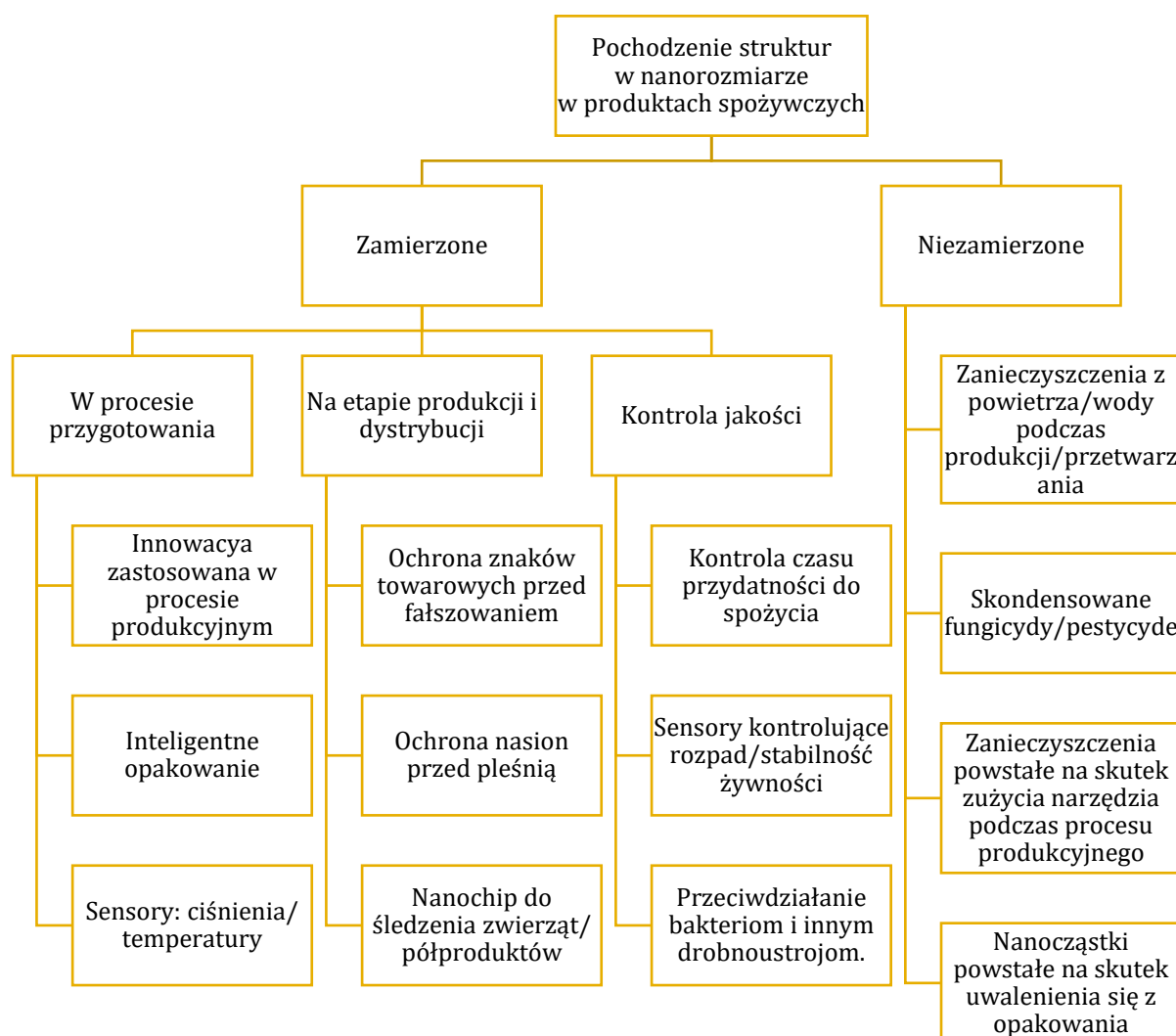


Rys. 3 Schematyczne przedstawienie makromolekuł w żywności od pojedynczej cząstki do układów złożonych (lewa strona) [1, [4]].

Pomimo tak zróżnicowanej złożoności, żywność można klasyfikować pod względem składu, struktury i dynamiki. W bardzo uproszczonym schemacie, żywność można sobie wyobrazić, jako wodną zawiesinę oddziałujących między sobą biopolimerów, w których rozproszone są wypełniacze. Na takich założeniach opierają się tezy termodynamiczne, sformułowane na przestrzeni lat, aby określić zachowanie poszczególnych faz układów złożonych [4]. Podkreślić należy, że z punktu widzenia technologii żywności, duże znaczenie ma znajomość i możliwość przewidywania interakcji pomiędzy elementami (materiałami) kompozycji (struktury) żywności, a także aspekty takie jak wymiar, dyfuzja i migrację składników, podobnie jak w „typowych” materiałach inżynierskich/biomateriałach.

Wiele produktów spożywczych składa się ze struktur w rozmiarze nano, mających znaczenie dla ich tekstury, co przekłada się bezpośrednio na zainteresowanie (lub jego brak) konsumentów. Różne rodzaje agregacji cząstek występują zarówno w napojach (których strukturę przyrównać można do roztworów rozcieńczonych), poprzez emulsje (układy lepkie), skończywszy na układach makroskopowych. Zauważyć przy tym należy, że końcowe właściwości żywności zależą zarówno od kompozycji poszczególnych jej składników, wielkości makrocząstek, a także sposobu, w jaki oddziałują składniki (cząstki) od poziomu molekularnego do makroskopowego [5–8]. W podsumowaniu

wprowadzenia, wskazać należy główne pochodzenie struktur w nanorozmiarze w produktach spożywczych/technologii żywności Rys. 4:



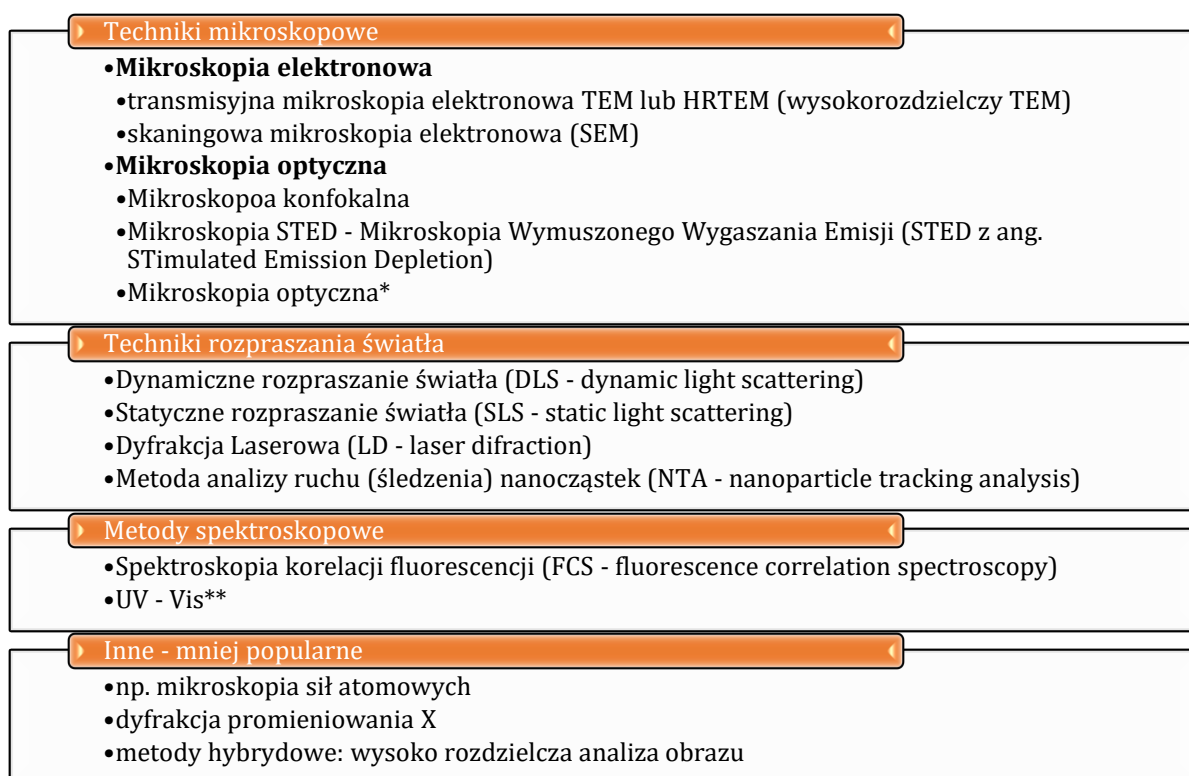
Rys. 4 Pochodzenie struktur w nanorozmiarze w produktach spożywczych

4.3.2. Metody wyznaczania rozmiaru nano- i submikronowych struktur w technologii żywności

W przypadku struktur w nanorozmiarze, zarówno ich kompozycja, w tym materiał/substancja główna, użyte modyfikatory (np. powierzchniowe) czy układ typu rdzeń powłoka, jak i rozmiar, istotnie wpływa na ich właściwości fizykochemiczne i aplikacyjne. W tym kontekście, kluczową rolę pełni odpowiednio dobrana metoda/technika i sposób wykonania badań związanych z rozmiarem cząstek.

W pracy pt. "Particle tracking analysis in food and hydrocolloids investigations" (I, [9]), która leży u podstaw mojego zainteresowania dyscypliną technologia żywności i żywienia przeprowadziłem analizę możliwości i ograniczenia w zastosowaniu najczęściej wykorzystywanych technik, a także potencjalnych metod wyznaczania rozmiaru cząstek. Należy przy tym zauważyć, że pojęcie „cząstka” (nanocząstka, cząstka w rozmiarze submikronowym) winna odnosić się do struktury ciała stałego. W przypadku żywności i szeroko pojętej technologii żywności bardzo często w literaturze, termin „cząstka” (particle) też jest stosowany do układów emulsyjnych (wyłączając emulsje typu Pickeringa), chociaż w tym przypadku, za właściwy należałoby przyjąć „kropla”.

Wśród najczęściej wykorzystywanych metod analizy rozmiaru struktur w rozmiarze nanometrycznym, wyróżnić należy (Rys. 5):



*ujęto w zestawieniu ze względu na możliwość dokonania obrazowania i określenia miejsca występowania nanostruktur w danym układzie oraz obserwacji „online” procesów w nim zachodzących (w rzeczywistości brak możliwości weryfikacji rozmiaru nanostruktur)

** technika UV-Vis wymaga stworzenia krzywej wzorcowej i zastosowania dodatkowych metod porównawczych [10]

Rys. 5 Najczęściej wykorzystywane metody analizy rozmiaru struktur w rozmiarze nanometrycznym

Z doświadczenia zarówno w analizie struktur w rozmiarze nano związanych z żywnością/technologią żywności, jak i do aplikacji biomedycznych czy kosmetycznych

lub do magazynowania wodoru, wynika (co będzie wielokrotnie przywoływane w tej pracy), że nie ma uniwersalnej metody wyznaczania rozmiaru struktur. Każda z wymienionych metod na Rys. 5 ma swoje zalety i ograniczenia. O ile największe powiększenia i możliwość obserwowania struktur od poziomu 1Å do kilku mikronów uzyskuje się na mikroskopach elektronowych, o tyle istnieje realna możliwość uszkodzenia preparatu/próbki biologicznej poprzez użytą wiązkę elektronów. Ponadto, preparaty zawierające np. tłuszcz, lub inne rozpuszczalniki mogą powodować uszkodzenia lub zanieczyszczenia komory pomiarowej, w której występuje próżnia. Stąd zalecenia, aby próbki żywności poddać specjalnej preparatyce, polegającej np. na wcześniejszej obróbce poprzez zamrożenie i pracę w tzw. modach cryo-SEM/TEM. Dodatkowe zabiegi i zamrażanie próbki powoduje brak możliwości monitorowania procesów zachodzących w układach tj. dyfuzja. Jednym z rozwiązań jest zastosowanie mikroskopii konfokalnej czy STED, w których obraz uzyskiwany jest poprzez oświetlenia fluorescencyjnych struktur przy użyciu laser o odpowiedniej długości fali. Tu z kolei pojawia się problem zastosowania barwnika do obrazowania wybranych struktur, który również może wpływać na właściwości obserwowanego układu. Ponadto, zakres obrazowania struktury jest z reguły ograniczony do nanometrów czy kilku mikrometrów, co w przypadku kompleksów spożywczych powoduje konieczność wyselekcjonowania pewnych obszarów próbki do analizy. Natomiast w przypadku mikroskopii optycznej na dzień dzisiejszy jest brak możliwości dokonania obrazowania i określania rozmiaru struktur nanocząstek i cząstek submikronowych. Podkreślić jednak należy niewątpliwą zaletę wszystkich technik mikroskopowych, a mianowicie możliwość dokonania analizy kształtu, morfologii obrazowanych struktur. W przypadku mikroskopii optycznej, możliwe jest dodatkowo śledzenie „online” procesów zachodzących w układzie, np. przemieszczanie się (dyfuzja) cząstek, koalescencja kropeł, destabilizacja lub krystalizacja i inne.

Techniki rozpraszania światła charakteryzują się dużą prostotą w zakresie przygotowania próbki do analizy. Przy czym w metodach DLS i SLS konieczne jest wytworzenie dyspersji cieczowej, natomiast w technikach wykorzystujących dyfrakcję laserową, możliwa jest analiza cząstek również w postaci proszków. O ile DLS i SLS nazwać można „ślepy” – brak rejestracji obrazu, a jedynie sygnały od światła rozproszonego przez cząstki w dyspersji, o tyle LD umożliwia już szersze analizy, w tym kształt i morfologię cząstek (w tym przypadku jest konieczne zastosowanie dodatkowych

modułów w aparaturze pomiarowej). Producenci aparatury do wyznaczania rozmiaru cząstek podają, że DLS stosować można w zakresie 0,3 – 10000 nm, natomiast LD w zakresie 40 nm (dyspersja wodna) do 2500 μm, przy czym rzeczywista „przydatność” techniki uwarunkowana jest zarówno rodzajem fazy rozproszonej (proszku), jak i rozpraszającej. W przypadku technik rozpraszania światła, istotna jest zarówno lepkość dyspersji, temperatura pomiaru, co wprost wynika z relacji Stokesa-Einsteina (1) [11]:

$$d_h = \frac{k_B T}{3\pi\eta D} \quad (1)$$

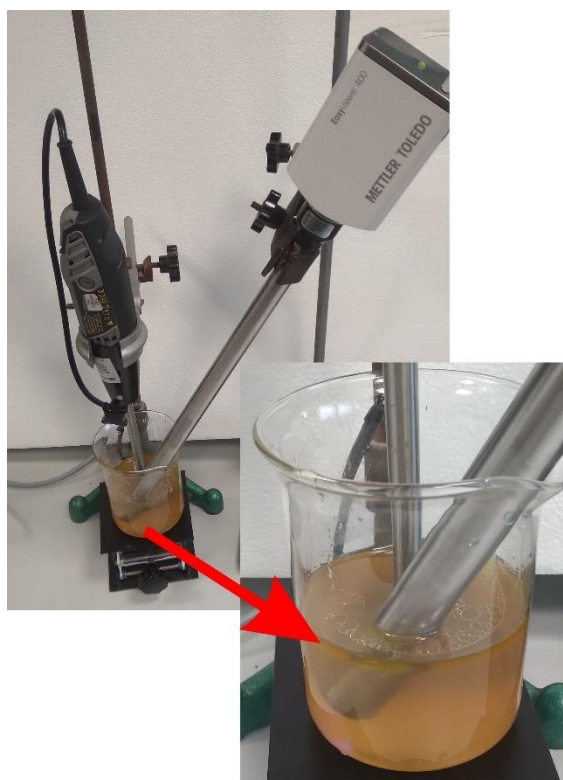
gdzie: d_h – średnica hydrodynamiczna, k_B – stała Boltzmana, T – temperatura pomiaru, η – lepkość, D – współczynnik dyfuzji cząstek (wyznaczany na podstawie tzw. funkcji autokorelacji z rejestrowanych sygnałów od światła rozproszonego przez cząstki dyspersji).

Z praktycznego punktu widzenia, przy pomiarach DLS, należy zwrócić uwagę na stężenie fazy rozproszonej, co przekłada się na mętność próbki. Następnie dobór kąta pomiarowego, przy którym rejestrowane są krzywe korelacji (dla próbek o dużej mętności zalecane jest stosowanie rozpraszania wstecznego – ok. 173-175° w zależności od producenta danego urządzenia). Przy pomiarach DLS szczególną uwagę należy zwrócić również na kształt cząstek – pomiar DLS „przybliża” kształt cząstki do kuli. Nie jest zatem zalecany do struktur o bardzo nieregularnym kształcie, w tym dla takich gdzie występują duże różnice pomiędzy szerokością a długością – np. włókna, pręty, rurki, etc. Zaznaczyć należy, że istnieją pewne modele matematyczne, mające możliwość wprowadzenia korekcji na kształt cząstek. Podkreślić natomiast należy, że DLS sprawdza się w tzw. pomiarach rutynowych. Inne aspekty pomiarów DLS, będą rozważane na poszczególnych przykładach układów emulsyjnych w dalszej części pracy.

W ostatnich latach rozwijane są metody polegające na rejestracji i analizie obrazu uzyskane z refleksów świetlnych powodowanych przez cząstki poruszające się np. ruchami Browna w zawiesinie. Metodę taką wprowadziła jako pierwsza firma Nanosight i nazwała NTA – nanoparticle tracking analysis (w polskim nazewnictwie nie spotkałem się z jednym terminem, a stosuję najczęściej: metoda analizy ruchu (śledzenia) nanocząstek (cząstek)). Podobnie jak w technice DLS, w trakcie pomiarów NTA wyznaczany jest współczynnik dyfuzji cząstek zawieszonych w roztworze, jednak

odbywa się to poprzez analizę obrazu. Układ pomiarowy składa się m.in. z lasera, obiektywu mikroskopu i kamerę oraz dedykowanego oprogramowania. W systemie Nanosight operuje się bardzo niskimi stężeniami rzędu 10^{-6} . Metoda NTA zalecana jest do analizy układów polidispersyjnych z uwagi na łatwiejszą identyfikację frakcji cząstek, przy czym pamiętać należy, że analizowana jest dużo mniejsza populacja.

W przypadku struktur krystalicznych, w technologii żywności poślukować można się dyfrakcją promieniowania x, gdzie jednocześnie wyznaczyć można rozmiar kryształitów, jak i strukturę związku – np. czy mamy do czynienia ze związaną w kryształach wodą. Natomiast techniki takie jak mikroskopia sił atomowych (AFM – atomic force microscopy), dedykowana do analizy powierzchni, wymaga znacznych dodatkowych zabiegów, związanych z preparatyką próbki (np. w przypadku liposomów, konieczność immobilizacji na odpowiednio wykonanym podłożu).



Rys. 6 Stanowisko do wytwarzania nanoemulsji, Laboratorium Badań Molekularnych Katedry Fizyki i Biofizyki Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu. Zbliżenie na sondę EasyViewer 400 używaną do testów przez Mettler-Toledo Sp. z o.o. Polska

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój technik związanych z analizą zarówno rozmiaru, jak i morfologii cząstek, a także kontroli procesu in situ. Jednym z najnowszych rozwiązań do kontroli dynamiki i postępu procesu, w tym zmiany rozmiaru cząstek/kropeł jest system EasyViewer 400 zaproponowany przez firmę Mettler-Toledo.

Sonę EasyViewer 400, przedstawioną na Rys. 6, rejestrującą wysokorozdzielcze obrazy (układ składa się m.in. z obiektywu i lasera oraz systemu rejestrującego i dedykowanego oprogramowania) wykorzystałem do analizy procesu wytwarzania układu emulsyjnego na bazie oleju z czarnuszki i ekstraktu z kory kasztanowca, jako stabilizatora emulsji. Rozdzielczość sondy to >980 nm, zatem służyć może jako narzędzie porównawcze, w tym do oceny dynamiki procesu. W dalszym etapie badań, planowane jest skorelowanie otrzymanych wyników z pomiarami DLS i obrazowaniem mikroskopowym. Niewątpliwą zaletą przedstawionego rozwiązania jest możliwość bieżącej kontroli procesu i możliwość wprowadzenia korekcji parametrów takich jak: szybkość mieszania, temperatura, wprowadzenie poszczególnych składników kompozycji w określonym czasie i ilości oraz ewaluacja czasu mieszania. Proponowany system nadaje się zarówno do badań laboratoryjnych, jak w dużej skali.

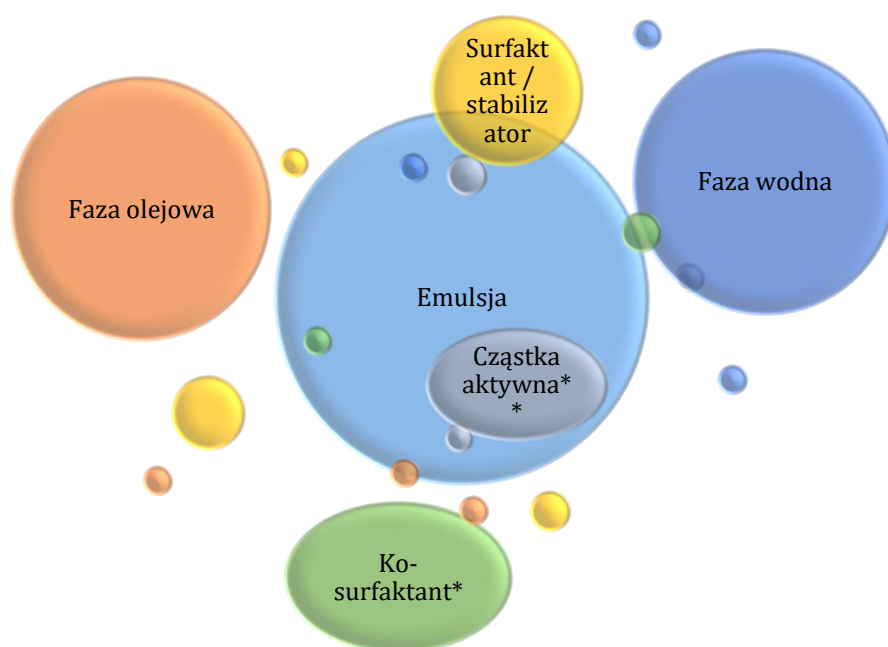
Podsumowując, przy doborze metody wyznaczania rozmiaru struktur w nanorozmiarze do aplikacji w technologii żywności należy wziąć pod uwagę czynniki takie jak:

- Rodzaj próbki, w tym skład, stan skupienia, jej złożoność (np. zróżnicowanie pod względem morfologii, kształtu).
- Zakres pomiarowy i rozdzielczość oraz ograniczenia techniczne urządzeń pomiarowych;
- Stopień skomplikowania przygotowania próbki do analizy. Uwzględnić należy np. konieczność sporządzenia dyspersji lub dodatkowe procesy związane z korekcją pH, temperatury, stężenia próbki;
- Oczekiwane rezultaty, np. porównanie rozmiaru kropli czy dokładna analiza kształtu, rozmiaru, morfologii, etc.;
- Szybkość i dostępność wykonania analizy;
- Koszty.

Z doświadczenia eksperymentalnego wynika, że do analizy rozmiaru struktur w nanorozmiarze, w tym do aplikacji w żywności i technologii żywności, rekomenduje się zastosowanie co najmniej dwóch różnych technik analitycznych. Przykład: skorelowanie wyników DLS z SEM (nie będą identyczne, a rozważania szczegółowe można znaleźć w pracy [12]).

4.3.3. Nanoukłady emulsyjne

Układy emulsyjne stosowane są w różnych gałęziach przemysłu: spożywczym, farbiarskim, kosmetycznym, farmaceutycznym i szeroko pojętych aplikacjach biomedycznych, w tym farmacji. Wśród układów emulsyjnych wyróżnić można dwa główne typy: olej w wodzie (oznaczone O/W) oraz woda w oleju (W/O) [II, 13]. Istnieją również układy wielokrotne, gdzie naprzemiennie występują fazy O/W/O i odwrotnie. Kluczową rolę w kompozycji odgrywa stężenie (udział procentowy lub wagowy) poszczególnych składników kompozycji – fazy olejowej, wodnej, surfaktantu, kosurfaktantu, składnika aktywnego (Rys. 7).



Rys. 7 Schematyczne przedstawienie układu emulsyjnego

***nie jest obligatoryjne wprowadzanie kosurfaktantu w strukturę emulsji**

****nie jest obligatoryjne wprowadzenie cząstki (substancji aktywnej) do układu, jednocześnie może występować kilka i różne rodzaje cząstek aktywnych (np. barwnik, suplement diety, lek, etc.).**

Emulsja jest termodynamicznie niestabilnym stanem mieszaniny faz, które mają tendencję do szybkiego rozdzielania się. Wśród mechanizmów destabilizujących emulsję wyróżnić można procesy koalescencji, flokulacja, kremowania, sedymentacji i starzenia Ostwalda [14]. Czynniki wpływającymi na stabilność emulsji, oprócz kompozycji wyjściowej, są również: końcowy rozmiar kropli, temperatura, pH i inne. Najczęściej obserwowanym procesem jest koalescencja, czyli proces łączenia się kropli danej fazy w

coraz większe struktury, skutkując finalnie separacją faz. W celu zapobiegania destabilizacji układu koloidalnego, wprowadza się do niego dodatkowe składniki (stabilizatory). Można wyróżnić 4 kategorie stabilizatorów: jony nie powierzchniowoczynne, koloidalne cząstki ciała stałego (np. cząstki krzemionki, cząstki polimerowe, cząstki gliny, wykorzystywane w emulsjach typu Pickeringa), klasyczne surfaktanty monomeryczne (np. SDS) i surfaktanty polimerowe (w tym biopolimery).

Inną strategią zwiększania stabilności układów emulsyjnych jest zmniejszanie wielkości kropeł. Mamy wtedy do czynienia z mikroemulsjami i nanoemulsjami. Obecnie w literaturze przedmiotu trwa pewien spór o terminologię mikro- nano-emulsja. Historycznie termin mikroemulsja obejmuje układy dyspersyjne, których cząstki/krople fazy rozproszonej są mniejsze niż 100nm (co wpisuje się w definicję nanostruktur). Wyzwanie związane z terminologią dotyczącą emulsji podjął McClements [15,16] i w większości prac zaproponowany przez niego podział jest stosowany (Tabela 1). Niemniej, zauważalny jest trend to wprowadzania nazwy nanoemulsja dla układów, których rozmiar kropli zdecydowanie przewyższa $d > 200\text{nm}$ (d – średnica) i takie prace można znaleźć w literaturze przedmiotu.

Tabela 1 Różnice pomiędzy emulsją, nanoemulsją i mikroemulsją na podstawie [15,16]

Emulsja	Nanoemulsja	Mikroemulsja
<ul style="list-style-type: none"> • $d = 100\text{ nm} - 100\text{ }\mu\text{m}$ • układ termodynamicznie niestabilny • stosunek powierzchni do masy $0,07-70\text{ (m}^2/\text{g)}$ • mętność: mętny/nieprzejrzysty 	<ul style="list-style-type: none"> • $d = 10\text{ nm} - 100\text{ nm}$ • układ termodynamicznie niestabilny • stosunek powierzchni do masy $70-330\text{ (m}^2/\text{g)}$ • mętność: mętny/przejrzysty 	<ul style="list-style-type: none"> • $d = 2\text{ nm} - 100\text{ nm}$ • układ termodynamicznie stabilny • stosunek powierzchni do masy $330-1300\text{ (m}^2/\text{g)}$ • mętność: mętny/przejrzysty

Na końcowy rozmiar kropli fazy zdyspergowanej wpływ ma preparatyka układu emulsyjnego, w tym rodzaj i sposób mieszania faz, np. użycie homogenizatorów szybkoobrotowych, ciśnieniowych, sonikatorów (homogenizatorów ultradźwiękowych), mikrofluidyzatorów, itp. oraz „know-how” związane z czasem homogenizacji, temperatury procesu czy prowadzenia procesu etapami/cykłami.

O przydatności danej emulsji decyduje jej stabilność. Obecnie nie ma uniwersalnego protokołu badawczego w tym zakresie. Wyróżnić można następujące metody (szersze omówienie wybranych metod znajduje się dalszej części pracy):

- ocena wizualna;
- ocena stabilności termicznej (obserwacja zachowania emulsji w określonej temperaturze/temperaturach);
- przyspieszona degradacja w komorach klimatycznych (obserwacja emulsji przy narzuconych warunkach środowiskowych temperatura, wilgotność, promieniowanie UV);
- przyspieszona/wymuszona sedymentacja (zwana również próbą wirówkową);
- zastosowanie technik rozpraszania światła np. DLS, SLS, NTA czy rozwiązanie zaproponowane przez system Turbiscan (Formulation SA) do wyznaczania rozmiaru kropeł fazy rozproszonej;
- pomiary spektrofotometryczne (mało popularne, wymagające korelacji z innymi metodami);
- wyznaczanie tzw. współczynnika emulsyfikacji (EM index).

4.3.4. Nanoemulsje stabilizowane proteinami

W pracy „**Pea protein for hempseed oil nanoemulsion stabilization**” [III, 17] przedstawiono możliwość zastosowania izolatów białka grochu jako stabilizatora emulsji typu olej w wodzie na bazie oleju z nasion konopii (HSO – hemp seed oil) w połączeniu z lecytyną jako kosurfaktantem. Badania przeprowadzono przy wykorzystaniu statystycznego modelu planowania eksperymentu Boxa-Behnkena, w celu optymalizacji proces przygotowania emulsji. Stabilność emulsji została określona poprzez badania rozmiaru kropeł z wykorzystaniem dynamicznego rozpraszania światła (DLS) oraz wirowania. Przeprowadzono również testy stabilności termicznej emulsji.

Białko grochu wybrano zarówno z uwagi na jego wartości odżywcze, jak i możliwą do odegrania rolę w tworzeniu i stabilizacji emulsji. Białka mają charakter amfifilowy i wykazują zdolności do tworzenia cienkich warstw filmów. W porównaniu do emulgatorów drobnocząsteczkowych, które szybko dyfundują do przestrzeni międzyfazowej, dyfuzja białek ze względu na ich dużą masę cząsteczkową jest wolniejsza. W macierzy emulsyjnej białka absorbują olej/wodę łącząc się i tworząc zwarte warstwy

wokół kropelek oleju, przy jednoczesnym zapewnianiu stabilności przestrzennej i ładunków elektrycznych w układzie emulsyjnym. Najczęściej obecnie stosowane emulgatory białkowe mają pochodzą głównie z mleka lub serwatki, soi, jaj, etc. ze względu na ich powszechną dostępność, wysokie wartości odżywcze oraz właściwości funkcjonalne. Z uwagi, że część z tych białek klasyfikowane jest jako możliwe alergeny pokarmowe oraz tendencje konsumentów do poszukiwania produktów nieodzwierzęcych, konieczne staje się poszukiwanie alternatywy wśród protein pochodzenia roślinnego. Groch (*Pisum sativum* L.) jest jednym z najczęściej uprawianych i eksportowanych roślin strączkowych w Kanadzie, a przy tym uznawany za bogate źródło białka (18–30%) o dobrze zbilansowanym profilu aminokwasowym. Białko grochu może być alternatywą dla białka sojowego ze względu na jego rozpuszczalność, właściwości wiązania wody i oleju, lepkość, pienienie, żelowanie i emulgowanie.

Z kolei HSO, pozyskiwany z nasion konopi (*Cannabis sativa* L.) jest wyjątkowo ceniony za swoje właściwości odżywcze, a także korzyści prozdrowotne. HSO charakteryzuje się optymalnym stosunkiem kwasów ω -6 (kwas linolowy, 18:2) do ω -3 (alfa-linolenowy, 18:3), natomiast zawartość kwasów tłuszczowych wahają się pomiędzy 2,1 a 3,1. Ponadto, HSO ma w składzie kwas linolenowy (18:3), kwas stearydonowy (18:4), zauważalną ilość tokoferoli i tokotrienoli, fosfolipidy, karoteny, minerały oraz terpenoidy β -sitosterol zapewniając lepsze wartości odżywcze HSO w porównaniu do większości olejów z nasion [18]. W ostatnich latach obserwowana jest zarówno zwiększona dostępność jak i popyt na HSO na rynku, ze względu rozwoju produktów żywnościowych, kosmetycznych, farmaceutycznych i innych.

Do przygotowania nanoemulsji typu O/W zastosowano proces dwuetapowy proces. Emulsje wyjściowe przygotowane były z wykorzystaniem homogenizatora ręcznego. Przyjęty model statystyczny zakładał wytworzenie 15 układów różniących się stężeniami lecytyny i białka grochu przy jednoczesnym zachowaniu stałych proporcji oleju i wody. Następnie, emulsje wyjściowe były poddane mieszaniu przy użyciu homogenizatora ultradźwiękowego przez określony czas w trybie ciągłym. Optymalizację procesu homogenizacji przy użyciu ultradźwięków szczegółowo opisano w pracy Pratap-Singh i in. [19].

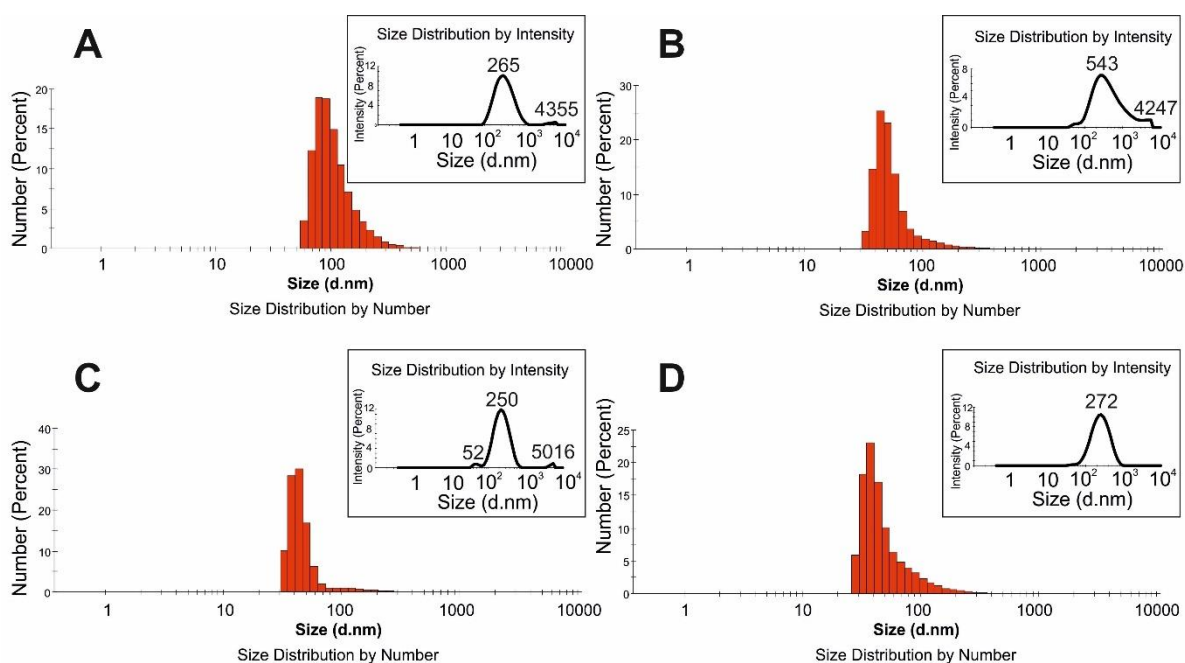
W pierwszej fazie dokonano oceny stabilności emulsji na podstawie oceny wizualnej i wyników rozkładu wielkości kropelek wyznaczonych za pomocą DLS. Na bazie przeprowadzonych symulacji numerycznych, których podstawę stanowiły badania

laboratoryjne, zaprojektowano optymalną kompozycję emulsji, biorąc pod uwagę czynniki takie jak: czas homogenizacji, rozmiar kropli, współczynnik polidispersji (PDI) i potencjał zeta. Jako kompozycję optymalną EMOP przyjęto układ składający się z 0,4% białka grochu, 5,0% lecytyna, który poddany był działaniem ultradźwięków przez 18 minut (Tabela 2). W celu określenia wpływu białka grochu na stabilność emulsji, wytworzono drugi układ bez dodatku protein. Próbką referencyjną miała oznaczenie EMO.

Tabela 2 Porównanie teoretycznych i eksperymentalnych wartości rozmiaru kropli, potencjału zeta, PDI, przy zastosowaniu analizy numerycznej

	Rozmiar kropli z-ave [nm]	Potencjał zeta [mV]	PDI [-]
Wartości teoretyczne na podstawie modelu matematycznego	209 ^a	-27,3 ^a	0,239 ^a
Wartości eksperymentalne	204 ^a	-27,9 ^a	0,240 ^a
Błąd	±2,39%	±2,15%	±0,41%

^a wartości oznaczone taką samą literą nie wykazują istotnych różnic ($p > 0,05$)



Rys. 8 Rozkład wielkości kropeł emulsji wyznaczony za pomocą DLS: (A), (C): EMOP; (B), (D): EMO odpowiednio po przygotowaniu i po 1 tygodniu.

Zarówno proces homogenizacji, jak i białko grochu miały znaczący wpływ na końcową wielkość kropeł emulsji. Mniejsze krople, biorąc pod uwagę parametr z-ave (209 nm)

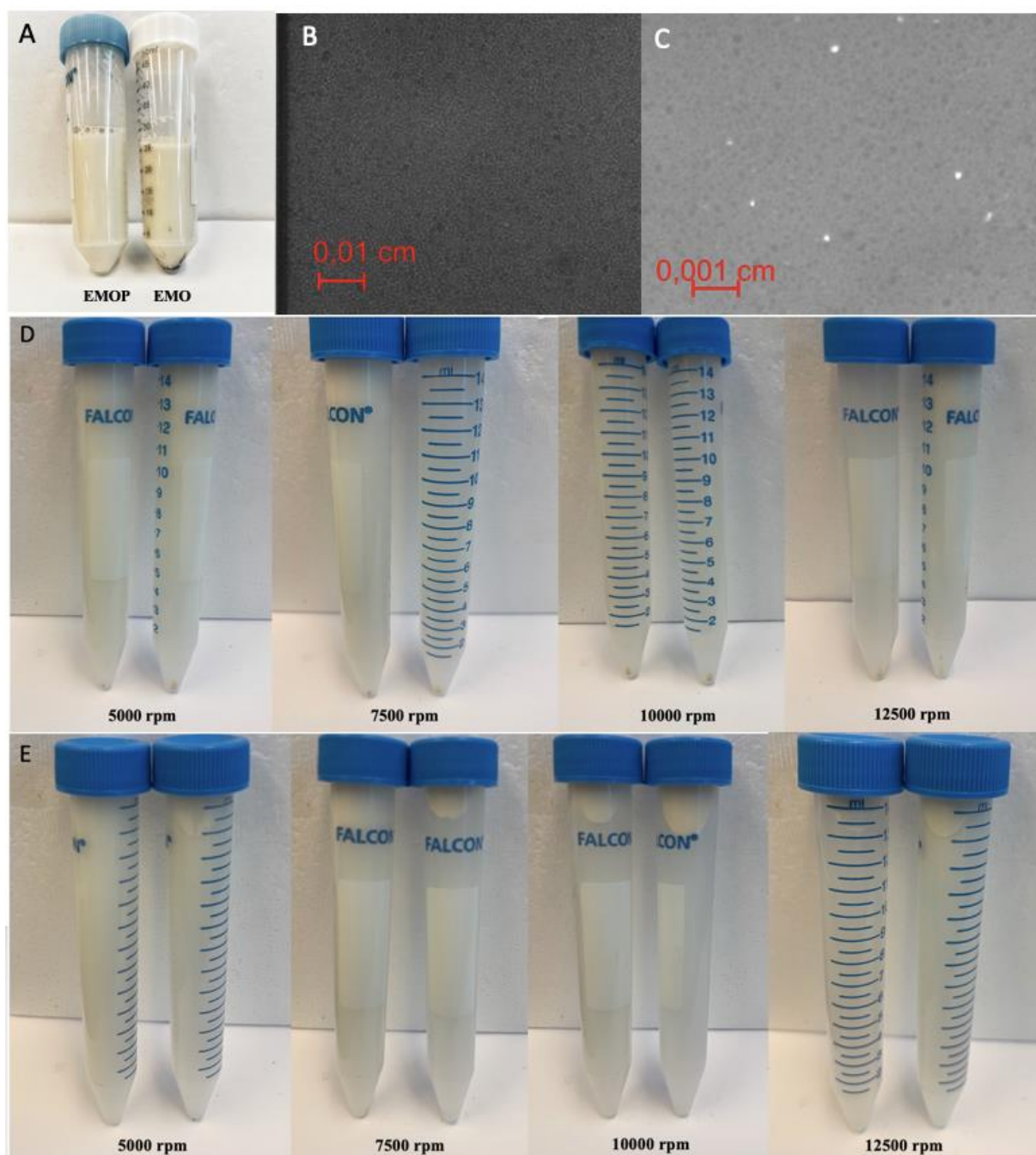
zaobserwowano w emulsji z dodatkiem białka EMOP niż bez dodatku białka EMO (z-ave = 309 nm). Wynika z tego, że dodanie cząsteczek białka, tu białka grochu, do układu emulsyjnego może powodować zmniejszenie napięcia międzyfazowego, co prowadzi do obniżenia ciśnienia Laplace'a co przekłada się na zmniejszenie rozmiaru kropeł fazy rozproszonej. Jednak przy wysokim stężeniu białka międzyfazowa elastyczność kropeł zmniejsza się, co skutkuje mniejszą stabilnością [20].

W tym miejscu należy zwrócić uwagę na kilka parametrów uzyskiwanych w trakcie pomiarów DLS. Pierwszym parametrem charakteryzującym średnicę hydrodynamiczną badanego układu jest tzw. z-ave, drugim maksimum pików. Parametr z-ave wyznaczany jest metodą kumulantów, jednak nie jest ona zalecana dla próbek o wysokim stopniu polidispersyjności. Drugim algorytmem najczęściej stosowanym w urządzeniach pomiarowych jest CONTIN, który polecany jest do bardziej szczegółowych badań próbek niejednorodnych (o dużym PDI) [21,22].

Ponadto, na Rys. 8 przedstawiono rozkłady wielkości cząstek w dwóch wersjach: rozkład wielkości kropeł względem intensywności światła rozproszonego przez cząstki/krople (intensity) oraz rozkład wielkości cząstek/kropeł względem ilości (number). Prowadzone przeze mnie analizy, jednoznacznie wykazały, że zalecane jest przedstawianie zarówno parametru z-ave, jak i obu wersji rozkładu wielkości cząstek/kropeł.

Tabela 3 Testy stabilności: Wyniki DLS (z-ave, PDI, MPM - maksimum pików głównego zarejestrowanego w trybie rozkład wielkości kropeł versus liczba kropeł), potencjału zeta (ζ) i wydajności enkapsulacji (EE%) dla emulsji bez białka (EMO) i z białkiem (EMOP) po 1 tygodniu przechowywania w temperaturze pokojowej, 37 i 50 °C.

Próbka	Warunki przechowywania	DLS				EE [%]
		z-ave [nm]	PDI	ζ [mV]	MPM [nm]	
EMO	Temperatura pokojowa	212±1	0.219 ± 0.011	-27.2±0.65	261±24	90.4% ± 1.1
	37 °C	282±2	0.370 ± 0.007	-21.8±0.87	377±36	87.5% ± 1.5
	50 °C	217±2	0.227 ± 0.017	-35.5±3.86	280±21	89.3% ± 1.3
EMOP	Temperatura pokojowa	206±2	0.188 ± 0.025	-42.1±0.67	252±20	98.6% ± 2.1
	37 °C	343±1	0.205 ± 0.020	-18.2±0.53	414±15	96.3% ± 1.9
	50 °C	201±1	0.203 ± 0.003	-29.1±3.66	252±7	96.9% ± 2.1



Rys. 9 Obrazy emulsji z białkiem (EMOP) i bez białka (EMO) podczas testów stabilności: (A) Obrazy EMOP i EMO po dwutygodniowym przechowywaniu, (B) obrazowanie mikroskopowe emulsji próbki w trybie widzialnym; x40, (C) obrazowanie mikroskopowe emulsji próbki w trybie fluorescencyjnym; x40, (D) warstwa sedymentacyjna i śmietankowa (E) EMOP (po lewej) i EMO (po prawej) po odwirowaniu przy określonych obrotach; *skala: - brak efektu wizualnego; + minimalny efekt, ++ średni efekt, +++ maksymalny efekt.

Tabela 3 zawiera zestawienie wyników oceny stabilności emulsji poprzez analizę rozmiaru kropelek za pomocą DLS. Badania wykazały, że po tygodniu przechowywania wielkość kropelek emulsji nieznacznie spadła w temperaturze pokojowej i 50°C. Wysoka stabilność wielkości kropelek emulsji w temperaturze 50°C sugeruje, że wyższa

temperatura ma konserwujący wpływ na wytworzone nanoemulsję. Wzrost wielkości kropeł i nieprzyjemny zapach zaobserwowano w próbkach przechowywanych w temperaturze 37°C (na tym etapie nie przeprowadzono szczegółowych badań mikrobiologicznych, domniemywać jednak można, że nastąpił wzrost mikroorganizmów pochodzących np. z powietrza). Jednorodność, próbek oceniano za pomocą mikroskopu optycznego w trybie widzialnym i fluorescencyjnym (Rys. 9). Następnie przeprowadzono ocenę stabilności emulsji pod wpływem działania siły odśrodkowej (próba wirówkowa Rys. 9).

Podsumowując, uzyskane wyniki potwierdziły wysoki wpływ stężenia lecytyny i białka grochu na wielkość i jednorodność kropeł emulsji, co zostało potwierdzono zarówno w badaniach DLS, jak i obrazowaniem mikroskopowym. Przedstawione wyniki są pierwszymi krokami w kierunku wykorzystania emulsji na bazie oleju konopnego jako potencjalnego nośnika dodatków do żywności, takich jak aromat.

4.3.5. Układy emulsyjne stabilizowane saponinami

Wśród emulgatorów pochodzenia naturalnego, dominują biosurfaktanty bazujące na układach mikrobiologicznych oraz lecytyna. Duży potencjał mają w sobie również związki powierzchniowoczynne pochodzenia roślinnego zawierające saponiny [23,24]. Ich właściwości wynikają ze struktury chemicznej: lipofilowy aglikonem i hydrofilowe grupy glikozyłowe. Aglikony saponin (czyli niecukrowa część glikozydów) składają się z pentacyklicznych triterpenoidów z kwasem oleanolowym. Natomiast część glikozyłowe obejmują najczęściej glukozę, galaktozę, ramnozę, ksylozę, etc. Często do klasyfikacji saponin wykorzystuje się różnice w składzie aglikonu i grup glikozyłowych. Saponiny mają dość wszechstronne działanie, z uwagi na możliwość brania udziału w niektórych specyficznych czynnościach biologicznych, takich jak hemoliza, wykazują zdolność łączenia się z lipidami i cholesterolem na powierzchni czerwonych krwinek, dzięki czemu każdy jon żelaza jest skompleksowany z czterema pierścieniami pirydynowymi. Saponiny wykazują zdolności do zmniejszania napięcia powierzchniowego, a jednocześnie łatwo rozpuszczają się w wodzie z uwagi na właściwości hydrofilowe.

Saponiny znalazły zastosowanie w przemyśle spożywczym m.in. jako suplement zwiększający ilość i stabilność piany w napojach. Saponiny posiadają naturalną zdolność do tworzenia stabilnych i funkcjonalnych makroemulsji oraz nanoemulsje. Inne

wykorzystanie saponin to m.in. w procesach bioremediacji gleby. Niewątpliwą zaletą saponin z punktu widzenia technologii żywności, są ich cechy związane z aktywnością biologiczną i udokumentowane właściwości przeciwgrzybicze i bakteriobójcze. Obecnie dostępnych jest tylko kilka komercyjnych produktów zawierających saponiny, z których większość pochodzi z *Quillaja saponaria* i *Saponaria officinalis* (mydlnica lekarska). Zauważyć należy, że mydlnica składa się w ponad 20% saponin, a wzmianki o jej zastosowaniu, jako detergentu znaleźć można już w starożytności. Zauważyć należy, że ekstrakty roślinne bazujące na saponinach mają nie tylko zróżnicowane CMC, a jednocześnie mogą stanowić alternatywę dla surfaktantów syntetycznych. Dla porównania, CMC (krytyczne stężeni micelizacji) wyniosło dla: saponin z dziewanny (*Verbascum nigrum* L.) 10,00 g/L, SDS (dodecylosiarczan sod) 2,60 g/L, saponin z *Quillaja saponaria* 1,10 g/L, mydlnica 0,95 g/L, Triton X-100 0,19 g/L, orzechy piorące 0,10 g/L, Tween 80 0,06 g/L.

W pracy pt. **“*Verbascum nigrum* L. (mullein) extract as a natural emulsifier”** [II, 13] zająłem się możliwością wykorzystania ekstraktu z dziewanny, jako stabilizatora emulsji. Jak już wspomniano, dziewanna (*Verbascum nigrum* L.) zawiera w sobie znaczne ilości saponin. Ponadto, jest to roślina zielna, dwuletnia lub krótkotrwała bylina, występująca naturalnie na terenach Europy, Azji, a także w klimacie śródziemnomorskim i w strefie umiarkowanej. Materiał pochodzący z kwiatów dziewanny stosowany jest w lecznictwie, m.in. w infekcjach górnych dróg oddechowych, jako preparat wykrztuśny oraz w leczeniu przewlekłego nieżytu nosa. W pracy [II, 13], we współpracy z Politechniką Poznańską przeprowadzono m.in. analizy spektroskopowe i chromatograficzne ekstraktu z dziewanny, jak i badania właściwości powierzchniowych.

Wyróżnić należy istotne novum w tej pracy, polegające na porównaniu właściwości powierzchniowych ekstraktu z dziewanny otrzymanego bezpośrednio po procesie ekstrakcji i rozpuszczonego w wodzie (nazwanego „crude”) oraz tak samo pierwotnie przygotowanego, ale poddanego dodatkowemu procesowi filtracji (nazwanego „filtrate”). Proces filtracji przeprowadzono za pomocą filtra strzykawkowego 0,2 μm . Założeniem przeprowadzonego procesu filtracji było wytworzenie „struktur” w nanorozmiarze. Ideą było także podjęcie próby scharakteryzowania ekstraktu po filtracji, technikami DLS i NTA, tak jak „typowych” nanocząstek.

Jako materiał odniesienia posłużono się uprzednio scharakteryzowanym w pracy [25] ekstraktem z mydlnicy. Dla porównania, parametr z-ave dla ekstraktu *V. nigrum* L. wyniósł 133 nm, a dla *Saponaria officinalis* L. 304 nm. W pomiarach DLS ekstraktu z dziewanny zaobserwowano jeden szeroki pik rozkładu wielkości cząstek, natomiast w przypadku mydlnicy dwie frakcje cząstek (2 piki). Przeprowadzone badania wykazały, że krytyczne stężenie micelizacji (CMC), które jest jednym z kluczowych parametrów przy ocenie właściwości powierzchniowoczynnych danego związku (kompozycji) wyniosło dla ekstraktu z *V. nigrum* 10,00 g/L. Dla porównania wartość CMC dla SDS wynosi 2,60 g/L, Triton X-100 0,19 g/L, a dla ekstraktu z *Quillaja saponaria* 1,10 g/L.

Następnie ekstrakt z dziewanny przed i po filtrowaniu użyto, jako surfaktant dla układów typu O/W, gdzie fazą olejową był olej rzepakowy, wazelinowy i parafinowy. Analiza stabilności emulsji wykazała, że pozostają stabilne przez 8 tygodni, przy czym najlepszymi parametrami charakteryzował się układ z olejem wazelinowym. Potwierdzono również hipotezę, że wielkość cząstek występujących w ekstrakcie (zwłaszcza po filtracji) ma wpływ na właściwości powierzchniowoczynne przygotowanego ekstraktu z dziewanny. W przypadku oleju wazelinowego i parafinowego uwidocznił się znaczny wpływ procesu filtracji stabilizatora na zwiększenie stabilności układu koloidowego. Ekstrakt ten może odgrywać znaczącą rolę w rozwoju nowych stabilizatorów emulsji i wskazuje na jego potencjalną przydatność jako emulgator w produktach handlowych.

Jedną z mniej znanych, pod kątem właściwości powierzchniowoczynnych, rośliną jest kasztanowiec zwyczajny (*Aesculus hippocastanum* L., AHL). Niemniej, ekstrakt z kasztanowca, zawierający escynę był stosowany w m.in. leczeniu przewlekłej niewydolności żylną oraz ma działanie przeciwzapalne i przeciwobrzękowe [26]. Ekstrakty z łupin nasion mają wysoką całkowitą zawartość fenoli o właściwościach przeciwutleniających. Z kolei nasiona AHL zawierają escynę glikozydów saponinowych i substancje aktywne takie jak kwercetyna i kemferol. Z uwagi na obecność saponin, wytypowano AHL jako potencjalny stabilizator emulsji. W pracy "***Aesculus hippocastanum* L. extract as a potential emulsion stabilizer**" [IV, 25] szczegółowo scharakteryzowano AHL, przed i po filtrowaniu metodami spektrofotometrycznymi i chromatograficznymi, a także potwierdzono właściwości fluorescencyjne etanolowego roztworu AHL. Jednocześnie, do analizy struktury i właściwości fizykochemicznych AHL, zaimplementowano metody dedykowane głównie inżynierii materiałowej, takie jak

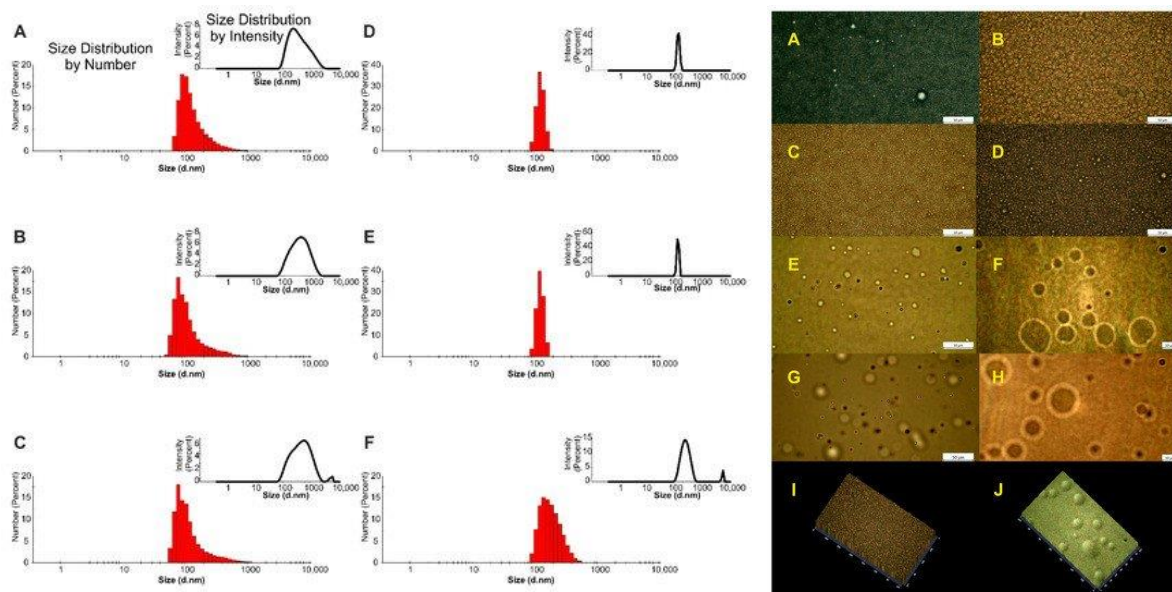
dyfrakcja laserowa czy analiza właściwości termicznych przy użyciu różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC). Badania DSC są niezwykle przydatnym narzędziem przy projektowaniu procesów technologicznych, szczególnie w technologii żywności, gdzie wiele składników ulega pożądanym lub niepożądanym przemianom w różnych temperaturach oraz możliwa jest inaktywacja substancji aktywnych. Przeprowadzone badania wykazały, że kompozycja ekstraktu nie ulega zmianie po filtracji.

Następnie, przy użyciu ekstraktu z AHL jako stabilizatora wytworzono układy emulsyjne na bazie oleju rzepakowego i heksadekanu. Jako wyznacznik stabilności emulsji przyjęto wskaźnik emulgacji EI_{24} [28]. Analizy wykazały korzystny wpływ dodatkowego procesu filtracji ekstraktu, co przekłada się na większą wartość EI_{24} . Ponadto, uzyskane wyniki wskazały, że mniejsze stężenie surfaktantu, zwiększa stabilność układu (co nie jest regułą).

Bazując na wynikach z omówionej wyżej pracy [IV, 25] oraz [III, 17], w której jako fazę rozproszoną zastosowano olej z konopi (ang. hempseed oil, HSO), przeprowadzono badania nad możliwością wytworzenia nanoemulsji, stabilizowanej ekstraktem z kasztanowca [VII, 27]. Do przygotowania serii próbek nanoemulsji typu O/W, gdzie jako faza użyto HSO, a fazę rozpraszającą stanowiła woda lub roztwór soli (NaCl) z kwasem hialuronowym (HA), zastosowano proces dwuetapowy. W pierwszym etapie, składniki kompozycji wymieszano przy użyciu szybkoobrotowego homogenizatora. W drugim etapie, w celu zwiększenia stabilności emulsji, poprzez dodatkową redukcję rozmiaru kropli fazy rozproszonej, zastosowano mieszadło ultradźwiękowe. Wytworzoną serię kompozycji układów emulsyjnych (randomizowano stężenie surfaktanty, ilość fazy olejowej) oceniono pod kątem właściwości reologicznych (wyznaczono lepkość przy użyciu lepkościomierza rotacyjnego) oraz uzupełniono charakterystykę ekstraktu poprzez rejestrację widm FTIR. Rozmiar kropli wyznaczono metody DLS, a wyniki skorelowano z badaniami mikroskopowymi.

Testy stabilności, w tym współczynnik EI, oraz badania rozkładu wielkości kropeł techniką DLS wykazały, że dodatek ekstraktu z kasztanowca (tu oznaczony jako AHE) korzystnie wpływa na stabilność emulsji. Badania wykonane po 7 dniach od przygotowania wykazały, że współczynnik EI dla kompozycji z wody wynosi około 100%, w przeciwieństwie do układów zawierających sól i HA. Optymalny skład uzyskano dla kompozycji zawierającej 5% HSO i 2 g/L AHE w wodzie.

Z punktu widzenia oceny stabilności emulsji i jej możliwości zastosowania, m.in. w technologii żywności jest rozmiar kropli. W układach termodynamicznie niestabilnych, tj. emulsje zastosowanie „klasycznych” metod analizy rozmiaru nanocząstek bazujących na mikroskopii elektronowej lub konfokalnej, jest znacznie utrudniony, m.in. poprzez ciągły ruch kropli. Jak już wspomniano, do analizy dyspersji, najczęściej stosuje się DLS. W pracy [21] oraz w omawianej tu pracy, przedstawiono jak ważne jest odpowiednie przedstawienie i interpretacja wyników. Moje badania potwierdziły, że w przypadku emulsji o dużym PDI, korzystne jest podawanie rozkładu wielkości cząstek/kropli zarówno w funkcji intensywności światła rozproszonego, jak i ilości cząstek. Ponadto, przeprowadzone eksperymenty nad nanoemulsjami, jasno potwierdziły, że przy ocenie stabilności należy posiłkować się dodatkowymi (nie tylko DLS) metodami.



Rys. 10 Rozkład wielkości kropli emulsji wyznaczony techniką DLS (lewa strona), obrazowanie układów emulsyjnych przy użyciu mikroskopu odwróconego (prawa strona).

Rysunki pochodzą z pracy [VII, 27]

Zaznaczyć należy, że do weryfikacji stabilności emulsji w pracy “*Aesculus hippocastanum* L. as a stabilizer in hemp seed oil nanoemulsions for potential biomedical and food applications” [VII, 27], wykorzystano mikroskop odwrócony oraz specjalną kuwetę z mikrokanalami. Na Rys. 10 przedstawiono porównanie pomiędzy wynikami DLS, a obrazowaniem mikroskopowym.

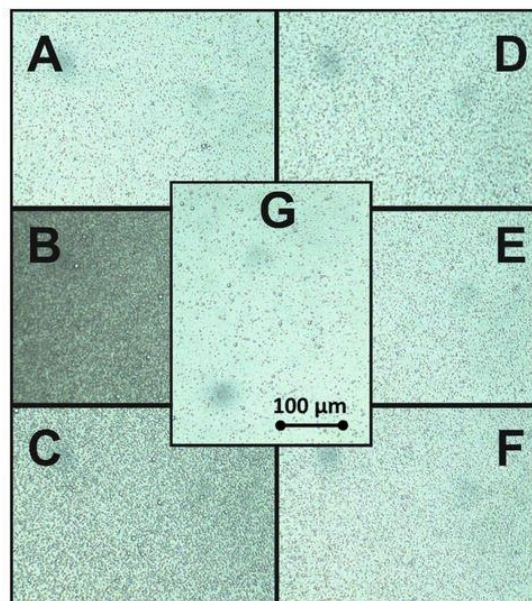
Zaobserwować można, że próbki z wodą jako fazą rozpraszającą wykazują się znaczną jednorodnością. Natomiast, w próbkach z solą i HA, pomimo wyników DLS

sugerujących znaczny udział kropli w rozmiarach nanometrycznych, obrazowanie mikroskopowe wykazało znaczny rozrzut wielkości kropeł oraz znaczny udział kropli o rozmiarach mikrometrycznych. Obecność kropeł o większych średnicach wpływa na przyspieszenie procesu koalescencji, który jest niekorzystny z punktu widzenia aplikacji danego układu emulsyjnego. Obserwowane w wielu produktach spożywczych rozwarstwianie się faz (np. w produktach mlecznych typu serek homogenizowany czy jogurt modyfikowany), które jest procesem naturalnym, niekorzystnie wpływa na odbiór danego produktu przez konsumenta. Stąd w przygotowywanych przeze mnie pracach często pojawia się rekomendacja dotycząca konieczności wykonania obrazowania mikroskopowego produktów czy suplementów spożywczych. Zaznaczyć należy, że oczywistym jest brak możliwości wyznaczenia kropeł emulsji w nanorozmiarze, niemniej mikroskop świetlny okazuje się bardzo dobrym narzędziem do oceny homogeniczności produktów spożywczych i śledzenia procesów zachodzących na etapie ich przygotowania oraz w czasie przechowywania.

Podkreślić należy, że saponiny zawarte m.in. w ekstraktach z kasztanowca, wykazują aktywność przeciwdrobnoustrojową. Poszukiwanie alternatyw dla syntetycznych konserwantów w produktach pochodzenia naturalnego jest jednym z kluczowych wyzwań w technologii żywności. Ponadto, udana kompozycja ekstraktu z kasztanowca z olejem z konopi w układach emulsyjnych może przekładać się na zwiększenie właściwości odżywczych, czyniąc je świetnymi kandydatami do nowych receptur produktów spożywczych.

Roślinami obfitującymi w zawartość saponin są mydlnica lekarska (*Saponaria officinalis*) oraz mydłodrzew właściwy (*Quillaja saponaria*). Predysponuje je to do stosowaniu jako środki powierzchniowo czynne. W przeprowadzonych przeze mnie i pozostałych autorów badaniach opisanych w [VI, 28] ekstrakty z mydlnicy i mydłodrzewu wykorzystane zostały jako emulgatory do sporządzenia emulsji typu olej w wodzie (O/W) na bazie oleju konopnego (HSO). Podobnie, jak w przypadku ekstraktu z kasztanowca, do oceny stabilności emulsji wykorzystano współczynnik emulsyfikacji (EI), a także przeprowadzono próby wirowania oraz analizę rozkładu wielkości kropeł wspomaganą obrazowaniem mikroskopowym. Do przygotowania stabilnych układów emulsyjnych wykorzystano omówiony dwustopniowy proces homogenizacji, dzięki któremu rozmiar kropeł oscylował między 50–120 nm w zależności od zastosowania ekstraktów z *Saponaria officinalis* i *Quillaja saponaria*. Badania układów koloidowych rozszerzono o

wyznaczenia napięcia powierzchniowego, a także zweryfikowano ich aktywność biologiczną. Jak już wspomniano, typowo im mniejszy rozmiar kropelek emulsji, tym większa jej stabilność. Pożądane jest zatem wytwarzanie struktur koloidowych w nanorozmiarze. W tej pracy poruszony był także wpływ stężenia surfaktantu na stabilność układu O/W. W optymalnej kompozycji, stężenie surfaktantu wyniosło 2 g/L przy EI wyznaczonym po siedmiu dniach na poziomie 98% dla kompozycji z mydlnicą i 90% dla kompozycji z mydłodrzewem.



Rys. 11 Obraz z mikroskopu optycznego przygotowanych emulsji. [VI, 28]

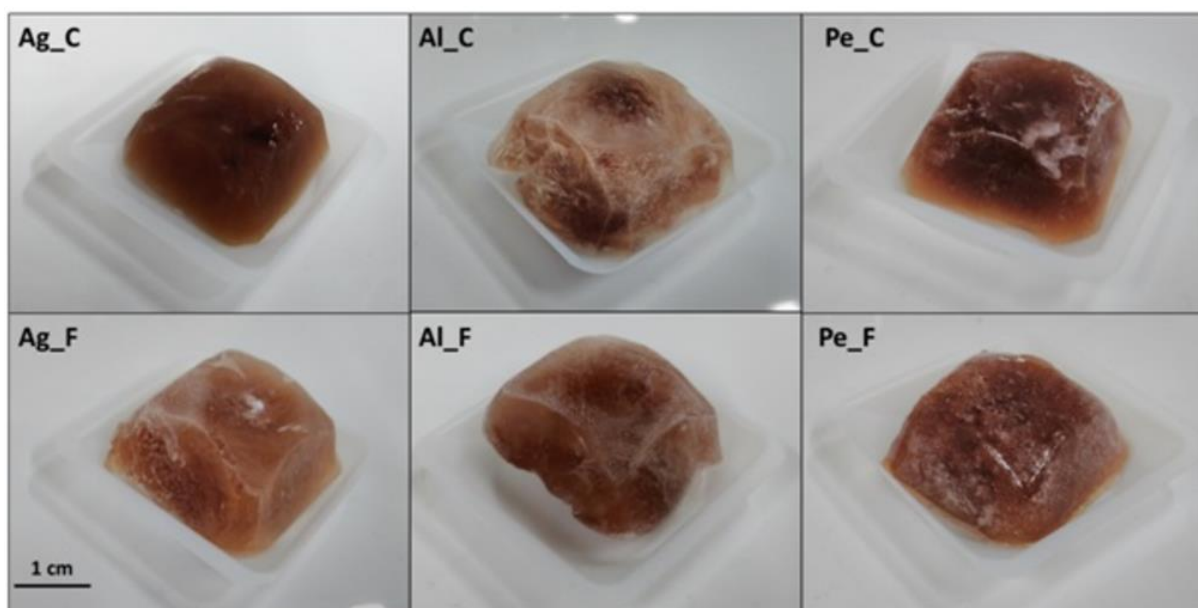
Dodatkowe testy stabilności emulsji tj. próba wirowania, badania DLS, czy wyznaczone wartości napięcia powierzchniowego korespondują z współczynnikiem EI. Ponadto stwierdzono, że ekstrakty z *Quillaja saponaria* indukują wzrost bakterii *Pseudomonas fluorescens* ATCC 17400, podczas gdy ekstrakty z *Saponaria officinalis* wykazywały niewielką toksyczność dla tego szczepu. W przypadku aplikacji ekstraktów roślinnych zawierających saponiny do opracowania nowych suplementów diety, mających wspomagać florę bakteryjną, należy zatem przeprowadzić dodatkowe analizy związane z możliwym efektem bakteriobójczym wybranego ekstraktu. Jest to szczególnie istotne przy tworzeniu kompozycji z probiotykami. Dodatkowym aspektem jest też konieczność przeprowadzenia dodatkowych testów stabilności ekstraktów roślinnych w podwyższonej temperaturze (np. w celu optymalizacji obróbki termicznej produktu spożywczego). Przeprowadzone badania mikroskopowe wybranych układów emulsyjnych korespondują z wynikami uzyskanymi z pomiarów DLS i potwierdzają homogeniczność opracowanych kompozycji. Podsumowując, ekstrakty z mydlnicy i mydłodrzewu są kolejną alternatywą dla syntetycznych surfaktantów, stosowanych w technologii żywności.

4.3.6. Układy multifazowe w technologii żywności

Wiele produktów spożywczych charakteryzuje się bardzo złożoną strukturą. Wielokrotnie, jeden produkt spożywczy może składać się z trzech stanów skupienia: pustych porów wypełnionych powietrzem, struktur stałych np. w postaci włókien, oraz półpłynnej i płynnej (jak choćby emulsje). Żywność można zatem zaliczyć do układów złożonych (tzw. „complex system”), a także multifazowych.

W ramach prac związanych z implementacją struktur w nanorozmiarze do technologii żywności, swoją uwagę skupiłem na ekstrakcie z dziurawca *Hypericum perforatum* L. (HPL) [V, 29]. Jest on tradycyjnie stosowany jako herbata ziołowa oraz jako suplement diety, z uwagi na swoje właściwości bioaktywne. Preparaty z dziurawca wykazują działanie antydepresyjne, przeciwutleniające, przeciw lękowe, przeciwnowotworowe oraz przeciwzapalne. Ekstrakty z dziurawca sprzyjają zmniejszeniu stresu oksydacyjnego, a tym samym zapobiegają stanom zapalnym, neurotoksyczności i niwelują problemy żołądkowo-jelitowe. Istnieją również badania wskazujące na właściwości przeciwwirusowe i przeciwbakteryjne dziurawca.

W pracy „**Characterization of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) and the impact of filtration process on bioactive extracts incorporated into carbohydrate-based hydrogels**” [V, 29], podjąłem ponownie tematykę związaną z wpływem rozmiaru na właściwości fizykochemiczne opracowanego układu. W tym celu ekstrakt z dziurawca został poddany dodatkowemu procesowi filtracji, a następnie inkorporowany w macierz hydrożelową (alginianu, agaru i pektyny). W pierwszej fazie eksperymentu scharakteryzowano ekstrakt z dziurawca (HPL) przed i po filtracji przy użyciu FTIR, UV-Vis oraz chromatografii gazowej ze spektroskopią mas. Badania nie wykazały istotnych różnic w kompozycji ekstraktu przed i po filtracji. Natomiast efektywność samego procesu filtracji oceniano przy użyciu techniki DLS w temperaturze 20°C i 37°C. Wyznaczone średnice hydrodynamiczne cząstek HPL wynosiły dla tych temperatur odpowiednio 180 nm i 189 nm. Przeprowadzono również testy właściwości bioaktywnych na wybranych czterech szczepach bakterii z rodzaju *Pseudomonas*. Strukturę hydrożeli poddano badaniom strukturalnym.



Rys. 12 Hydrożele z agaru (Ag), alginianu (Al), pektyny (Pe) z wyjściowym ekstraktem (C) oraz po filtracji (F)

Przeprowadzone obserwacje wykazały znaczne różnice w oddziaływaniu ekstraktu wyjściowego i po filtracji na komórki bakterii. Przefiltrowany ekstrakt zmodyfikował powierzchnie komórek bakterii na bardziej hydrofobowe, co może przekładać się na różne właściwości adhezyjne ekstraktu wyjściowego i filtrowanego. Natomiast analiza układów hydrożelowych z ekstraktem (Rys. 12) wykazała, że hydrożele na bazie naturalnych węglowodanów są podatne na zmianę struktury pod wpływem różnej wielkości cząstek substancji aktywnej (tu HPL). Dodatek HPL nie wpływa na właściwości żelujące pektyny, a jednocześnie wpływa na teksturę kompozycji. Tu zauważyć należy, że z pośród analizowanych węglowodanów pektyna jest najbardziej hydrofobowa.

Podkreślić również należy, że przeprowadzone badania są jednymi z pierwszych, które podniosły aspekt wpływu wielkość cząstek wybranych składników na strukturę, teksturę właściwości wybranych kompozycji hydrożeli. Łącząc tę wiedzę z wielofunkcyjnością właściwości bioaktywnych ekstraktu z dziurawca, możliwe jest bardziej świadome projektowanie żywności funkcjonalnej.

4.3.7. Analiza dodatków do żywności w kontekście ich rozmiaru

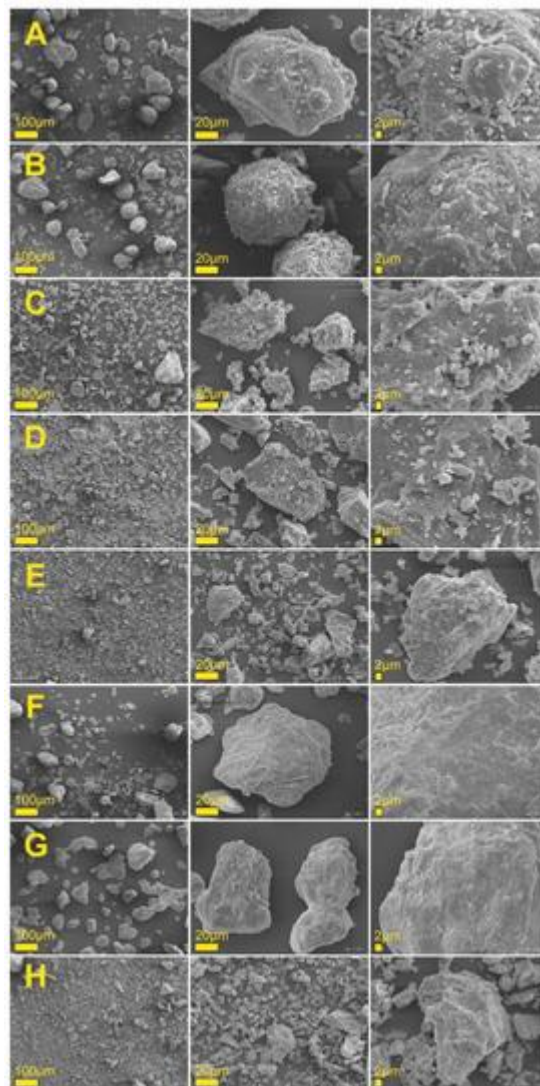
Cząstki stałe są często wykorzystywane, do suplementacji w określonych niedoborach minerałów w organizmie. Przykładem mogą być preparaty wapnia czy żelaza. Jednocześnie, podawania suplementów w postaci stałej jest dość dużym wyzwaniem technologicznym, z uwagi na ograniczone tworzenie dyspersji i konieczność użycia olejów, jako fazy rozpraszającej. Jest to znaczące ograniczenie, z punktu widzenia konsumentów, którzy nie preferują smaku olei, a dodatkowo postawa „fit” budzi błędne skojarzenie pomiędzy przyjmowaniem suplementów na bazie olei z przyrostem tkanki tłuszczowej. Stąd wynika bardzo duże wyzwania dla technologii żywności nad implementacją składników mineralnych (w postaci stałej) w produktach spożywczych.

W pracy “Synergic effect of selected ingredients and calcium chloride on the technological, molecular and microbial usefulness of eggshells and their impact on sensory properties in a food model system” [30] podjęto temat analizy biodostępności i właściwości fizykochemiczne preparatu wapniowego na bazie jaj kurzych. Bazowy preparat wapniowy został wzbogacony m.in. w witaminy D₃ i K, lizynę, laktozę, chlorek magnezu i inulinę. Następnie nowe kompozycje zostały poddane dalszym analizom. Wyjściowy, komercyjnie dostępny preparat wapniowy, pochodzący z jaj kurzych został poddany badaniom morfologii i struktury w wytworzonych kompozycjach. W tym przypadku zaproponowałem niekonwencjonalne podejście, zaczerpnięte z inżynierii materiałowej, aby do szczegółowej oceny struktury preparatów wapniowych wykorzystać metody: dyfrakcji rentgenowskiej, skaningową mikroskopię elektronową, technikę dynamicznego rozpraszania światła (DLS) do wyznaczenia średnicy hydrodynamicznej preparatów oraz ich potencjał zeta.

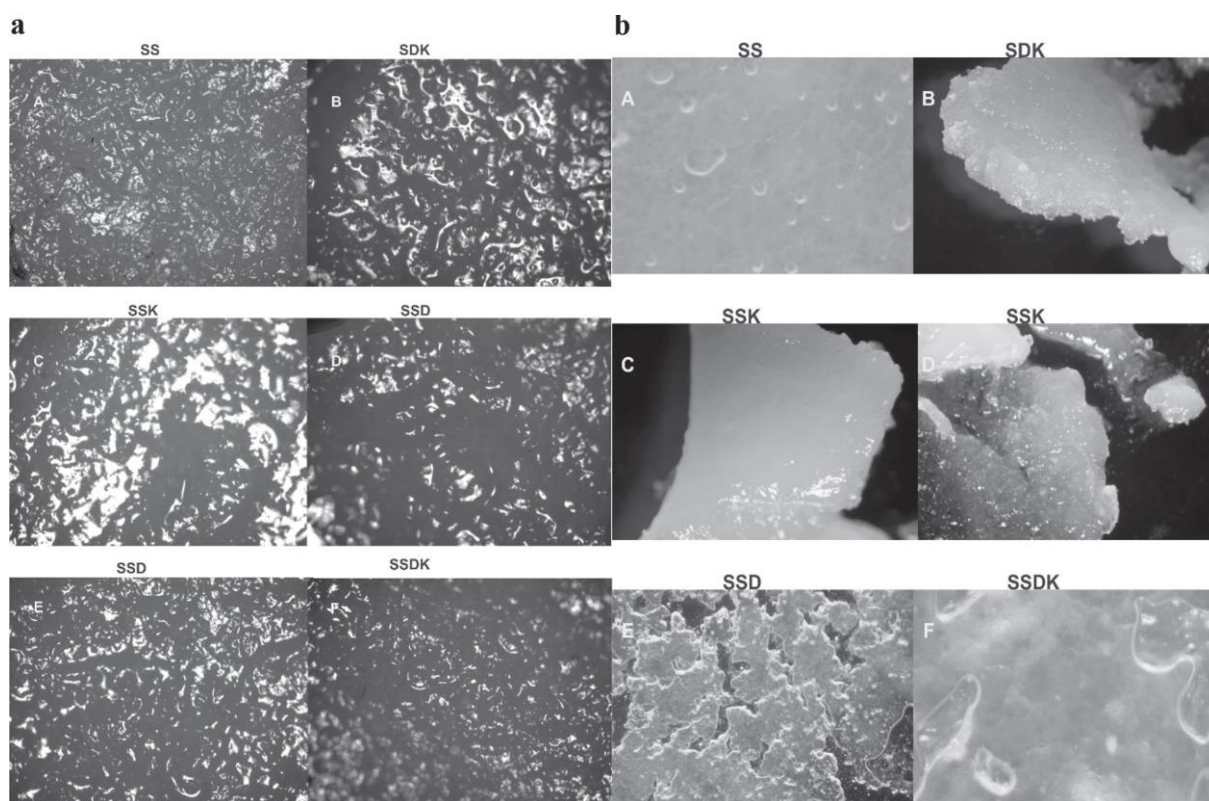
Na szczególną uwagę zasługują badania rentgenograficzne, potwierdzające strukturę krystaliczną opracowanych preparatów. Natomiast mikroskopia SEM (Rys. 13) uwidoczniła zmieniającą się morfologię i strukturę preparatów pod wpływem wprowadzonych dodatków. Ponadto, w toku analiz, zidentyfikowano struktury w nanorozmiarze (potwierdzono ich obecność w analizie SEM i DLS), które mogą przyczynić się do rozwoju nowych produktów spożywczych, a także wpłyną na rozwój technologii żywności, w szczególności w zakresie żywności bioaktywnej i funkcjonalne.

Jak już wspomniano preparatu wapniowe bazujące na skorupce jaj kurzych, są bogatym i naturalnym źródłem wapnia i potencjalnie mogą służyć jako funkcjonalny składnik żywności. W pracy "Effect of fortification with calcium from eggshells on bioavailability, quality, and rheological characteristics of traditional Polish bread spread" [31] zmikronizowana skorupka jaja kurzego posłużyła, jako czynnik

wzbogacający w wapń próbki sera smażonego. Badano również wpływ innych dodatków m.in. lizyny, witaminy D3 i K. Przy użyciu mikroskopu optycznego poddano ocenie konsystencję i homogeniczności poszczególnych próbek modyfikowanego sera smażonego oraz przeprowadzono badania reologiczne, mające określić wpływ dodatków na strukturę serów smażonych. Przedstawione i opisane w pracy badania mikroskopowe potwierdziły brak aglomeratów i duży stopień homogeniczności próbek. Jak podaje producent, wielkość cząstek mikronizatu wapnia wynosi 85% populacji < 50 μm (50000 nm). Natomiast badania przeprowadzone w pracy [30] wskazały również obecność cząstek submikronowych.



Rys. 13 Zdjęcia SEM kompozycji zmodyfikowanych preparatów wapniowych [30]



Rys. 14 Obraz z mikroskopu polaryzacyjnego (a) i stereoskopowego (b) powierzchni sera smażonego [31].

4.3.8. Konkluzje

Przełożenie mechaniki „klasycznej” czy metod analitycznych znanych w inżynierii materiałowej, do technologii żywności jest znacząco utrudnione, aczkolwiek jak wykazano konieczne. Niemniej, standaryzacja produkcji żywności i suplementów diety, determinuje konieczność zaimplementowania metod inżynierskich do oceny jakości i bezpieczeństwa produktów spożywczych. Konieczne stało się zatem opracowanie nowych metod analitycznych, w tym opartych na technikach dedykowanych nanotechnologii i nanostruktur.

Duże możliwości w projektowaniu żywności funkcjonalnej i personalizowanej, daje zaimplementowanie rozwiązań z dziedziny nanotechnologii do technologii żywności. Począwszy od zwiększenia stabilności układów emulsyjnych poprzez redukcję rozmiaru kropelek do nanometrów, skończywszy na aplikacji mineralnych cząstek stałych. W niniejszej pracy nie rozważano możliwego wpływu toksycznego nanostruktur na żywe organizmy, który wielokrotnie jest podnoszony przy opracowywaniu nowych produktów z wykorzystaniem nanocząstek. Jest to niezwykle ważny aspekt, podnoszony również

przez prawodawców, m.in. w dokumencie [34], dotyczącym oceny ryzyka stosowania nanomateriałów do zastosowania w łańcuchu żywnościowym i paszowym i wpływu na zdrowie ludzi i zwierząt.

Struktury w nanorozmiarze są obecne w produktach spożywczych, a poznanie wpływu rozmiaru cząstek na właściwości funkcjonalne żywności jest jednym z wyzwań we współczesnej technologii żywności. Nanostruktury występują zarówno w surowcach, tworzą się trakcie procesów przygotowawczych i obróbczych żywności, a także coraz częściej są badane pod kątem wykorzystania w opakowaniach dedykowanych do żywności (tzw. smart packaging, który miałby wspomagać konsumenta w ocenie przydatności do spożycia danego produktu lub zapobiegał fałszowaniu żywności).

Literatura

1. Jankowska, E. Nanoobiekty w środowisku pracy. *Cent. Inst. Ochr. Pr. – Państwowy Inst. Badaw. Pod. i Metod. Oceny Środowiska Pr.* **2011**, 4, 7–20.
2. Duncan, T. V. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *J. Colloid Interface Sci.* **2011**, 363, 1–24, doi:10.1016/j.jcis.2011.07.017.
3. Głód, D.; Adamczak, M.; Bednarski, W. SELECTED ASPECTS OF NANOTECHNOLOGY APPLICATIONS IN FOOD PRODUCTION. *Zywnosc.Nauka.Technologia.Jakosc/Food.Science.Technology.Quality* **2014**, doi:10.15193/zntj/2014/96/036-052.
4. Tolstoguzov, V. Some thermodynamic considerations in food formulation. *Food Hydrocoll.* **2003**, 17, 1–23, doi:10.1016/S0268-005X(01)00111-4.
5. Mezzenga, R.; Schurtenberger, P.; Burbidge, A.; Michel, M. Understanding foods as soft materials. *Nat. Mater.* **2005**, 4, 729–740, doi:10.1038/nmat1496.
6. Mezzenga, R.; Fischer, P. The self-assembly, aggregation and phase transitions of food protein systems in one, two and three dimensions. *Reports Prog. Phys.* **2013**, 76, 046601, doi:10.1088/0034-4885/76/4/046601.
7. Cesàro, A.; Bellich, B.; Borgogna, M. Biophysical functionality in polysaccharides: from Lego-blocks to nano-particles. *Eur. Biophys. J.* **2012**, 41, 379–395, doi:10.1007/s00249-011-0753-9.
8. Dickinson, E. Food colloids research: Historical perspective and outlook. *Adv. Colloid Interface Sci.* **2011**, 165, 7–13, doi:10.1016/j.cis.2010.05.007.
9. Jarzębski, M.; Bellich, B.; Białopiotrowicz, T.; Śliwa, T.; Kościński, J.; Cesàro, A. Particle tracking analysis in food and hydrocolloids investigations. *Food Hydrocoll.* **2017**, 68, 90–101, doi:10.1016/j.foodhyd.2016.09.037.
10. Haiss, W.; Thanh, N.T.K.; Aveyard, J.; Fernig, D.G. Determination of Size and Concentration of Gold Nanoparticles from UV–Vis Spectra. *Anal. Chem.* **2007**, 79, 4215–4221, doi:10.1021/ac0702084.
11. Berne, B.J.; Pecora, R. *Dynamical light scattering with reference to physics, Chemistry and Biology*; Wiley/Interscience: New York, 1976;
12. Bell, N.C.; Minelli, C.; Tompkins, J.; Stevens, M.M.; Shard, A.G. Emerging Techniques for Submicrometer Particle Sizing Applied to Stöber Silica. *Langmuir* **2012**, 28,

- 10860–10872, doi:10.1021/la301351k.
13. Jarzębski, M.; Smulek, W.; Kościński, M.; Białopiotrowicz, T.; Kaczorek, E. Verbascum nigrum L. (mullein) extract as a natural emulsifier. *Food Hydrocoll.* **2018**, *81*, 341–350, doi:10.1016/j.foodhyd.2018.02.050.
 14. Bouyer, E.; Mekhloufi, G.; Rosilio, V.; Grossiord, J.-L.; Agnely, F. Proteins, polysaccharides, and their complexes used as stabilizers for emulsions: Alternatives to synthetic surfactants in the pharmaceutical field? *Int. J. Pharm.* **2012**, *436*, 359–378, doi:10.1016/j.ijpharm.2012.06.052.
 15. McClements, D.J. Nanoemulsions versus microemulsions: Terminology, differences, and similarities. *Soft Matter* **2012**, *8*, 1719–1729, doi:10.1039/c2sm06903b.
 16. McClements, D.J.; Rao, J. Food-Grade Nanoemulsions: Formulation, Fabrication, Properties, Performance, Biological Fate, and Potential Toxicity. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2011**, *51*, 285–330, doi:10.1080/10408398.2011.559558.
 17. Jarzębski, M.; Fathordoobady, F.; Guo, Y.; Xu, M.; Singh, A.; Kitts, D.D.; Kowalczewski, P.Ł.; Jeżowski, P.; Pratap Singh, A. Pea Protein for Hempseed Oil Nanoemulsion Stabilization. *Molecules* **2019**, *24*, doi:10.3390/molecules24234288.
 18. Mikulcová, V.; Kašpárková, V.; Humpolíček, P.; Buňková, L. Formulation, characterization and properties of hemp seed oil and its emulsions. *Molecules* **2017**, *22*, 1–13, doi:10.3390/molecules22050700.
 19. Pratap-Singh, A.; Guo, Y.; Lara Ochoa, S.; Fathordoobady, F.; Singh, A. Optimal ultrasonication process time remains constant for a specific nanoemulsion size reduction system. *Sci. Rep.* **2021**, *11*, 1–13, doi:10.1038/s41598-021-87642-9.
 20. Silva, H.D.; Cerqueira, M.A.; Vicente, A.A. Influence of surfactant and processing conditions in the stability of oil-in-water nanoemulsions. *J. Food Eng.* **2015**, *167*, 89–98, doi:10.1016/j.jfoodeng.2015.07.037.
 21. Maciej Jarzębski, Przemysław Siejak, Arkadiusz Sawerski, Maksymilian Stasiak, Kamil Ratajczak, Łukasz Masewicz; Krzysztof Polewski, Farahnaz Fathordoobady, Yigong Guo, and A.P.S. Nanoparticles Size Determination by Dynamic Light Scattering in Real (Non-standard) Conditions Regulators - Design, Tests and Applications. In *Practical Aspects of Chemical Engineering*; (Eds.), M.O. et al., Ed.; Springer Nature Switzerland AG 2020, 2020.
 22. Bhattacharjee, S. DLS and zeta potential – What they are and what they are not? *J. Control. Release* **2016**, *235*, 337–351, doi:10.1016/j.jconrel.2016.06.017.
 23. Smulek, W.; Zdarta, A.; Pacholak, A.; Zgoła-Grześkowiak, A.; Marczak, Ł.; Jarzębski, M.; Kaczorek, E. Saponaria officinalis L. extract: Surface active properties and impact on environmental bacterial strains. *Colloids Surfaces B Biointerfaces* **2017**, *150*, 209–215, doi:10.1016/j.colsurfb.2016.11.035.
 24. Smulek, W.; Siejak, P.; Fathordoobady, F.; Masewicz, Ł.; Guo, Y.; Jarzębska, M.; Kitts, D.D.; Kowalczewski, P.Ł.; Baranowska, H.M.; Stangierski, J.; et al. Whey Proteins as a Potential Co-Surfactant with Aesculus hippocastanum L. as a Stabilizer in Nanoemulsions Derived from Hempseed Oil. *Molecules* **2021**, *26*, 5856, doi:10.3390/molecules26195856.
 25. Smulek, W.; Zdarta, A.; Pacholak, A.; Zgoła-Grześkowiak, A.; Marczak, Ł.; Jarzębski, M.; Kaczorek, E. Saponaria officinalis L. extract: Surface active properties and impact on environmental bacterial strains. *Colloids Surfaces B Biointerfaces* **2017**, doi:10.1016/j.colsurfb.2016.11.035.
 26. Dudek-Makuch, M.; Studzińska-Sroka, E. Horse chestnut – efficacy and safety in chronic venous insufficiency: an overview. *Rev. Bras. Farmacogn.* **2015**, *25*, 533–541, doi:10.1016/j.bjp.2015.05.009.

27. Jarzębski, M.; Smułek, W.; Siejak, P.; Kobus-Cisowska, J.; Pieczyrak, D.; Baranowska, H.M.; Jakubowicz, J.; Sopata, M.; Białopiotrowicz, T.; Kaczorek, E. Aesculus hippocastanum L. extract as a potential emulsion stabilizer. *Food Hydrocoll.* **2019**, *97*, doi:10.1016/j.foodhyd.2019.105237.
28. Camacho-Chab, J.C.; Guézennec, J.; Chan-Bacab, M.J.; Ríos-Leal, E.; Sinquin, C.; Muñiz-Salazar, R.; De la Rosa-García, S. del C.; Reyes-Estebanez, M.; Ortega-Morales, B.O. Emulsifying activity and stability of a non-toxic bioemulsifier synthesized by *Microbacterium* sp. MC3B-10. *Int. J. Mol. Sci.* **2013**, *14*, 18959–18972, doi:10.3390/ijms140918959.
29. Jarzębski, M.; Smułek, W.; Siejak, P.; Rezler, R.; Pawlicz, J.; Trzeciak, T.; Jarzębska, M.; Majchrzak, O.; Kaczorek, E.; Kazemian, P.; et al. Aesculus hippocastanum L. as a Stabilizer in Hemp Seed Oil Nanoemulsions for Potential Biomedical and Food Applications. *Int. J. Mol. Sci.* **2021**, *22*, 887, doi:10.3390/ijms22020887.
30. Jarzębski, M.; Siejak, P.; Smułek, W.; Fathordoobady, F.; Guo, Y.; Pawlicz, J.; Trzeciak, T.; Kowalczewski, P.Ł.; Kitts, D.D.; Singh, A.; et al. Plant Extracts Containing Saponins Affects the Stability and Biological Activity of Hempseed Oil Emulsion System. *Molecules* **2020**, *25*, 2696, doi:10.3390/molecules25112696.
31. Jarzębski, M.; Smułek, W.; Baranowska, H.M.; Masewicz, Ł.; Kobus-Cisowska, J.; Ligaj, M.; Kaczorek, E. Characterization of St. John's wort (*Hypericum perforatum* L.) and the impact of filtration process on bioactive extracts incorporated into carbohydrate-based hydrogels. *Food Hydrocoll.* **2020**, *104*, 105748, doi:10.1016/j.foodhyd.2020.105748.
32. Szymandera-Buszka, K.; Kobus-Cisowska, J.; Szymanowska-Powałowska, D.; Rezler, R.; Szczepaniak, O.; Marciniak, G.; Piechocka, J.; Jarzębski, M. Synergic effect of selected ingredients and calcium chloride on the technological, molecular and microbial usefulness of eggshells and their impact on sensory properties in a food model system. *Int. J. Mol. Sci.* **2021**, *22*, 1–17, doi:10.3390/ijms22042029.
33. Kobus-Cisowska, J.; Szymanowska-Powałowska, D.; Szymandera-Buszka, K.; Rezler, R.; Jarzębski, M.; Szczepaniak, O.; Marciniak, G.; Jędrusek-Golińska, A.; Kobus-Moryson, M. Effect of fortification with calcium from eggshells on bioavailability, quality, and rheological characteristics of traditional Polish bread spread. *J. Dairy Sci.* **2020**, doi:10.3168/jds.2019-18027.
34. More, S.; Bampidis, V.; Benford, D.; Bragard, C.; Halldorsson, T.; Hernández-Jerez, A.; Hougaard Bennekou, S.; Koutsoumanis, K.; Lambré, C.; Machera, K.; et al. Guidance on risk assessment of nanomaterials to be applied in the food and feed chain: human and animal health. *EFSA J.* **2021**, *19*, doi:10.2903/j.efsa.2021.6768.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

5.1. Staże i wyjazdy naukowe zagraniczne

1) University of British Columbia – Vancouver (UBC)

Faculty of Land and Food Systems

Wyjazd naukowy w ramach stypendium naukowe Fundacji Dekabana (DEKABAN Scholar)

Miejsce: **Vancouver, Kanada**

Okres: **styczeń – maj 2019**

Opiekun naukowy dr Anubhav Pratap Singh

Cel: wytwarzanie i analiza nanoemulsji na bazie oleju z konopii; ocena stabilności nanoukładów; analiza możliwości zastosowania emulsji, jako nośnika substancji aktywnych.

2) Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Wyjazd w ramach programu Erasmus+ (wyjazdy nauczycieli akademickich w celach dydaktycznych i dydaktyczno-szkoleniowych)

Miejsce: Praga, **Czechy**

Okres: maj 2018

Cel: Prowadzenie wykładów

Zakres tematyczny: Nanomaterials application and selected methods of nanoparticles characterization

Tematy zajęć:

- Nanomaterials and colloids for biomedical and food applications
- Particle tracking analysis for the nanoparticles characterization
- SWOT analysis of selected particle size determination techniques

3) Vilniaus universitetas (Uniwersytet w Wilnie), Wydział Chemii

Wyjazd w ramach programu Erasmus+ (wyjazd w celach szkoleniowych dla pracowników naukowych)

Miejsce: Wilno, Litwa

Okres: maj 2017

Opiekun naukowy: Prof. Habil. Dr. Arūnas Ramanavičius

Cel: Analiza właściwości nanostruktur polimerowych

4) **Lab. Chimica Fisica e Macromolecolare Dipartimento di Scienze Chimiche e Farmaceutiche Università Degli Studi di Trieste**

Staż zagraniczny

Miejsce: **Triest, Włochy**

Okres: kwiecień - maj 2015

Opiekun naukowy: Attilio Cesàro Professor and Distinguished Scientist Elettra Sincrotrone Trieste

Cel: analiza możliwości ładowania nanocząstek „po syntezie” wybranymi modelami leków, w celu oceny ich zastosowania jako potencjalnych nośników cząsteczek terapeutycznych i obrazujących. Badanie wybranych materiałów metodą różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC). Ocena możliwości stosowania metody śledzenia ruchu pojedynczych nanocząstek (NTA – nanoparticle tracking analysis) w roztworach o dużej lepkości.

5) **Forschungszentrum Jülich, Institute of Complex Systems (ICS)**, obecnie Institute of Biological Information Processing Biomacromolecular Systems and Processes (IBI-4)

Wyjazd badawczy

Miejsce: **Jülich, Niemcy**

Okres lipiec - sierpień 2013

Opiekun naukowy: Dr. Johan Buitenhuis

Cel: synteza i analiza fluorescencyjnych submikronowych cząstek krzemionki

6) **Universität Hamburg, Fachbereich Chemie Institut für Physikalische Chemie**

Wyjazd badawczy w ramach z projektu ESMI (www.esmi-fp7.net) finansowanego w ramach 7 Programu Ramowego UE, tytuł projektu: Synthesis

and modification of magnetic iron oxide nanoparticles for emulsion stabilization in potential medical applications (S130400372)

Miejsce: **Hamburg, Niemcy**

Okres: maj – czerwiec 2013

Opiekun naukowy: Prof. Dr. Horst Weller i Dr. Hauke Heller

Podkreślić należy, że Prof. Weller jest jednym z najbardziej uznanych światowej sławy naukowcem w zakresie syntezy i analizy nanostruktur

(<https://www.chemie.uni->

[hamburg.de/institute/pc/arbeitsgruppen/weller.html](https://www.chemie.uni-hamburg.de/institute/pc/arbeitsgruppen/weller.html))

Cel: synteza i modyfikacja nanocząstek magnetycznego tlenku żelaza; analiza możliwości zastosowania nanocząstek tlenku żelaza jako stabilizatorów układów emulsyjnych do potencjalnych aplikacji medycznych

- 7) **Forschungszentrum Jülich Institute of Complex Systems (ICS)**, obecnie Institute of Biological Information Processing Biomacromolecular Systems and Processes (IBI-4)

Staż doktorski

Miejsce: Jülich, Niemcy

Okres wrzesień - grudzień 2011 i czerwiec – grudzień 2012

Opiekun naukowy: Prof. Dr. M. Pavlik Lettinga i Dr. Johan Buitenhuis

Cel: synteza i analiza fluorescencyjnych submikronowych cząstek fluorowanych polimerów, analiza układów koloidowych typu woda w wodzie, stabilizowanych cząstkami stałymi.

5.2. Zagraniczna aktywność naukowa

1) Food Process Engineering Laboratory, University of British Columbia

Miejsce: Vancouver, **Kanada**

Okres: 2019 - obecnie

Zakres współpracy: enkapsulacja substancji aktywnych w układach do zastosowań w żywności i biomedycznych; projektowanie i statystyka laboratoryjnych prac eksperymentalnych; rozwój metod analitycznych do charakterystyki produktów spożywczych; opracowanie nowych produktów spożywczych i technologii do żywności, inne.

Przykładowe publikacje:

- Fathordoobady, F., Jarzębski, M., Pratap-Singh, A., Guo, Y., Abd-Manap, Y. "Encapsulation of betacyanins from the peel of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus* L.) in alginate microbeads" (2021) *Food Hydrocolloids*, 113, art. no. 106535.
⁵IF (2022): 4
⁶Liczba cytowań: 10
- Singh, A., Shi, Y., Magreault, P., Kitts, D.D., **Jarzębski, M.**, Siejak, P., Pratap-singh, A. "A rapid gas-chromatography/mass-spectrometry technique for determining odour activity values of volatile compounds in plant proteins: Soy, and allergen-free pea and brown rice protein" (2021) *Molecules*, 26 (13), art. no. 4104.
IF (2022): 4.412
Liczba cytowań: 3
- Smułek, W., Siejak, P., Fathordoobady, F., Masewicz, Ł., Guo, Y., Jarzębska, M., Kitts, D.D., Kowalczewski, P.Ł., Baranowska, H.M., Stangierski, J., Sz wajca, A., Pratap-Singh, A., **Jarzębski, M.** "Whey proteins as a potential co-surfactant with aesculus hippocastanum l. As a stabilizer in nanoemulsions derived from hempseed oil" (2021) *Molecules*, 26 (19), art. no. 5856, .
IF (2022): 4.412
Liczba cytowań: 1

⁵ IF – stan na luty 2022 informacja ze stron czasopism, dotyczy wszystkich pozycji w pkt. 5

⁶ Liczba cytowań – stan na luty 2022 informacja z bazy SCOPUS, dotyczy wszystkich pozycji w pkt. 5

2) **Department of Biotechnology and Medical Engineering, National Institute of Technology Rourkela**

Miejsce: Rourkela, **Indie**

Okres: 2020 - obecnie

Zakres współpracy: prace przeglądowe dotyczące materiałów naturalnych do zastosowań w technologii żywności i opakowaniach; analiza materiałów kompozytowych, w tym pochodzenia naturalnego; zastosowanie sztucznej inteligencji i „Machine learning” w technologii żywności i medycynie.

Przykładowe publikacje:

- Pal, K., Bharti, D., Sarkar, P., Anis, A., Kim, D., Chałas, R., Maksymiuk, P., Stachurski, P., **Jarzębski, M.** “Selected applications of chitosan composites” (2021) International Journal of Molecular Sciences, 22 (20), art. no. 10968.
IF (2022): 5.924
Liczba cytowań: 1
- Pal, K., Sarkar, P., Anis, A., Wiszumirska, K., **Jarzębski, M.** “Polysaccharide-based nanocomposites for food packaging applications” (2021) Materials, 14 (19), art. no. 5549, .
IF (2022): 3.623
Liczba cytowań: 1

Inne: 12.01.2022 ogłoszono seminarium online dla studentów I pracowników naukowych pt. “Selective techniques for nanostructures size determination”

5.3. Krajowa aktywność naukowa

1) Wydział Technologii Chemicznej i Wydział Inżynierii Materiałowej i Fizyki Technicznej Politechnika Poznańska

Miejsce: Poznań, Polska

Okres: 2016 - obecnie

Zakres współpracy: analiza możliwości wykorzystania saponin pochodzenia roślinnego do stabilizacji układów emulsyjnych i nanoemulsji; analiza rozmiaru cząstek i nanocząstek; układy hydrożelowe, inne.

Przykładowe publikacje:

- Smulek, W., Zdarta, A., Pacholak, A., Zgoła-Grześkowiak, A., Marczak, Ł., **Jarzębski, M.**, Kaczorek, E. "Saponaria officinalis L. extract: Surface active properties and impact on environmental bacterial strains" (2017) *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 150, pp. 209-215.
IF (2022): 5.268
Liczba cytowań: 20
- Śliwa, T., **Jarzębski, M.**, Andrzejewska, E., Szafran, M., Gapiński, J. "Uptake and controlled release of a dye from thermo-sensitive polymer P(NIPAM-co-Vim)" (2017) *Reactive and Functional Polymers*, 115, pp. 102-108.
IF (2022): 3.975
Liczba cytowań: 15
- Jakubowicz, J., Adamek, G., Sopata, M., Koper, J.K., Kachlicki, T., **Jarzębski, M.** "Microstructure and electrochemical properties of refractory nanocrystalline tantalum-based alloys" (2018) *International Journal of Electrochemical Science*, 13 (2), pp. 1956-1975.
IF (2022): 1.765
Liczba cytowań: 10
- **Jarzębski, M.**, Śliwa, T., Peplińska, B., Jakubowicz, J., Kuzioła, R., Kościński, J., Białopiotrowicz, T., Gapiński, J. "Submicron sized fluorescent silica particles characterization" (2017) *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 411, pp. 78-84.

IF (2022): 1.377

Liczba cytowań: 4

2) Wydział Chemii i Wydział Fizyki Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Miejsce: Poznań, Polska

Okres: 2016 - obecnie

Zakres współpracy: analiza rozmiaru cząstek techniką FCS (spektroskopii korelacji fluorescencji); synteza i analiza cząstek w rozmiarze nano- i submikronowych; analiza mikroskopowa produktów spożywczych.

Przykładowe publikacje:

- Gapinski, J., **Jarzębski, M.**, Buitenhuis, J., Deptula, T., Mazuryk, J., Patkowski, A. "Structure and Dimensions of Core-Shell Nanoparticles Comparable to the Confocal Volume Studied by Means of Fluorescence Correlation Spectroscopy" (2016) *Langmuir*, 32 (10), pp. 2482-2491.
IF (2022): 3.882
Liczba cytowań: 8
- **Jarzębski, M.**, Peplińska, B., Florczak, P., Gapiński, J., Flak, D., Mała, P., Ramanavicius, A., Baryła-Pankiewicz, E., Kobus-Cisowska, J., Szwajca, A. "Fluorescein ether-ester dyes for labeling of fluorinated methacrylate nanoparticles" (2019) *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 382, art. no. 111956, .
IF (2022): 4.291
Liczba cytowań: 4
- **Jarzębski, M.**, Siejak, P., Przeor, M., Gapiński, J., Woźniak, A., Baranowska, H.M., Pawlicz, J., Baryła-Pankiewicz, E., Szwajca, A. "Fluorescent Submicron-Sized Poly(heptafluoro-n-butyl methacrylate) Particles with Long-Term Stability (2020) *Molecules*, 25 (9), art. no. 2013.
IF (2022): 4.412

3) **Katedra Jakości Produktów Przemysłowych i Opakowań, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu**

Miejsce: Poznań, Polska

Okres: 2020 - obecnie

Zakres współpracy: materiały pochodzenia naturalnego do aplikacji w technologii żywności i opakowaniach; ekstrakty roślinne; chitozan; rozwój metod analitycznych do zastosowań w technologii żywności; sensory; opracowanie nowych produktów spożywczych.

Przykładowe publikacje:

- Ligaj, M., Kobus-Cisowska, J., Szczepaniak, O., Szulc, P., Kikut-Ligaj, D., Mikołajczak-Ratajczak, A., Bykowski, P., Szymanowska, D., Przeor, M., Polewski, K., **Jarzębski, M.** "Electrochemical screening of genoprotective and antioxidative effectiveness of *Origanum vulgare* L. and its functionality in the prevention of neurodegenerative disorders" (2021) *Talanta*, 223, art. no. 121749.

IF (2022): 6.057

Liczba cytowań: 2

- Kobus-Cisowska, J., Szczepaniak, O., Szymanowska, D., Przeor, M., **Jarzębski, M.**, Ligaj, M., Gramza-Michałowska, A., Szwajgier, D., Foksowicz-Flaczyk, J. "Chocolate desserts with ricotta hydrolysates: In vitro study of inhibitory activity against angiotensin-converting enzyme and cholinesterase" (2020) *Journal of Food Science*, 85 (10), pp. 3003-3011.

IF (2022): 3.167

Liczba cytowań: 1

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

6.1. Dydaktyka

Z uwagi na interdyscyplinarne wykształcenie (ukończone studia magisterskie na kierunku technologia chemiczna, doktorat z inżynierii materiałowej i doktorat z biofizyki) prowadziłem i prowadzę zajęcia dydaktyczne z wielu dyscyplin. Szczegółowy wykaz znajduje się w **Tabela 4**:

Tabela 4 Prowadzone zajęcia dydaktyczne

Rodzaj zajęć	Przedmiot	Kierunek	Studia
Miejsce i okres pracy:	2017 – obecnie Katedra Fizyki i Biofizyki, Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu		
Wykład	Fizyka	Leśnictwo	Niestacjonarne I stopnia
		Inżynieria Środowiska,	Niestacjonarne I stopnia
		Inżynieria rolnicza	Niestacjonarne I stopnia
Laboratorium	Fizyka	Leśnictwo	Stacjonarne I stopnia Niestacjonarne I stopnia
		Inżynieria Środowiska,	Stacjonarne I stopnia Niestacjonarne I stopnia
		Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka	Stacjonarne I stopnia
		Technologia Drewna	Stacjonarne I stopnia Niestacjonarne I stopnia

	Geotechnologie, hydrotechnika, transport wodny	Stacjonarne I stopnia
	Gospodarka przestrzenna	Stacjonarne I stopnia
	Inżynieria rolnicza	Stacjonarne I stopnia Niestacjonarne I stopnia
Fizyka środowiska	ochrona środowiska	Stacjonarne I stopnia
Podstawy biofizyki	jakość i bezpieczeństwo żywności	Stacjonarne I stopnia
Podstawy fizyki	jakość i bezpieczeństwo żywności	Stacjonarne I stopnia
Fizyka i biofizyka	Biotechnologia	Stacjonarne I stopnia
Fizyka dla ogrodników	Ogrodnictwo	Stacjonarne I stopnia
Miejsce i okres pracy:	Wydział Zamiejscowy Prawa i Nauk o Społeczeństwie KUL w Stalowej Woli (2015 – 2017)	
	Inżynieria materiałowa	Stacjonarne I stopnia
	Inżynieria materiałowa	Stacjonarne I stopnia
	Inżynieria środowiska	Stacjonarne I stopnia
	Inżynieria materiałowa	Stacjonarne I stopnia
Wykład	Inżynieria materiałowa	Stacjonarne I stopnia
	Inżynieria środowiska	Stacjonarne I stopnia
	Inżynieria materiałowa	Stacjonarne I stopnia
	Inżynieria materiałowa	Stacjonarne I stopnia
	Inżynieria środowiska	Stacjonarne I stopnia

	Technologia informacyjna	Inżynieria środowiska	Stacjonarne I stopnia
Ćwiczenia	Podstawy Nauki o Materiałach	Inżynieria materiałowa	Stacjonarne I stopnia
	Zasady i metody łączenia materiałów	Inżynieria materiałowa	Stacjonarne I stopnia
Laboratorium	Nauka o materiałach	Inżynieria materiałowa	Stacjonarne I stopnia
	Badania i testy materiałów	Inżynieria materiałowa	Stacjonarne I stopnia
	Podstawy Nauki o Materiałach	Inżynieria materiałowa	Stacjonarne I stopnia
	Monitoring wody	Inżynieria środowiska	Stacjonarne II stopnia
	Materiałoznawstwo	Inżynieria środowiska	Stacjonarne I stopnia
Konwersatorium	Rynek materiałów	Inżynieria materiałowa	Stacjonarne I stopnia
Seminarium		Inżynieria materiałowa	Stacjonarne I stopnia

Promotorstwo prac magisterskich:

W latach 2020 – 2021 byłem promotorem pomocniczym pracy magisterskiej pani mgr inż. Aleksandry Makiej pt. “Stability of emulsions containing bioactive compounds” (promotor: dr inż. Wojciech Smulek, Politechnika Poznańska). Praca realizowana była we współpracy pomiędzy Wydziałem Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej a Katedrą Fizyki i Biofizyki Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu.

6.2. Osiągnięcia organizacyjne

Program Operacyjny Wiedza Edukacja Rozwój 2014-2020 pt. „Zintegrowany Program Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu na rzecz Innowacyjnej Wielkopolski”.

W 2018 zainicjowałem działania i aktywnie brałem udział w przygotowaniu wniosku o dofinansowanie (we współpracy z Działem Funduszy Strukturalnych) w

ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój 2014-2020 pt. „Zintegrowany Program Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu na rzecz Innowacyjnej Wielkopolski”. W ramach projektu zakupiono do Katedry Fizyki i Biofizyki następujący sprzęt dydaktyczny: spektrofotometr FTIR z ATR, lepkościomierz rotacyjny zestaw, polarymometr typu p1000 z rurkami, waga laboratoryjna, wagosuszarka z osprzętem, destylarka, homogenizator z mieszadłami, kolorymetr, zestaw do pomiaru kąta zwilżalności – zestaw, siłomierz z zmotoryzowanym statywem, wirówka (2 szt.).

Poprzez realizację projektu, zmodernizowano, unowocześniono i dostosowano do wymagań gospodarki opartej na wiedzy, ćwiczenia laboratoryjne dla studentów na kierunkach: Technologia Żywności i Żywnienia, Analityka żywności, Biotechnologia, Biologia, Weterynaria, Ekoenergetyka, Inżynieria rolnicza, Rolnictwo, Ochrona środowiska, Leśnictwo, Geotechnologie, Hydrotechnika, Transport wodny.

Przy wykorzystaniu nowego sprzętu, pracownicy KFiB przygotowali nowe ćwiczenia z fizyki, biofizyki, wśród których wyróżnić należy: wyznaczanie stabilności emulsji, wyznaczanie kąta zwilżania powierzchni metodą osadzonej kropli.

Wartość dofinansowania: 184 870 zł

Program Operacyjny Wiedza Edukacja Rozwój 2014-2020, Działanie 3.5 Kompleksowe programy szkół wyższych konkurs pt. „Uczelnia dostępna”.

W 2019 roku brałem aktywny udział (we współpracy z Działem Funduszy Strukturalnych) w przygotowaniu wniosku o Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój 2014-2020, Działanie 3.5 Kompleksowe programy szkół wyższych konkurs pt. „Uczelnia dostępna”.

Celem projektu jest m.in. dostosowanie pomieszczeń Katedry Fizyki i Biofizyki do wymagań nowoczesnego nauczania oraz zapewnienia komfortowej nauki studentom z niepełnosprawnościami.

Wniosek uzyskał dofinansowanie i jest obecnie w trakcie realizacji.

6.3. Osiągnięcia popularyzujące naukę

Noc Naukowców

Noc Naukowców to jeden z nielicznych projektów realizowanych m.in. z 7 Programu Ramowego UE, który wpisał się na stałe w kulturę akademicką na rzecz społeczeństwa. Jego celem jest szerzenie informacji o prowadzonych badaniach na polskich i światowych uczelniach, a poprzez zabawę przekazywanie wiedzy o występujących w świecie zjawiskach. Ja swoją przygodę z Nocą Naukowców rozpocząłem już od 1 edycji w 2007 roku, która realizowana była w Poznaniu, m.in. przez Politechnikę Poznańską.

W latach 2018 i 2019 przygotowałem i prowadziłem wykłady z warsztatami w trakcie Nocy Naukowców, realizowane przez Katedrę Fizyki i Biofizyki UPP, na Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu.

W 2020 z uwagi na pandemię COVID-19, w ramach Nocy Naukowców, zaprojektowałem eksperyment pt. „Tworzenie i badanie emulsji”, który wykonany został przez dra inż. Przemysława Siejaka, mgra inż. Łukasza Masewicza w trakcie relacji online:

<https://www.youtube.com/watch?v=cvGDzKxBQ0U> (na początku filmu pojawia się stosowna informacja z błędem w moim imieniu).

Uniwersytet Młodych Przyrodników

Trzecia Misja Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu – zajęcia edukacyjne w ramach Uniwersytetu Młodych Przyrodników (projekt uzyskał dofinansowanie).

W ramach projektu, realizowany jest cykl zajęć zatytułowanym „Fizyka na co dzień”, przeze mnie oraz pracowników Katedry Fizyki i Biofizyki Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu (dr inż. Przemysław Siejak, mgr inż. Łukasz Masewicz) wraz z zaproszonymi ekspertami zewnętrznymi (dr inż. Wojciech Smułek z Politechniki Poznańskiej oraz mgr Katarzyna Woźnica).

Byłem inicjatorem, aby na rzecz prowadzonych zajęć, z funduszy projektu zakupić mikroskop optyczny Zeiss AXIO vertA.1. Dzięki odpowiedniej budowie mikroskopu, młodzi adepci Uniwersytetu Młodych Przyrodników są w stanie zarówno obejrzeć mikroświat, jak i śledzić online zjawiska zachodzące np. w układach koloidowych – jak przebiega proces łączenia się kropeł i separacji faz.



Rys. 15 Mikroskop optyczny Zeiss

Podczas realizowanych stacjonarnie zajęć w 2019 roku, młodzi studenci zapoznali się z zagadnieniami współczesnej fizyki z naciskiem na aspekt praktyczny w życiu codziennym. Wśród wykonywanych doświadczeń można znaleźć takie, które dotyczą bezpieczeństwa żywności oraz właściwych nawyków żywieniowych. Na fali współczesnych trendów ekologicznych, młodzi studenci realizują także minizadania z zakresu zrównoważonego rozwoju energetyki. Kontynuacją poruszonego problemu jest doskonalenie wiedzy i umiejętności z zakresu dystrybucji wytworzonej energii elektrycznej. Na zakończenie cyklu zajęć uczestnicy zagłębiają się w techniki mikroskopii oraz spektroskopowej oceny jakości materiałów i źródeł światła. Odpowiadając na bieżące problemy i potrzeby młodzieży, przedstawiane są także techniki korekcji wad zmysłu wzroku, ze szczególnym uwzględnieniem uwarunkowań fizycznych.

W 2021 roku z uwagi na pandemię COVID-19 zajęcia dla szkół podstawowych i ponadpodstawowych, realizowane były w formie online, przy wykorzystaniu zakupionego sprzętu.

Link do informacji o projekcie znajduje się poniżej:

<https://puls.edu.pl/ogloszenia/dmik/fizyka-atwa-i-przyjemna-czyli-zaj-cia-katedry-fizyki-i-biofizyki-upp>

Wartość kosztów bezpośrednich wynosi 300 000 zł, natomiast wartość dofinansowania ze środków zewnętrznych to ok. 360 000 zł (wydatki bezpośrednie powiększone o koszty pośrednie i pomniejszone o wkład własny UPP)

Zajęcia dodatkowe dla studentów

W dniach 16.04.2021 i 20.05.2021 wraz z dr Siejakiem i mgr Masewiczem (pracownikami KFiB UPP), zorganizowaliśmy i przeprowadziliśmy warsztaty online z fizyki: pt. „Fizyka w zastosowaniach w technologii żywności”. Celem warsztatów było nabycie wiedzy w zakresie praktycznego wykorzystania zjawisk fizycznych w technologii żywności, przy wykorzystaniu sprzętu zakupionego w ramach projektu Program Operacyjny Wiedza Edukacja Rozwój 2014-2020 pt. „Zintegrowany Program Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu na rzecz Innowacyjnej Wielkopolski”.

Studenci zapoznali się m.in. z:

- analizą lepkości roztworów przy użyciu lepkościomierza,
- analizą kąta zwilżania powierzchni,
- analizą materiałów/substancji przy użyciu spektroskopii FTIR.



Rys. 16 Zdjęcie z prowadzonych zajęć pt. „Fizyka w zastosowaniach w technologii żywności”.

Zarówno tematyka, jak i organizacja zajęć spotkała się z dużym uznaniem uczestników. Szczególny ich wymiar, podkreślić należy z uwagi na stan pandemii COVID-19, który zmusił otoczenie akademickie do pracy w trybie zdalnym. Wsłuchując się w potrzeby naszych studentów, postanowiłem wraz z kolegami przedstawić naszym studentom nowe techniki analityczne i pokazać to co jest najważniejsze w pracy laboratoryjnej czyli „tips and tricks” – co nazwać można w języku polskim „warsztatem od kuchni”. Na Rys. 16 przedstawiono zdjęcie z przebiegu warsztatów.

7. Inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

7.1. Biegły Sądowy

W 2017 roku zostałem powołany na Biegłego Sądowego Sądu Okręgowego w Poznaniu w dziedzinach:

- chemia organiczna, środowiska, kosmetyczna
- analiza chemiczna i badania materiałów
- technologia chemiczna
- nanotechnologia
- inżynieria materiałowa
- biofizyka - układy koloidowe, emulsje, stabilizatory
- produkty chemiczne
- wnioski o dofinansowanie
- ocena poziomu innowacyjności
- ocena zaplanowanych prac badawczo-rozwojowych
- innowacje techniczne i technologiczne
- tworzywa sztuczne: synteza, produkcja, analiza właściwości fizycznych, chemicznych, mechanicznych

Ilość sporządzonych opinii i ocen technicznych od 2017 roku: ponad 10

Organ zlecający opinie/oceny techniczne:

- 1) Sąd Rejonowy Poznań-Stare Miasto w Poznaniu IX Wydział Gospodarczy
- 2) Sąd Rejonowy Poznań-Stare Miasto w Poznaniu X Wydział Gospodarczy
- 3) Sąd Rejonowy Poznań-Stare Miasto w Poznaniu XII Wydział Gospodarczy
- 4) Sąd Rejonowy w Białymstoku VIII Wydział Gospodarczy
- 5) Izba Administracji Skarbowej w Poznaniu
- 6) Sąd Rejonowy w Zamościu V Wydział Gospodarczy
- 7) Sąd Okręgowy w Krakowie IX Wydział Gospodarczy

7.2. Rola eksperta

Od 2013 pełnię rolę eksperta **Narodowego Centrum Badań i Rozwoju** w zakresie oceny merytorycznej wniosków ubiegających się o dofinansowanie. Oceniałem wnioski w programach:

- Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka
- Program Operacyjny Inteligentny Rozwój (w tym wnioski składane w konkursie „Szybka ścieżka”)

Do dnia dzisiejszego oceniłem ponad 50 wniosków. W tym w ramach umowy 374/2017 do chwili obecnej czynni uczestniczę w procesie oceny merytorycznej wniosków o dofinansowanie w konkursach organizowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Zrealizowałem 2 oceny wniosków o dofinansowanie złożonych w ramach konkursu Tango V Ścieżka C oraz brałem udział w ocenach 39 wniosków złożonych w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020

W 2019 rozpocząłem pracę jako ekspert w programie STEP - Sprawdzimy Twój Eksperymentalny Pomysł **Ministerstwa Inwestycji i Rozwoju**.

Do dnia dzisiejszego brałem udział przy 1 wniosku.

Od 2018 pełnię również rolę eksperta w NAWA – **Narodowa Agencja Wymiany Akademickiej**, gdzie do dnia dzisiejszego oceniłem 3 wnioski w ramach ogłaszanych konkursów.

7.3. Granty NCN

W 2021 roku zdobyłem grant w konkursie organizowanym przez Narodowe Centrum Nauki.

Tytuł w języku polskim: Suplementowanie oleju z konopi żelazem i witaminą D w układzie emulsyjnym

Tytuł w języku angielskim: Supplementing hemp oil with iron and vitamin D in an emulsion system

Nr rejestracyjny: 2021/05/X/NZ9/00384

Nazwa konkursu: **MINIATURA-5**

Kwota: 48 785 PLN

Krótki opis projektu:

Celem badań jest ocena możliwości suplementowania oleju z konopi żelazem i witaminą D, a następnie wprowadzenie w układ emulsyjny celem kontrolowanego uwalniania składników bioaktywnych. Jako stabilizator układów emulsyjnych zostaną przebadane ekstrakty roślinne zawierające saponiny: np. z kory kasztanowca i/lub innych stabilizatorów stosowanych do żywności. Badania obejmą ocenę: stabilności emulsji, charakterystykę spektroskopową i elementarną składników emulsji

7.4. Udział w projektach B+R

Od 2021 biorę udział w projektach badawczo-rozwojowych, jako wykonawca, finansowanych przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju:

1) POIR 01.01.01-00-2169/20 Opracowanie zagospodarowania niepełnowartościowych jaj spożywczych w przedsiębiorstwach MŚP celem przeciwdziałania marnotrawieniu żywności,

Konkurs: Agrotech NCBiR

Okres realizacji: 1.06.2021 – 31.11.2023,

Budżet projektu: 4 930 715,38

Status: Projekt w realizacji

Rola w projekcie: wykonawca prac B+R

2) POIR 01.01.01-00-1980/20 probiotyczne dania dla dzieci o zaprojektowanych właściwościach funkcjonalnych

Konkurs: Szybka Ścieżka NCBiR

Okres realizacji: 1.01.2021 – 30.11.2021,

Budżet projektu: 1 087 450

Status: Projekt w realizacji

Rola w projekcie: wykonawca prac B+R

7.5. Inne

Posiadam doświadczenie w budowaniu stanowisk badawczych:

- w trakcie studiów doktoranckich brałem udział w budowie stanowiska do badań elektrochemicznych materiałów wodorochłonnych;
- w Katedrze Chemii Fizycznej i Fizykochemicznych Podstaw Inżynierii Środowiska Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego Jana Pawła II w Stalowej Woli., utworzyłem stanowisko do analizy rozmiaru cząstek przy użyciu techniki dynamicznego rozpraszania światła (DLS – dynamic light scattering); na ten cel uzyskano dotację celową ze środków Województwa Podkarpackiego;

- od 2020 roku trwa rozbudowa stanowiska do oceny stabilności układów emulsyjnych w Laboratorium Badań Molekularnych Katedry Fizyki i Biofizyki Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu. Na wyposażeniu są m.in. homogenizatory, w tym ultradźwiękowy, cieplarka, moduł do fluorescencji z możliwością obrazowania, wirówka, pHmetr do badań żywności oraz mętnościomierz; część wyposażenia zakupiono ze środków KFiB a część wyposażenia zakupiono z przyznanego grantu Miniatura 5.

.....
(podpis wnioskodawcy)