

**Politechnika Łódzka**

**Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska**

**ul. Wólczańska 213, 93-005 Łódź,**

**tel. 42 631-37-00, fax.48 42 636-56-63**

dr inż. Mariola Błaszczyk

**AUTOREFERAT**

**Transport układów emulsyjnych przez struktury porowate**

 Załącznik 3 do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

Łódź 2023

Spis treści

[Spis oznaczeń 3](#_Toc150348934)

[1. Dane personalne 4](#_Toc150348935)

[2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe 4](#_Toc150348936)

[3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych 4](#_Toc150348937)

[4. Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących podstawę wszczęcia postępowania habilitacyjnego 5](#_Toc150348938)

[4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego 5](#_Toc150348939)

[4.2. Publikacje naukowe będące podstawą wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego 5](#_Toc150348940)

[4.3. Opis osiągnięcia naukowego będącego podstawą wniosku habilitacyjnego 8](#_Toc150348941)

[4.3.1. Pola zastosowań i znaczenie podjętej tematyki badawczej 8](#_Toc150348942)

[4.3.2. Wprowadzenie do tematyki badawczej 11](#_Toc150348943)

[4.3.3. Omówienie prac i osiągniętych wyników 14](#_Toc150348944)

[5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej 33](#_Toc150348945)

[5.1. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych 33](#_Toc150348946)

[5.1.1. Działalność naukowa przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora 33](#_Toc150348947)

[5.1.2. Działalność naukowa po uzyskaniu stopnia naukowego doktora 34](#_Toc150348948)

[5.2. Udział w projektach badawczych 39](#_Toc150348949)

[5.3. Współpraca naukowa z innymi jednostkami 39](#_Toc150348950)

[5.4. Recenzje artykułów w czasopismach naukowych 40](#_Toc150348951)

[5.5. Nagrody i wyróżnienia 40](#_Toc150348952)

[6. Działalność dydaktyczna i popularyzatorska 41](#_Toc150348953)

[6.1. Prowadzone zajęcia dydaktyczne 41](#_Toc150348954)

[6.2. Opieka promotorska prac dyplomowych 42](#_Toc150348955)

[6.3. Recenzje prac dyplomowych 43](#_Toc150348956)

[6.4. Popularyzacja nauki 43](#_Toc150348957)

[6.5.Działalność organizacyjna 43](#_Toc150348958)

[6.6.Zainteresowania pozanaukowe 44](#_Toc150348959)

[Literatura 45](#_Toc150348960)

# Spis oznaczeń

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| [A1 – A12] | – | symbole prac naukowych stanowiących podstawę wszczęcia postępowania habilitacyjnego |
| [B1 – B24] | – | symbole pozostałych prac naukowych opublikowanych po uzyskaniu stopnia doktora zgodnie z pkt. II Wykazu osiągnięć naukowych (załącznik 4) |
| [C1 – C11] | – | symbole pozostałych prac naukowych opublikowanych przed uzyskaniemstopnia doktora zgodnie z pkt. II Wykazu osiągnięć naukowych (załącznik 4) |
| [I1 – I13] | – | symbole prac inżynierskich (zgodnie z wykazem z pkt. 6.2 niniejszegoopracowania) |
| [K1 – K27] | – | symbole wystąpień na krajowych lub międzynarodowych konferencjachnaukowych zgodnie z pkt. II Wykazu osiągnięć naukowych |
| [M1 – M3] | – | symbole prac magisterskich (zgodnie z wykazem z pkt. 6.2 niniejszegoopracowania) |
| [P1 – P2] | – | symbole realizowanych projektów badawczych zgodnie z pkt. II Wykazuosiągnięć naukowych (załącznik 4) |

# Dane personalne

**MARIOLA MARIA BŁASZCZYK**

Identyfikatory baz danych:

ORCID: [0000-0001-6397-568X](https://orcid.org/0000-0001-6397-568X)

Scopus ID: 55484402600

Web of Science Researcher ID: G-9234-2019

# Posiadane dyplomy, stopnie naukowe

**Doktor nauk technicznych**

 Rok uzyskania: 2014

Podmiot nadający stopień: Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska

Dyscyplina: Inżynieria Chemiczna

Temat rozprawy doktorskiej: Badanie procesów migracji substancji ropopochodnych i ich emulsji w strukturach porowatych

**Magister, Inżynier**

 Rok uzyskania: 2008

Podmiot nadający stopień: Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska

Kierunek: Inżynieria Chemiczna

Specjalność: inżynieria produkcji

Temat pracy dyplomowej: Sprawdzenie modyfikacji modelu Sęk-Krynk**e** do przewidywania własności reologicznych zawiesin

**Technik ekonomista**

 Rok uzyskania: 2003

 Podmiot nadający stopień: Zespół Szkół Technicznych

im. gen. prof. S. Kaliskiego w Turku

Specjalność: finanse i księgowość

# 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

**Adiunkt badawczo - dydaktyczny**

 w latach: 2018 – obecnie

miejsce zatrudnienia: Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej
i Ochrony Środowiska

**Asystent badawczo - dydaktyczny**

 w latach: 2016 – 2018

miejsce zatrudnienia: Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej
i Ochrony Środowiska

**Starszy Chemik**

w latach: 2014 – 2016

miejsce zatrudnienia: Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej
i Ochrony Środowiska

**Chemik**

w latach: 2013 – 2014

miejsce zatrudnienia: Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej
i Ochrony Środowiska

# 4. Wykaz osiągnięć naukowych stanowiących podstawę wszczęcia postępowania habilitacyjnego

## 4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

**„Transport układów emulsyjnych przez struktury porowate”**

## 4.2. Publikacje naukowe będące podstawą wniosku o wszczęcie postępowania habilitacyjnego

Dorobek, będący przedmiotem postępowania habilitacyjnego, stanowi przedstawiony poniżej cykl 12 oryginalnych artykułów. Wszystkie te prace powstały po uzyskaniu stopnia doktora.

|  |  |
| --- | --- |
| [A1] | M. Błaszczyk, J. Sęk, Ł. Przybysz, **Modelling and experimental study of pressure elution of high-viscosity substances with a low-viscosity liquid from granular bed**, Canadian Journal of Chemical Engineering, 94, 8, 1548-1559, 2016DOI:10.1002/cjce.22524, **IF= 2.100, M =40***Koncepcja badań, opracowanie metodyki badawczej, konstrukcji stanowiska badawczego, przeprowadzenie badań, analiza wyników, prace modelowe, obliczenia numeryczne, przygotowanie artykułu i dyskusja z recenzentami**Wkład własny: 80%* |
| [A2] | M. Błaszczyk, J. Sęk, Ł. Przybysz, P. Pacholski, **The analysis of emulsion structure change during its flow through porous structure**, Journal of Dispersion Science and Technology, 38 , 8, 2017DOI:10.1080/01932691.2016.1226184, **IF=2,200, M=40***Koncepcja badań, opracowanie metodyki badawczej, konstrukcji stanowiska badawczego, przeprowadzenie badań, analiza wyników, przygotowanie artykułu i dyskusja z recenzentami**Wkład własny: 70%* |
| [A3] | M. Błaszczyk, J. Sęk, Ł. Przybysz, **Capillary bundle model for gravitational flow of emulsion through granular media and experimental validation**, Chemical Engineering Science, 155, 415–427, 2016DOI:10.1016/j.ces.2016.08.032, **IF= 4,700, M =100***Koncepcja badań, opracowanie metodyki badawczej, konstrukcji stanowiska badawczego, przeprowadzenie badań, analiza wyników, prace modelowe, obliczenia numeryczne, przygotowanie artykułu i dyskusja z recenzentami**Wkład własny: 80%* |
| [A4] | M. Błaszczyk, J. Sęk, Ł. Przybysz, **Modeling of flow resistance and concentration changes during the pressure transport of emulsion through porous media**, Chemical Engineering Research and Design, 127, 10-21, 2017DOI:10.1016/j.cherd.2017.08.018, **IF= 3,900, M =140***Koncepcja badań, opracowanie metodyki badawczej, przeprowadzenie badań, analiza wyników, prace modelowe, obliczenia numeryczne, przygotowanie artykułu i dyskusja z recenzentami**Wkład własny: 80%* |
| [A5] | M. Błaszczyk, J. Sęk, Ł. Przybysz, **Modeling and experimental data of the flow of highly concentrated emulsions in porous media**, Engineering Science and Technology, an International Journal, 23, 6, 1444 – 1454, 2020DOI:10.1016/j.jestch.2020.07.003, **IF= 5,700, M =100***Koncepcja badań, opracowanie metodyki badawczej, pozyskanie środków na badania, przeprowadzenie badań, analiza wyników, udział w pracach modelowych, przygotowanie artykułu i dyskusja z recenzentami**Wkład własny: 55%* |
| [A6] | M. Błaszczyk, J. Sęk, Ł. Przybysz,, **Analysis of droplet displacement during transport of polydisperse emulsion as drug carriers in microchannels**, Microfluidics and Nanofluidics, 26, 3, 2022 Article number 19DOI:10.1007/s10404-022-02526-2, **IF= 2,800, M =70***Koncepcja badań, opracowanie metodyki badawczej, konstrukcja stanowiska badawczego, pozyskanie środków na badania, przeprowadzenie badań, analiza i opis wyników, przygotowanie artykułu i dyskusja z recenzentami**Wkład własny: 70%* |
| [A7] | M. Błaszczyk, J. Sęk, Ł. Przybysz, **The Phenomenon of Drug Emulsion Carriers Compaction during Their Movement in Microstructures,** Pharmaceutics, 14, 3, 2022 Article number 585DOI:10.3390/pharmaceutics14030585, **IF= 5,400, M =140***Koncepcja badań, opracowanie metodyki badawczej, przeprowadzenie badań, analiza i opis wyników, przygotowanie artykułu i dyskusja z recenzentami**Wkład własny: 70%* |
| [A8] | M. Błaszczyk, J. Sęk, Ł. Przybysz, **The Combined Diffusion and Adsorption Concept for Prediction of Nanoparticles Transport through Dermal Layers Based on Experiments in Membranes**, International Journal of Molecular Sciences, 23, 12, 2022 Article number 6419DOI:10.3390/ijms23126419, **IF= 5,600, M =140***Koncepcja badań, opracowanie metodyki badawczej, konstrukcja stanowiska badawczego, pozyskanie środków na badania, przeprowadzenie badań, analiza i opis wyników, przeprowadzenie prac modelowych, przygotowanie artykułu i dyskusja z recenzentami**Wkład własny: 70%* |
| [A9] | M. Błaszczyk, J. Sęk, Ł. **The New Attempt at Modeling of the Three-Dimensional Geometry of the Epidermal Skin Layer and the Diffusion Processes of Nanomolecular Drug Carriers in Such Structures**, Molecules, 28, 1, 2023 Article number 205DOI:10.3390/molecules28010205, **IF= 4,600, M=140***Koncepcja badań, prace modelowe, udział w obliczeniach numerycznych, analiza wyników, przygotowanie artykułu i dyskusja z recenzentami**Wkład własny: 60%* |
| [A10] | M. Błaszczyk, Ł. Przybysz, **A method for the segregation of emulsion inner phase droplets using imbibition process in porous material**, Energies, 15, 1, 2022 Article number 110DOI:10.3390/en15010110, **IF= 3,200, M =140***Koncepcja badań, opracowanie metodyki badawczej, konstrukcja stanowiska badawczego, przeprowadzenie badań, analiza i opis wyników, przeprowadzenie prac modelowych, przygotowanie artykułu i dyskusja z recenzentami**Wkład własny: 85%* |
| [A11] | M. Błaszczyk, Ł. Przybysz, **Sedimentation of Microparticles in Highly Concentrated Non-Newtonian Emulsions**, Applied Sciences (Switzerland), 12, 20, 2022 Article number 10442DOI:10.3390/app122010442, **IF=2,700, M =100***Koncepcja badań, opracowanie metodyki badawczej, konstrukcja stanowiska badawczego, przeprowadzenie badań, analiza i opis wyników, przeprowadzenie prac modelowych, przygotowanie artykułu i dyskusja z recenzentami**Wkład własny: 80%* |
| [A12] | M. Błaszczyk, Ł. Przybysz, **Determination of nanoparticles concentration in solution based on Pickering emulsion destabilization analyses**, Applied Nanoscience (Switzerland) 12, 1, 119 – 128, 2022DOI:10.1007/s13204-021-02213-8, **IF= 3.869, M =100***Koncepcja badań, opracowanie metodyki badawczej, konstrukcja stanowiska badawczego, przeprowadzenie badań, analiza i opis wyników, przeprowadzenie prac modelowych, przygotowanie artykułu i dyskusja z recenzentami**Wkład własny: 80%* |

Sumaryczny Impact Factor opublikowanych prac, stanowiących podstawę postępowania habilitacyjnego, wynosi: **IF2023 = 46,769**

Sumaryczna punktacja MEiN opublikowanych prac, stanowiących podstawę postępowania habilitacyjnego, wynosi: **M = 1250**

## 4.3. Opis osiągnięcia naukowego będącego podstawą wniosku habilitacyjnego

Wiodącym tematem mojej działalności naukowej jest modelowanie i opis procesów zachodzących w układach wielofazowych, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień dotyczących przepływu, przez struktury porowate, systemów typu ciecz – ciecz, gównie emulsji. Podstawowym celem moich prac jest kompleksowe zbadanie zjawisk zachodzących podczas takiego transportu oraz uchwycenie ich w opisie modelowym, pozwalającym na przewidywanie parametrów procesu w zależności od charakterystyki mediów. Zagadnienia te stanowią istotny wkład w rozwój inżynierii chemicznej, należą do najnowszych trendów
w tym obszarze i mogą znaleźć zastosowanie w projektowaniu i modelowaniu procesów przemysłu: wydobywczego**,** przetwórczego, farmaceutycznego oraz w zakresie inżynierii środowiska.

Zanim przejdę do omówienia mojego Osiągnięcia Naukowego, przedstawię gdzie rozpatrywane przeze mnie zagadnienia mogą znaleźć zastosowanie i jakie mają znaczenie dla rozwoju dyscypliny. Ponadto, w celu przybliżenia problematyki rozpatrywanych zjawisk, dokonam także krótkiego wprowadzenia do tematyki badawczej.

### 4.3.1. Pola zastosowań i znaczenie podjętej tematyki badawczej

Procesy transportu emulsji przez media porowate mają szerokie zastosowanie w wielu praktycznych aplikacjach. Wszędzie tam, gdzie przez strukturę porowatą, taką jak na przykład skała, gleba, filtry piaskowe lub skóra, przepływa ciecz wielofazowa, mogą tworzyć się emulsje. Przepływ emulsji w mediach porowatych różni się od jednoczesnego przepływu poszczególnych faz (olejowej i wodnej), dlatego powinien być rozpatrywany oddzielnie. Występują tu zjawiska, które w zasadniczy sposób wpływają na dynamikę transportu, dlatego poznanie mechanizmów rządzących takimi przepływami, nabiera istotnego znaczenia.

* ***Zagadnienia transportu emulsji w przemyśle wydobywczym***

W obecnych czasach, wraz ze wzrostem zapotrzebowania na energię, znaczenie wykorzystania dostępnych źródeł surowców energetycznych staje się coraz większe. W tym kontekście, procesy wtórnego odzyskiwania ropy naftowej stanowią istotny element
w zapewnieniu stabilnego zaopatrzenia w tę ważną kopalinę. Jedną z metod wtórnego wydobywania ropy jest przemywanie złóż roponośnych wodnymi roztworami środków powierzchniowo-czynnych, co często prowadzi do powstania emulsji [1]. Ponadto, aby zwiększyć stopień wydobycia ropy naftowej, stosuje się również celowe wprowadzenie rozcieńczonych układów dyspersyjnych do struktury złoża. W takich warunkach krople olejowe emulsji są w stanie wcisnąć się w strukturę medium porowatego i zostać tam uwięzione. Zatrzymane w porach krople blokują transport płynu przez daną ścieżkę przepływu. Mechanizm ten może być korzystny z perspektywy odzysku ropy ze względu na to, że przepływ zostaje przekierowany z bardziej przepuszczalnych stref w mniej przepuszczalne. Po przetłoczeniu przez złoże emulsji i zablokowaniu przez nią głównych ścieżek transportu, powtórny przepływ cieczy wymywającej odbywa się już innymi kanałami i z nich następuje wypłukanie zalegającego oleju [2].

Transport układów dyspersyjnych przez media porowate jest nie tylko ważny
w przypadku tradycyjnego wydobycia ropy naftowej, ale również w odzyskiwaniu ropy
z niekonwencjonalnych źródeł, takich jak piaski roponośne czy łupki bitumiczne [3].

* ***Rola emulsji w migracji zanieczyszczeń olejowych oraz procesach remediacji gruntów***

Zrozumienie zjawisk zachodzących podczas przepływu emulsji przez medium porowate ma zasadnicze znaczenie przy opracowaniu metod remediacji gleb z płynów organicznych, które dostały się do nich wskutek różnych wycieków, awarii oraz wypadków [4]. Ze względu na istniejące mechanizmy zatrzymywania płynu w strukturze złoża poprzez działanie sił kapilarnych, krople olejowe mogą zostać w niej uwięzione [5]. Podczas prowadzenia procesu wymywania złóż za pomocą cieczy płuczącej, krople te mogą przemieszać się jako układy emulsyjne [6]. Często do mediów myjących dodaje się środków powierzchniowo-czynnych, w celu obniżenia napięcia powierzchniowego, a tym samym, zwiększenia stopnia wymycia. Stanowi to dodatkowy czynnik powodujący powstawanie układów dyspersyjnych [7]. Emulsje mogą również pojawiać się w złożu samoczynnie. Wiele substancji ropopochodnych, w swym składzie, zawiera pewną ilość kwasów naftalenowych, które wykazują właściwości naturalnych surfaktantów ułatwiających powstanie struktur emulsyjnych. Ponadto, obecność w tych cieczach, różnorodnych związków alkalicznych, powoduje stabilizację powstałych układów [8].Ocena, w jaki sposób układy emulsyjne przemieszczać się będą w złożu, podczas stosowania technik oczyszczania gleb z substancji ropopochodnych, może przyczynić się do zwiększenia efektywności procesu oraz zmniejszenia związanych z nim nakładów finansowych.

* ***Transport układów dyspersyjnych w układzie krwionośnym***

Układy dyspersyjne, takie jak emulsje lub zawiesiny, to krople cieczy lub cząstki ciała stałego rozproszone w ośrodku ciągłym. Przykładem takiej substancji jest krew, w której ośrodkiem ciągłym jest osocze, natomiast substancjami rozproszonymi są krwinki oraz inne składniki, na przykład substancje lipidowe, w tym cholesterol [9, 10]. Przepływ krwi
w układzie krwionośnym, szczególnie w małych naczyniach włosowatych, można zatem rozpatrywać jako transport układów dyspersyjnych w mikrokanałach [11]. Zrozumienie zjawisk zachodzących w trakcie transportu układów dyspersyjnych może zatem przyczynić się do przewidywania przemieszczania się substancji wprowadzanych lub zawartych w krwi (np. cholesterolu), co może z kolei być użyteczne w diagnostyce i leczeniu pacjentów cierpiących na zatory tętnicze lub żylne.

* ***Emulsje jako nośniki leków***

Znajomość mechanizmów transportu układów dyspersyjnych ma także ogromne znaczenie przy projektowaniu nowoczesnych leków, szczególnie takich, w których do transportu w ciele ludzkim wykorzystuje się specjalny system docelowego wprowadzania leku poprzez zastosowanie tzw. nośników. Substancja aktywna zawarta w takim nośniku ma szanse precyzyjnie dotrzeć do określonego miejsca w ciele, w określonym czasie, tam zostać uwolniona i przejawić swoje lecznicze właściwości. Nośnikami substancji aktywnych mogą być różnego rodzaju mikrocząsteczki, mikrokapsułki czy mikrożele, a ze względu na swą prostotę, duży potencjał do takiego wykorzystania wykazują emulsje, szczególnie nanoemulsje [12]. Obserwowany w ostatnich latach gwałtowny postęp w rozwoju nanotechnologii przyczynił się do zwiększenia możliwości tworzenia nanoukładów o ściśle określonych parametrach, dostosowanych do celów medycznych. Jednakże, aby móc skorzystać z potencjału, jaki niesie zastosowanie tych substancji jako nośników leków, nie wystarczy tylko umiejętność ich produkcji, ale wiedza dotycząca mechanizmów ich transportu poprzez struktury ciała ludzkiego.

* ***Rola transportu emulsji w bezinwazyjnym wprowadzaniu leków przez struktury skórne***

Nadrzędnym celem rozwoju jest dążenie do stworzenia świata pozbawionego cierpienia i zapewniającego największy komfort życia każdemu człowiekowi. W świecie takim leczenie chorób powinno być skuteczne i bezbolesne. Aby było to możliwe substancje lecznicze powinny być dostarczane bezinwazyjnie, bez konieczności użycia igły i strzykawki. Ma to szczególne znaczenie przy podawaniu szczepionek na różnego rodzaju nieuleczalne choroby, gdyż jak donoszą badania [13], ponad dwadzieścia procent społeczeństwa wykazuje wrodzony lęk przed iniekcją, co w wielu przypadkach skutkuje świadomym unikaniem szczepień. Dodatkowo, wprowadzanie leków metodą tradycyjną może stać się przyczyną zakażeń krzyżowych, co niesie bezpośrednie zagrożenie dla życia ludzkiego [14]. Z tego względu dąży się do projektowania medykamentów, które mogą być wprowadzane do ciała ludzkiego bezpośrednio poprzez sam kontakt z nim. Jednakże, aby substancja bioaktywna dotarła w taki sposób do wnętrza organizmu człowieka, konieczne jest przeniknięcie jej przez strukturę skórną, która stanowi potężną barierę. Skóra ludzka składa się z warstw odznaczających się różną lipofilowością, co dodatkowo redukuje możliwość transportu wprowadzanych związków. Duży potencjał stanowi zastosowanie nośników w formie nanoemulsji. Aby móc przewiedzieć w jaki sposób, jak szybko, z jakim stężeniem i po jakim czasie substancje te dotrą do określonego miejsca w ciele, konieczna jest znajomość mechanizmów transportu układów emulsyjnych w strukturach porowatych.

* ***Znaczenie emulsji w kosmetologii***

Gwałtowny rozwój cywilizacji spowodował, że ludzie coraz częściej narażeni są na stres, zaburzenia snu i zmęczenie. Chcąc zapewnić sobie zdrowy, witalny wygląd poszukują coraz to lepszych produktów farmaceutycznych i kosmetycznych, zapewniających najwyższą skuteczność. Aby wyjść naprzeciw ciągle rosnącym potrzebom, konieczne jest określenie
w jaki sposób dane preparaty zachowują się w kontakcie z ciałem ludzkim, a przede wszystkim jak szybko, w jakiej ilości i na jaką głębokość są w stanie w nie wniknąć. Ponieważ wiele substancji kosmetycznych występuje w postaci emulsji, wiedza dotycząca zagadnień ich przepływu w biostrukturach porowatych nabiera kluczowego znaczenia dla rozwoju przemysłu kosmetycznego.

* ***Zagadnienia transportu emulsji przez struktury porowate w procesach filtracji***

Znajomość mechanizmów przepływu układów emulsyjnych przez struktury porowate ma niezmierne znaczenie podczas rozpatrywania zagadnień oczyszczania zaolejonych ścieków. Ze względu na to, że w takich ściekach często występuje duża ilość detergentów, ciecz ulega emulsyfikacji. Rozdzielenie powstałych układów wymaga aplikacji różnych, złożonych i energochłonnych metod. Z pomocą przychodzi tutaj także zastosowanie procesu filtracji, w którym krople fazy wewnętrznej zatrzymywane są na powierzchni lub wewnątrz złoża. Zrozumienie zjawisk występujących w trakcie przepływu emulsji przez media porowate może przyczynić się do optymalizacji metod oczyszczania ścieków [15]. Ma to znaczenie nie tylko dla poprawy efektywności komunalnych oczyszczalni, ale również, coraz bardziej powszechnych, przydomowych, ekologicznych oczyszczalni ścieków, gdzie stosowane są filtry piaskowe [16].

Rozdzielenie układów dwufazowych jest także kluczowym zagadnieniem podczas oczyszczania paliw. W celu usunięcia zdyspergowanej w fazie olejowej wody, emulsje przepuszcza się przez różnego rodzaju ziarniste lub włókniste przegrody filtracyjne [17]. Poszerzanie wiedzy dotyczącej zachowania się emulsji w strukturach porowatych może znaleźć zatem zastosowanie również przy projektowaniu nowoczesnych filtrów paliwa.

Każde z przedstawionych powyżej pól aplikacji zagadnień transportu układów emulsyjnych w złożach porowatych jest nieodzownie związane z dziedziną nauk inżynieryjno-technicznych. Poszerzenie wiedzy w wyżej wymienionych obszarach stanowi cenny wkład w rozwój dyscypliny inżynierii chemicznej, poprzez doskonalenie innowacyjnych rozwiązań technologicznych, poprawiających efektywność procesów, ochronę środowiska i jakość produktów, a także przyczyniających się do zrównoważonego rozwoju społecznego i gospodarczego.

### 4.3.2. Wprowadzenie do tematyki badawczej

*Parametry warunkujące transport emulsji w mediach porowatych*

Rozpatrując zagadnienia transportu emulsji, przez struktury porowate, należy brać pod uwagę zarówno wpływ parametrów złoża, właściwości emulsji jak również warunków procesu. Analizując media porowate należy określić ich parametry geometryczne, takie jak: porowatość, powierzchnię właściwą porów, ich krętość, czy też stopień nasycenia struktury porowatej daną substancją. Istotne znaczenie odgrywa tutaj również zwilżalność powierzchniowa, gdyż kontroluje przepływ, lokalizację i dystrybucję płynu w złożu porowatym [18]. Czynnik ten wpływa na ciśnienie kapilarne, relatywną przepuszczalność,
a także nasycenie wodą i olejem złoża.

Wśród wielkości charakteryzujących układy emulsyjne wyróżnić należy: średnią średnicę kropel emulsji oraz rozkład rozmiarów kropel fazy wewnętrznej, udział objętościowy fazy wewnętrznej, stabilność emulsji i odziaływania międzyfazowe.

Średnica kropel i rozkład rozmiarów kropel ma zasadnicze znaczenie w kontekście rozpatrywania przepływu emulsji przez media porowate. Powszechnie uznaje się, że jeśli krople emulsji są bardzo małe w porównaniu z rozmiarami kanałów przepływu, wówczas płyn rozpatrywany jest jako ciągłe medium i całkowicie zignorowane zostają mikroskopijne cechy emulsji. Jednak, w większości praktycznych przypadków, rozmiary kropel emulsji nie są dużo mniejsze od rozmiarów porów, a nawet często są od nich większe, co oznacza, że nie można pominąć ich obecności w złożu. W takim przypadku, konieczne jest rozpatrzenie,
w jaki sposób poszczególne cechy emulsji, wpływają na ich przepływ przez porowate medium [18].

Niezmiernie ważną wielkością charakteryzującą emulsję jest jej stężenie, czyli udział objętościowy fazy wewnętrznej. Uznano go za parametr strukturalny, ponieważ jego zmiany powodują różnice w strukturze wewnętrznej układu emulsyjnego, a co za tym idzie, wpływają na zmianę cech fizykochemicznych. Stężenie fazy rozproszonej emulsji wywiera silny wpływ na ich właściwości reologiczne. Ogólnie przyjmuje się, że emulsje typu olej w wodzie
o stężeniu objętościowym fazy olejowej mniejszym niż 50 % wykazują newtonowskie zachowania, a te o wyższych stężeniach cechy płynu nienewtonowskiego [19].

Emulsje są termodynamicznie niestabilnymi systemami i wykazują naturalną tendencje do rozdzielania faz [20]. Zjawisko to wynika z faktu, że kiedy jedna z faz rozproszona jest w drugiej, powierzchnia międzyfazowa jest duża. Systemy olejowo – wodne zmierzają do zminimalizowania tej powierzchni na drodze koalescencji zdyspergowanych kropel. Jeśli emulsja ulega destabilizacji, w trakcie przepływu przez porowate medium, następuje depozycja i koalescencja kropel wewnątrz struktury, prowadząc do zmian
w charakterze przepływu.

Duże znaczenie ma również prędkość przemieszczania się płynu w złożu. Warunkuje ona szybkość ścinania, a w przypadku wysokostężonych nienewtonowskich emulsji, od wartości szybkości ścinania będzie zależeć lepkość cieczy [19]. Wartość prędkości determinuje także szybkość wychwytywania kropel oleju w strukturze porowatej.

*Redukcja przepuszczalności przy przepływach emulsji O/W*

Podczas procesu przepływu emulsji, typu olej w wodzie, przez medium porowate, następuje redukcja względnej przepuszczalności złoża, spowodowana blokowaniem porów przez krople olejowe. Aby krople fazy wewnętrznej były efektywnym czynnikiem blokującym ich rozmiar musi być większy niż rozmiar kanału. W rzeczywistych przypadkach krople olejowe emulsji mają szeroki zakres rozmiarów średnic, podobnie jak rozmiary porów. Stąd mała ilość zemulsyfikowanego oleju może bardzo efektywnie blokować przepływ. Tym bardziej, że gdy emulsja jest wprowadzana do (lub formuje się wewnątrz) porowatego medium, najpierw wpływa do bardziej przepuszczalnych stref, co wynika z działania sił kapilarnych. Jak tylko zablokuje te strefy, wpływa do mniej przepuszczalnych stref, co powoduje bardziej efektywne rozprzestrzenianie się emulsji wewnątrz struktury. Przedstawione zjawisko blokowania kropel emulsji nazwane jest mechanizmem „cedzenia” (ang. straining) [20]. Jednakże w wyniku badań doświadczalnych zaobserwowano, że krople o średnicach mniejszych od średnic porów są także wychwytywane na powierzchni porowatego medium (najczęściej w szczelinach lub kieszeniach złoża). Redukcja przepuszczalności zachodzi także na skutek działania innego mechanizmu, nazwanego „przyłączaniem” (ang. interception) [21, 22]. Zakłada on, że krople emulsji mogą być uwięzione w porowatym medium na skutek przyłączania się do ścian porów, pod wpływem działania sił van der Waalsa lub sił hydrodynamicznych. Należy jednak podkreślić, że mechanizm ten ma tylko niewielki wpływ na całkowitą redukcję przepuszczalności złoża [20].

Redukcja przepuszczalności złoża, podczas przepływu emulsji, stanowi ważny parametr przy projektowaniu wielu procesów. Przede wszystkim określa jakie opory będzie wywoływać złoże przy wtłaczaniu do niego cieczy. Ma to istotne znaczenie w procesach wydobywania ropy naftowej, gdyż wpływa na koszty eksploatacyjne związane m.in.
z doborem odpowiednich pomp. Z tego względu określenie jak będzie zmieniać się przepuszczalność danego złoża, na skutek przepływu danej emulsji, nabiera kluczowego znaczenia dla efektywności i wydajności procesów intensyfikacji wydobycia płynów kopalnianych.

*Opis modelowy transportu emulsji przez porowate media*

Analiza przepływu cieczy, przez ośrodek porowaty, ma na celu sformułowanie równań
i zależności opisujących proces przemieszczania się płynów przez ośrodek gruntowy lub skalny i jest domeną kilku działów nauki, w tym hydrologii inżynierskiej, mechaniki gruntów i skał oraz hydrauliki, czy też filtracji [23]. Podczas rozpatrywania zjawisk transportu należy uwzględniać fakt, że zarówno ciecz jak i szkielet ośrodka mogą ulegać odkształceniom. Może również występować częściowe upłynnienie ośrodka porowatego w trakcie przepływu. Z tego względu opis przemieszczania się cieczy przez ośrodki porowate wymaga skonstruowania odpowiednich modeli, które uwzględniałyby wszystkie stałe i zmienne parametry emulsji
i medium porowatego [24]. Transport cieczy w ośrodkach porowatych może być rozpatrywany w różnym ujęciu. Istnieje podeście fenomenologiczne, które opiera się na badaniach efektów makroskopowych, bez wnikania w naturę ruchu cząstek płynu, ani nawet pojedynczych kanalików utworzonych przez pory i szczeliny. Znane jest także podejście mikroskopowe, wnikające w strukturę złoża i rozpatrujące zjawiska przepływu zachodzące wewnątrz medium [23].

Dotychczas istniały trzy główne teorie opisujące przepływ emulsji w porowatych mediach, na podstawie których opracowano: modele homogeniczne, modele opóźnionych kropel oraz modele filtracyjne.

Założeniem modeli homogenicznych było to, że emulsja stanowi ciągłe medium, czyli jest jednofazowym płynem. Zatem mikroskopijne cechy (krople) emulsji były całkowicie zaniedbywane podczas opisu. Pomijane były także oddziaływania pomiędzy kroplami fazy wewnętrznej emulsji oraz powierzchnią medium. Przepływ w porowatych złożach był modelowany wykorzystując dobrze znane newtonowskie lub nienewtonowskie koncepcje służące do opisu przepływu cieczy przez medium porowate [20].

Modele opóźnionych kropel oparte zostały na założeniu, że w chwili gdy krople olejowe emulsji wpływają do poru, którego średnica jest mniejsza niż średnica kropli, deformują się i spłaszczają. Podczas tego procesu poddawane są one działaniu sił oporu kapilarnego i w rezultacie przemieszczają się w porowatym medium wolniej niż faza ciągła emulsji. Model ten zakłada, że wszystkie krople emulsji przepływają przez porowate medium i nie są wychwytywane wewnątrz jego struktury, a jedynie ulegają opóźnieniu. Jednakże, dowody eksperymentalne sugerują, że krople są zatrzymywane, wskutek czego dochodzi do nieodwracalnej redukcji przepuszczalności złoża [20, 25].

Kolejną grupę stanowią modele filtracyjne, które oparte zostały na zasadach filtracji głębokozłożowej (ang. deep-bed filtration) [26]. W teorii tej założono, że krople emulsji nie tylko ulegają wyhamowaniu w porowatym medium, ale także są wychwytywane w strukturze porów. Uwięzienie kropel odbywa się na skutek dwóch, omówionych wcześniej, mechanizmów wychwytywania: cedzenia i przyłączania. Model filtracyjny ograniczony jest do monodyspersyjnych, stabilnych, niskostężonych emulsji typu O/W. Koncepcja modelu filtracyjnego stała się bardzo powszechna przy opisie zjawisk transportu emulsji przez złoża porowate i jest aktualna do dzisiaj.

Należy jednak podkreślić, że główne rozważania w literaturze przedmiotu dotyczą przepływu emulsji niskostężonych. Brak jest natomiast badań doświadczalnych oraz modelowania zjawisk przepływu emulsji wysokostężonych (nienewtonowskich) w mediach porowatych. Natomiast istniejące w literaturze modele, opisujące przepływ niskostężonych układów zdyspergowanych, pozwalają jedynie na przewidywanie zmian przepuszczalności porowatego medium w trakcie przepływu emulsji. Ponadto, ze względu na skomplikowaną formę oraz dużą liczbę zależnych od siebie parametrów, zastosowanie tych modeli w praktyce jest ograniczone.

Istnieje jednak inne podejście do modelowania przepływu emulsji, które opiera się na koncepcji wiązek kapilar reprezentujących złoże porowate. Jak dowiodłam na podstawie swoich prac, zależności oparte na tej koncepcji, w sposób bardziej miarodajny, pozwalają uchwycić mechanizmy zachodzące podczas przemieszczania się układów emulsyjnych
w strukturach porowatych.

### 4.3.3. Omówienie prac i osiągniętych wyników

Celem mojego Osiągnięcia Naukowego było kompleksowe rozpatrzenie mechanizmów zachodzących podczas przepływu układów emulsyjnych w medium porowatym. Aby było to możliwe wykonałam różnorodne prace badawcze ujmujące zagadnienia ruchu układów dyspersyjnych w różnym kontekście.

W pierwszej kolejności analizie poddany został transport cieczy przez złoża ziarniste przy różnej sile napędowej procesu. Rozpatrywałam zjawiska zachodzące podczas przepływów grawitacyjnych **[A2, A3]** oraz wymuszonych **[A1. A4]**. Brałam pod uwagę zarówno emulsje rozcieńczone, jak i o wysokim stężeniu fazy wewnętrznej **[A5]**. Wyniki tych badań stanowiły podstawę do opracowania różnorodnych modeli matematycznych, umożliwiających prognozowanie zachodzących procesów przepływowych. Następnie, w celu pogłębienia wglądu w strukturę medium porowatego, podjęłam badania transportu emulsji
w mikrokapilarach. Analizowałam zarówno przemieszczanie się pojedynczych kropel, jak
i układów polidyspersyjnych **[A6, A7]**. Wspomagając się możliwościami druku 3D, wykorzystałam w badaniach różnorodne sieci kapilarne, w tym: rozgałęzienia, przewężenia
i skrzyżowania.

W kolejnym kroku podjęłam się również prac nad zagadnieniami transportu nanoukładów poprzez rozmaite przegrody. W celu jak najlepszego uchwycenia wszystkich mechanizmów wykonywałam zarówno standardowe testy dyfuzyjne, jak i przeprowadzałam różnorodne symulacje numeryczne **[A8, A9]**. Podjęłam się także prac nad przemieszczaniem się układów emulsyjnych pod wpływem działania sił kapilarnych i prowadziłam badania procesu nasiąkania **[A10]**. Rozpatrywałam również zjawiska zachodzące w układach emulsyjnych, w obecności niezwartych cząstek ciała stałego. Analizowałam sytuację, gdzie cząstki te były rzędu wielkości kropel fazy rozproszonej emulsji i wówczas badałam proces sedymentacji **[A11]** oraz brałam pod uwagę przypadek, gdzie cząstki były znacznie mniejsze od wielkości kropel olejowych i wtedy rozpatrywałam zagadnienia stabilizacji emulsji
z zastosowaniem ciał stałych **[A12]**.

Przedstawiane osiągnięcie habilitacyjne składa się z cyklu 12 prac, w których zagadnienia transportu emulsji przez struktury porowate zostały ujęte w różnym kontekście. Poniżej dokonam prezentacji tych prac z podziałem tematycznym rozpatrywanych zjawisk. Przedstawię główne założenia, zastosowane metody badawcze, osiągnięte wyniki, a także zaznaczę, w jaki sposób przyczyniły się one do poszerzenia wiedzy na temat transportu emulsji przez struktury porowate. Wskażę również elementy nowości i oryginalności zawarte w tych pracach.

#### Wymywanie substancji wysokolepkich i emulsyfikacja samoczynna

Zagadnienia transportu emulsji, przez struktury porowate, zyskały moje zainteresowanie już w trakcie prowadzenia badań nad wymywaniem substancji wysokolepkich ze złóż ziarnistych. Badania te polegały na ciśnieniowym przepuszczaniu przez nasycone olejem złoże cieczy o niskiej lepkości (wody oraz jej roztworów ze środkami powierzchniowo-czynnymi). Prace te były prowadzone pod kątem usuwania substancji ropopochodnych ze złóż, w kontekście intensyfikacji wydobycia ropy naftowej oraz remediacji gruntów z substancji węglowodorowych. W pracy **[A1]** zawarłam wyniki eksperymentalne oraz modelowanie takich procesów. Badania przeprowadzone zostały na, specjalnie zaprojektowanym i wykonanym na te potrzeby, stanowisku badawczym wyposażonym w zestaw kolumn pomiarowych, w których umieszczane było złoże ziarniste
o znanych parametrach, przy znanym początkowym stopniu nasycenia złoża substancją wysokolepką (olejem). Przez złoże przepuszczano ciecz wymywającą i dokonywano monitorowania zmian parametrów procesu w czasie. Wypływająca ze złoża ciecz poddawana była analizom w celu ustalenia ilości wymytej substancji, co z kolei pozwoliło na określenie zmian stopnia nasycenia złoża olejem w trakcie przepływu. Badano wpływ na efektywność procesu takich parametrów, jak między innymi, lepkość i rodzaj substancji wymywanej, stopień początkowego nasycenia złoża olejem, porowatość i rozmiar ziaren złoża, długość złoża czy też natężenie dopływu cieczy.

Pomimo tego, że zagadnienia przedstawiane w pracy **[A1]** odnosiły się do procesu wymywania, wiele poczynionych w tym aspekcie obserwacji oraz przyjętych założeń dotyczyło również procesu transportu emulsji przez złoże porowate. Przede wszystkim przyjęłam tu pewną nową koncepcję modelowania transportu cieczy przez złoża. Koncepcja ta opierała się na traktowaniu złoża ziarnistego jako wiązki krętych kapilar, przez które odbywa się przepływ. Wsparłam się teorią Carmana [27] pozwalającą obliczyć promień kapilary na podstawie znajomości rozmiaru średnicy ziarna złoża. Oryginalna teoria pozwala na określenie jednej średniej zastępczej średnicy kapilar. Jednakże, mając na względzie fakt, że w rzeczywistym złożu ścieżki przepływu mogą mieć różne rozmiary, powiązałam faktyczną strukturę złoża z koncepcją wiązki kapilarnej. Na podstawie znajomości rozkładu rozmiarów ziaren w złożu, uzyskanej na podstawie analizy sitowej, możliwe było obliczenie promieni kapilar dla danych frakcji w złożu. Przyjęłam, że udział poszczególnych rozmiarów kapilar jest analogiczny do udziału odpowiadających im frakcji ziaren w złożu. To z kolei umożliwiło określenie liczby kapilar w poszczególnych klasach, przy danych parametrach geometrycznych złoża. Pozwoliło to na przedstawienie złoża ziarnistego jako wiązki kapilar
o różnych średnicach, a wielkość oraz liczba tych kapilar była powiązana z rzeczywistą strukturą złoża ziarnistego.

Podczas rozważań teoretycznych brałam pod uwagę zastępowanie zalegającej
w kapilarach fazy olejowej przez fazę wodną, co schematycznie zostało przedstawione na rysunku 1.



Rysunek 1. Wymywanie oleju z wiązki kapilar

Dokonałam analizy przemieszczania się cieczy w pojedynczej kapilarze i określiłam
o jaką odległość przemieści się jej czoło w przyjętym kroku czasowym. Biorąc pod uwagę całą wiązkę kapilar, o różnych średnicach, możliwe było określenie o ile przemieści się płyn
w każdej kapilarze, a to z kolei umożliwiło obliczenie objętości cieczy, która opuściła złoże
w danym kroku obliczeniowym. Ponieważ szybkość przemieszczania się czoła cieczy jest różna w różnych kapilarach to, w przypadku wymywania, po pewnym czasie dochodzi do sytuacji, że z niektórych kapilar olej może zostać usunięty. W tym przypadku, w takich kapilarach będzie przepływać tylko faza wodna i obliczenia będą odnosiły do przepływu jednofazowego. Jednakże, jak wynikało z przeprowadzonych badań eksperymentalnych,
w złożu zawsze zostaje pewna ilość oleju niewymytego (resztkowego). W celu uwzględnienia tego podczas modelowania, przyjęłam, że aby olej był wymywany, musi wystąpić ciśnienie wypierania, które przekracza pewną wartość krytyczną. Poniżej tej wartości, w danej kapilarze, nie będzie następować żadne przemieszczenie się cieczy, więc olej będzie w niej uwięziony. Biorąc pod uwagę wszystkie te założenia, możliwe było stworzenie programu numerycznego, pozwalającego na określenie zmian stopnia nasycenia złoża olejem w czasie.

Przyjęta w moich badaniach koncepcja modelowania stanowi nowość w dziedzinie badań nad przepływami wielofazowymi, gdyż umożliwia powiązanie określonego złoża ziarnistego, o skończonych rozmiarach, z modelową strukturą kapilar, o różnych średnicach. Ponadto, możliwym staje się uchwycenie wzajemnych interakcji pomiędzy kapilarami,
w których odbywa się przepływ (ilość oleju w danej kapilarze wpływa na warunki przepływu w pozostałych kapilarach). Przyjęte założenia modelowe pozwalają także na uwzględnienie zmiennej siły napędowej procesu, umożliwia to śledzenie przebiegu przepływu przy zmiennym natężeniu dopływu cieczy, co jest szczególnie ważne przy stosowaniu pomp
o różnych charakterystykach. Przeprowadzone rozważania modelowe, poparte wynikami eksperymentów, dostarczyły zatem przydatnych narzędzi niezbędnych do prognozowania przebiegu procesów wydobywania ropy naftowej, a także rozprzestrzeniania się skażeń substancjami ropopochodnymi w glebach i gruntach.

W ramach badań procesu wymywania substancji wysokolepkich ze złóż ziarnistych, przeprowadziłam także szereg eksperymentów, gdzie modyfikowałam właściwości substancji wymywającej poprzez wprowadzanie różnego typu środków powierzchniowo-czynnych.
W zależności od parametrów prowadzonego procesu obserwowałam, że wypływająca ze złoża ciecz, składająca się z fazy olejowej (substancja wymywana) i fazy wodnej (substancja wymywająca) miała, w wielu przypadkach, postać zemulsyfikowaną. W zależności od użytych substancji powierzchniowo-czynnych, emulsje były mniej lub bardziej stabilne. Dodatkowo zauważyłam, że w sytuacji gdy pojawiły się układy emulsyjne, opory przepływu podczas procesu wymywania nieznacznie wzrosły. Dało to podstawę i bodziec, aby dokładniej przyjrzeć się zagadnieniom przepływu emulsji przez struktury porowate. Stąd dalsze prace poświęciłam szczegółowym badaniom dotyczącym transportu emulsji przez struktury porowate.

#### Grawitacyjny przepływ emulsji przez struktury ziarniste

W ramach moich badań przeprowadziłam eksperymenty dotyczące transportu emulsji przez złoża ziarniste. Badania zostały przeprowadzone zarówno w układzie grawitacyjnym, jak i w układzie ciśnieniowym. Początkowo skoncentrowałam się na badaniach w układzie grawitacyjnym, w którym emulsja typu oleju w wodzie przepływała swobodnie przez złoże ziarniste o znanych parametrach. Podczas doświadczeń monitorowałam prędkość opadania słupa cieczy nad złożem, a także analizowałam emulsję wypływającą ze złoża. W ten sposób możliwe było określenie zmian w strukturze emulsji, w trakcie jej przepływu. Wyniki tych badań zostały opublikowane w pracy **[A2]**.

Na podstawie przeprowadzonych analiz zauważyłam, że rozkłady rozmiarów kropel olejowych emulsji oraz jej stężenie ulegają czasowym zmianom. Na początku procesu przepływu obserwowałam, na wypływie ze złoża, głównie małe kropelki i niższe stężenie emulsji wypływającej, w porównaniu do emulsji wprowadzonej do złoża. W miarę trwania procesu, zaobserwowałam wzrost średnicy kropel na wypływie oraz wzrost stężenia emulsji. W późniejszych etapach procesu rozkłady średnic kropel emulsji zbliżyły się do rozkładów emulsji bazowej, a stężenie przekroczyło nawet udział objętościowy fazy olejowej emulsji wprowadzonej do złoża. Dokonałam interpretacji tych zjawisk i doszłam do wniosku, że wynikają one z mechanizmów wychwytywania kropel oleju w strukturze złoża i blokowania przez nie kanałów przepływu. Na początku procesu, krople oleju o średnicy zbliżonej do średnicy ścieżek przepływu blokują kanały i zostają w nich uwięzione, co prowadzi do mniejszej liczby kropel na wypływie, stąd niższe stężenie. Kiedy wszystkie takie kanały zostają zablokowane, ciecz zostaje przekierowana do pozostałych ścieżek. Czasowa redukcja stężenia emulsji wskazuje również na występowanie zjawiska cedzenia. Faza wodna, mając mniejsze opory przepływu, przemieszcza się przez złoże szybciej, podczas gdy krople oleju przepływają wolniej. To powoduje "zagęszczenie" (wzrost liczby) kropelek pozostających
w złożu, co tłumaczy wzrost stężenia emulsji wypływającej w późniejszych etapach procesu.

W literaturze przedmiotu można odnaleźć szerokie omówienie zjawiska redukcji przepuszczalności złoża spowodowanej przepływem emulsji. Jednakże niewiele jest ilościowych odniesień, jak fenomen ten jest związany ze strukturą samej emulsji. Dodatkowo, zaobserwowany mechanizm „zagęszczenia” kropel w trakcie przepływu w wyniku zjawiska cedzenia świadczy o tym, że przepływu emulsji nie można traktować jak procesu ustalonego. Z tego powodu, wyniki moich badań, przedstawionych w publikacji **[A2]**, stanowią cenny wkład w pełniejsze zrozumienie procesu przepływu emulsji przez struktury porowate. Przyczyniły się one do stworzenia bardziej kompletnego obrazu tego złożonego procesu
i otworzyły nowe możliwości dla dalszych badań w tej dziedzinie.

W następnym etapie badań podjęłam się modelowania grawitacyjnego transportu przez struktury porowate, co szczegółowo przedstawiłam w publikacji **[A3]**. Wykorzystałam tutaj również koncepcję wiązki kapilarnej, reprezentującej złoże, w której odbywa się przepływ emulsji. Tak jak w przypadku modelu wymywania substancji wysokolepkich, złoże ziarniste powiązałam z modelową strukturą kapilar o różnych średnicach. Przeanalizowałam trzy przypadki przepływu emulsji przez kapilarę, w zależności od stosunku wielkości kropel olejowych do średnicy kanału.

Pierwszy przypadek dotyczył sytuacji, kiedy średnica kapilar była większa od średnicy kropli olejowej, drugi odnosił się do przypadku gdzie średnica kropel i średnica kapilary miały zbliżone rozmiary, natomiast trzeci dotyczył przepływu w kapilarach
o średnicach mniejszych od średnicy kropel. W pierwszym przypadku opisałam przepływ jako jednoczesne przemieszczanie się fazy wodnej i olejowej, w drugim przyjęłam transport jako przepływ tłokowy (ang. plug flow), natomiast trzeci rozpatrywałam jako dwie występujące możliwości. Pierwsza dotyczyła sytuacji, gdy przez kapilarę przepływała tylko faza ciągła, natomiast druga odnosiła się do przypadku kiedy kapilara została zablokowana przez krople oleju i wówczas brak w niej było jakiegokolwiek przepływu. Uznałam, że to kiedy jaka sytuacja będzie miała miejsce, czyli kiedy dana kapilara zostanie zablokowana, zależy od liczby kropel w układzie, czyli od aktualnego stężenia emulsji. Grawitacyjny transport emulsji w wiązce kapilar o różnych średnicach, został schematycznie zaprezentowany na rysunku 2.



Rysunek 2. Grawitacyjny transport emulsji w wiązce kapilar

W kolejnym kroku, dla każdego analizowanego przypadku, określiłam jaką odległość pokona płyn w założonym kroku czasowym. To z kolei, pozwoliło na obliczenie objętości fazy olejowej oraz fazy wodnej wypływającej ze wszystkich kapilar w tym kroku. Dzięki temu, możliwe było obliczenie stężenia emulsji oraz ilości cieczy pozostającej w układzie
i przyjęcie tych wartości jako startowych, dla kolejnych kroków obliczeniowych Na tej podstawie zbudowany został program numeryczny, który pozwalał na opisywanie zmian oporów przepływu i zmian stężenia fazy wewnętrznej przepływającej emulsji przez złoże porowate o określonych parametrach. Wyniki generowane przez opracowany program zostały porównane z wynikami badań doświadczalnych i osiągnięto wysokie dopasowanie, szczególnie dla emulsji o niższych stężeniach (+/-15%).

Zaproponowany przeze mnie w ramach pracy **[A3]** model kapilarny, opisujący grawitacyjny transport emulsji przez strukturę porowatą, jest pierwszym opublikowanym
w literaturze przedmiotu tego typu podejściem, które pozwala na uchwycenie zaobserwowanych podczas badań doświadczalnych, zjawisk redukcji przepuszczalności oraz czasowej redukcji stężenia. Poprzez uwzględnienie stosunku średnic kapilar i kropel olejowych oraz jednoczesne śledzenie transportu cieczy, w różnych kapilarach, możliwe jest globalne ujęcie przepływu emulsji w całym złożu. Daje to możliwość przewidywania, jak zastosowanie emulsji o danym rozkładzie kropel wpływa na dynamikę przepływu w złożu
o danym rozkładzie ziaren.

Prezentowany model numeryczny opiera się na obliczeniach w krokach czasowych.
Z każdym nowym krokiem przyjmowane są nowe warunki transportu. Dzięki temu staje się możliwe uchwycenie interakcji pomiędzy kapilarami, czyli to jak na transport w danej kapilarze wpływa transport w pozostałych kapilarach. Ponadto należy zauważyć, że jest to model grawitacyjny, gdzie śledzeniu podlega swobodnie przesiąkający przez złoże słup cieczy (zmniejszający się w czasie). Zatem, rozpatrywana była tutaj zmienna siła napędowa procesu, co dodatkowo podkreśla złożoność i uniwersalność modelu.

#### Wymuszony przepływ emulsji przez struktury porowate

Badania grawitacyjnego transportu emulsji przez złoża porowate mogą znaleźć zainteresowanie przy analizie spontanicznego przemieszczania się cieczy wielofazowych
w strukturach gruntów, na przykład przy ocenie skażenia oraz podczas prowadzenia metod remediacji gleby z substancji węglowodorowych. Natomiast, z perspektywy prowadzenia intensyfikacji wydobycia ropy naftowej ze złóż, bardziej interesujący jest przepływ ciśnieniowy emulsji. Z tego względu, podjęłam się badań eksperymentalnych oraz prac modelowych ciśnieniowego transportu emulsji przez struktury ziarniste. Wyniki tych badań zostały opublikowane w pracy **[A4]**.

Eksperymenty polegały na tym, że przez złoże ziarniste, o określonej charakterystyce, przetłaczana była emulsja typu olej w wodzie. W trakcie badań mierzone były parametry procesu, a ciecz opuszczająca złoże poddawana była analizom, w celu określenia zmian jej struktury w trakcie przepływu. Podczas prac doświadczalnych zaobserwowałam stopniowy wzrost oporów przepływu na wlocie do złoża oraz czasowe zmiany stężenia wypływającej ze złoża emulsji. Zmiany stężenia były bardziej zauważalne dla emulsji niskostężonych,
a w przypadku emulsji o wyższym udziale fazy wewnętrznej nie były znaczące. Również czas dochodzenia do stanu ustalonego był dłuższy dla emulsji o mniejszych stężeniach. Potwierdza to fakt, że na dynamikę transportu emulsji w mediach porowatych oraz zachodzące wówczas mechanizmy redukcji przepuszczalności bezpośredni wpływ ma, nie tylko rozmiar kropel olejowych, ale też ich liczba. Badania te przeprowadzone zostały dla różnych złóż, różnych rodzajów i stężeń emulsji oraz zadanych natężeń przepływu emulsji.

Następnie podjęłam się modelowania zaobserwowanych zjawisk. Tutaj również zastosowałam koncepcję wiązki kapilarnej. Podobnie jak w poprzednim przypadku, rozpatrzyłam przepływ emulsji w kapilarach w zależności od stosunku średnicy kanału
i średnicy kropel. Jednakże, w tym przypadku odniosłam się do przepływu ciśnieniowego. Założyłam, że kapilary o średnicach mniejszych niż średnice kropel ulegają zablokowaniu, jeśli ciśnienie w układzie nie przekroczy wartości pewnego krytycznego ciśnienia kapilarnego. Poniżej tego ciśnienia kropla nie jest w stanie przemieścić się przez kapilarę
i zostaje w niej uwięziona. Przez taki kanał nie odbywa się dalej jakikolwiek przepływ. Generuje to zmiany ciśnienia ogólnego w układzie, a to z kolei wpływa na blokowanie się pozostałych kapilar przez krople fazy wewnętrznej.

Biorąc pod uwagę wszystkie założenia, znając wymiary oraz liczbę wszystkich kapilar w złożu, możliwe było obliczenie jaka objętość fazy olejowej oraz wodnej opuści wszystkie kapilary, w założonym kroku czasowym. To z kolei pozwoliło na obliczenie stężenia emulsji znajdującej się w układzie oraz oporów jej przepływu. Przyjmując te wartości jako początkowe dla kolejnego kroku obliczeniowego, możliwe było stworzenie programu numerycznego, którego algorytm zaprezentowano na rysunku 3.



Rysunek 3. Algorytm programu obliczeniowego do modelowania ciśnieniowego transportu emulsji przez złoża ziarniste

Dużą zaletą przyjętej koncepcji modelowania jest możliwość przewidywania zmian oporów przepływu oraz stopnia zatrzymania emulsji w strukturze złoża, w warunkach nieustalonego przepływu, przy zmiennej sile napędowej procesu. Dzięki temu, możliwym staje się dobór odpowiednich parametrów urządzeń tłoczących, do konkretnego złoża
i emulsji, w celu uzyskania określonego przepływu. Zaproponowane podejście może zyskać aplikacyjność w praktycznych rozwiązaniach, między innymi dotyczących metod intensyfikacji wydobycia ropy naftowej.

Przeprowadzone badania dotyczyły transportu przez złoża ziarniste emulsji o stężeniu fazy wewnętrznej do 50% obj. Jednakże badania eksperymentalne dowodzą, że emulsje
o stężeniu powyżej 50% obj. wykazują właściwości cieczy nienewtonowskich rozrzedzanych ścinaniem [19]. Transport takich układów przez struktury medium porowatego staje się zatem jeszcze bardziej skomplikowany. Dało mi to bodziec do podjęcia kolejnych badań nad zagadnieniami transportu wysokostężonych emulsji w mediach porowatych.

#### Transport emulsji wysokostężonych przez struktury porowate

W przypadku mocno nasyconych struktur porowatych, substancjami wysokolepkimi, stosowanie metod chemicznego przemywania złóż może prowadzić do powstania emulsji
o wysokim stężeniu fazy wewnętrznej [3]. Transport takich układów przez struktury porowate staje się zatem jeszcze bardziej złożony, gdyż należy wziąć pod uwagę nienewtonowskie zachowanie emulsji podczas przepływu. Zjawisko to można wytłumaczyć jako wynik oddziaływania pomiędzy kroplami, spowodowanego przez siły wzajemnego przyciągania
i odpychania. Dla rozcieńczonych, niskostężonych emulsji, siły odpychania występujące pomiędzy kroplami są wystarczająco duże względem sił przyciągania, co powoduje, że występuje minimalna agregacja kropel emulsji. Jednakże, dla wysokostężonych emulsji, odległości pomiędzy kroplami są niewielkie, czyli siły odpychania są zredukowane, więc dominujące siły przyciągania będą prowadzić do formowania się agregatów. Przy niskich szybkościach ścinania agregaty te obracają się jak pojedyncze cząstki, co sprawia, że lepkość płynu jest wysoka. Gdy prędkość przepływu jest wyższa, ścinanie wzrasta, co powoduje rozpadanie agregatów, a to z kolei skutkuje spadkiem lepkości układu [7].

Aby zbadać, w jaki sposób zachowują się wysokostężone emulsje podczas transportu przez złoża ziarniste przeprowadziłam szereg doświadczeń, a ich rezultaty zostały opublikowane w pracy **[A5]**. Eksperymenty badawcze polegały na ciśnieniowym przetłaczaniu przez dane złoże ziarniste emulsji o stężeniu powyżej 50% obj. W celu uchwycenia zjawiska redukcji przepuszczalności złoża, zarówno przed, jak i po przepływie emulsji przez złoże przetłaczana była ciecz jednofazowa (woda). W trakcie badań zaobserwowany został gwałtowny spadek przepuszczalności złoża podczas przetłaczania emulsji, natomiast przy powtórnym przepuszczaniu przez złoże wody nastąpił wzrost przepuszczalności, jednakże jej wartość była mniejsza niż wartość uzyskana przed przetłaczaniem przez złoże emulsji. Potwierdza to fakt nieodwracalnego zablokowaniu złoża przez krople olejowe układu. Wyniki moich badań dowodzą, że stopień zablokowania złoża jest ściśle uzależniony od właściwości złoża, rodzaju emulsji oraz warunków przepływu.

Biorąc pod uwagę wszystkie zaobserwowane podczas badań zjawiska, w kolejnym kroku skoncentrowałam się również na modelowaniu procesu przepływu wysokostężonych emulsji przez struktury porowate. Aby tego dokonać, konieczne było najpierw wprowadzenie modelu reologicznego dla emulsji wykazujących właściwości cieczy nienewtonowskich. Szczegóły wyprowadzenia tej zależności zostały zaprezentowane w pracy **[B7].** Głównązaletą jest to, że jako jedyny model reologiczny, umożliwia przewidywania lepkości wysokostężonych emulsji, biorąc pod uwagę zarówno stężenie emulsji jak i szybkość ścinania. Pozwala to zatem na jednoczesne uchwycenie wpływu na przepływ udziału fazy wewnętrznej emulsji oraz prędkości z jaką ten przepływ się odbywa.

W rozważaniach modelowych, zaprezentowanych szczegółowo w pracy **[A5]**, wzięłam pod uwagę parametry złoża, właściwości emulsji oraz warunki przepływu. Oparłam się na teorii Blake-Kozeny-Carmana [28, 29], która pierwotnie została opracowana dla wymuszonych przepływów płynów jednofazowych newtonowskich przez warstwy ziarniste. Wykorzystałam, wspomniany wcześniej, model reologiczny oraz wprowadziłam pojęcie porowatości aktywnej i stopnia zablokowania złoża. Pozwoliło to na wyprowadzenie zależności dzięki której, dla danych warunków procesu, można obliczyć stopnień zablokowania złoża przez krople emulsji, a co za tym idzie, zmianę przepuszczalności złoża w czasie przepływu. Poprzez przewidywanie tych parametrów, staje się możliwe również dostosowywanie ich do pożądanych warunków procesu. Umiejętność przewidzenia stopnia zablokowania złoża ma niezmierne znaczenie podczas prowadzenia procesów odzysku substancji ropopochodnych, gdyż dzięki temu, staje się możliwe świadome przekierunkowanie przepływu do mniej preferencyjnych ścieżek i tym sposobem zwiększenie stopnia wydobycia.

Opracowany model jest pierwszym opublikowanym w literaturze przedmiotu kompleksowym ujęciem zagadnień transportu wysokostężonych emulsji w strukturach porowatych. Dodatkową wartością tego podejścia jest jego wszechstronność i uniwersalność. Chociaż został on opracowany pierwotnie do określania stopnia zablokowania złoża dla emulsji wysokostężonych, jednak zgodnie z jego założeniami, możliwe jest również jego zastosowanie dla emulsji o niższych stężeniach. Zaproponowane podejście modelowania, daje zatem istotne narzędzie badawcze, które może przyczynić się do doskonalenia procesów przemysłowych, optymalizacji zasobów i efektywnego wykorzystania emulsji w różnych dziedzinach, od produkcji naftowej po technologie oczyszczania i odzyskiwania surowców.

#### Transport układów emulsyjnych przez mikrokapilary

W zaprezentowanych powyżej pracach, eksperymenty dotyczyły badań w całej strukturze złoża, jednak podczas rozważań modelowych niejednokrotnie odnosiłam się do opisu transportu w poszczególnych kapilarach reprezentujących złoże. Dokonywałam tutaj założeń opartych na zależnościach teoretycznych. Jednakże, w celu pogłębienia wiedzy w tym zakresie, w dalszych pracach badawczych postanowiłam bardziej wniknąć w strukturę złoża
i eksperymentalnie zbadać, jakie mechanizmy działają podczas przemieszczania się kropel olejowych emulsji w poszczególnych kapilarach.

Transport układów dyspersyjnych w mikrokanałach można rozpatrywać z dwóch perspektyw, w zależności od stosunku średnicy kanału do średnicy cząstek fazy rozproszonej. Biorąc pod uwagę przemieszczanie się emulsji, pierwszy przypadek odnosi się do przepływu przez kapilarę, której średnica jest porównywalnego rozmiaru do średnicy kropel olejowych, drugi natomiast dotyczy przypadku, gdy średnia średnica kropel jest mniejsza od średnicy kanału. Wariant pierwszy, zwany jako przepływ tłokowy (ang. slug flow), jest szeroko opisywany w literaturze [30, 31, 32]. Analiza transportu poszczególnych kropel, ich deformacji i rozrywania się w kanałach o zbliżonej do nich średnicy, zyskała szczególne zainteresowanie przy tworzeniu emulsji monodyspersyjnych, poprzez różnego rodzaju generatory kropel [33, 34].

Przepływ układów dyspersyjnych w przypadku, gdy średnice kropel lub cząstek są mniejsze od średnicy kanału, w literaturze przedmiotu nie został dotąd zadawalająco przedstawiony. Z tego względu stał się on głównym tematem dalszych moich badań doświadczalnych. Ogólnie, zakłada się tu, że prędkość poszczególnych kropel jest taka, jak lokalna prędkość fazy ciągłej, a krople podążają za liniami prądu fazy zewnętrznej [30,35]. Zignorowane są wzajemne interakcje pomiędzy kroplami oraz pomiędzy ściankami kanału. Aby sprawdzić, czy takie założenie jest słuszne, szczególnie dla bardzo wolnych przepływów, podjęłam się prac badawczych dotyczących transportu polidyspersyjnych emulsji
w mikrokanałach, a wyniki tych badań przedstawione zostały w pracy **[A6].**

Początkowo analizowałam tor oraz prędkości przemieszczania się poszczególnych kropel w prostych kapilarach, w warunkach małych wartości liczby Reynoldsa. Zaobserwowałam, że tor danej kropli jest zależny od obecności innych kropel, gdyż dochodzi między nimi do ciągłych interakcji. W wyniku tego pojawiają się znaczne zmiany
w prędkościach liniowych tych kropel. Okazało się, że na prędkość przemieszczania się kropel olejowych w kapilarach ma wpływ zarówno ich średnica jak i usytuowanie względem osi kapilary. Krople o największych średnicach przepływają szybciej niż krople
o stosunkowo mniejszych rozmiarach. Tłumaczyć to można tym, że w przypadku gdy krople są niewielkich rozmiarów faza ciągła omija je, natomiast gdy ich średnica jest większa, woda (faza ciągła) działa na nie jak tłok i porywa je ze sobą, nadając im większą prędkość. Ponadto szybkość przepływu kropel przez kapilarę nie jest stała, ulega chwilowym zmianom. Wahania te są większe dla dużych kropel, niż w przypadku kropel o mniejszych rozmiarach. Oznacza to, że duże krople bardziej narażone są na fluktuacje w przepływie, podczas gdy mniejsze krople przemieszczają się z względnie jednostajną prędkością. Przy wolnych przepływach, główne przemieszczanie się kropel emulsji odbywa się środkiem kanału, natomiast przy ściankach ten przepływ jest stosunkowo wolny lub bliski zeru, co oznacza, że aktywna średnica przepływu dla kropel jest znacznie mniejsza niż średnica kapilary.

Nie bez znaczenia jest także stężenie emulsji. Na podstawie wykonanych własnych badań, zauważyłam, że przy niskich wartościach stężenia, prędkość przepływu kropel rośnie wraz ze wzrostem stężenia. Wynika to z faktu, że przy większej liczbie kropel, te przepływające przez centrum kanału (z największą prędkością) porywają te, które znajdują się przy ściankach kapilary. Stąd całkowita prędkość układu przyjmuje większą wartość. Jednakże, z drugiej strony, wzrost stężenia kropel olejowych powoduje wzrost lepkości układu, co przekłada się na zwiększenie oporów przepływu. Występuje zatem pewne optimum stężenia, przy którym prędkość przemieszczania się kropel będzie największa. Jest to niezmiernie ważne przy projektowaniu nowoczesnych leków, gdyż pozwala określić przy jakim stężeniu należy aplikować dany nośnik leków, by jego skuteczność obiegu
w strukturach kapilarnych była najlepsza.

W trakcie badań transportu emulsji w strukturach kapilarnych, zaobserwowałam, że prędkość przemieszczania się kropel olejowych była znacznie mniejsza niż prędkość fazy wodnej. Wynika to z faktu, że przepływające krople olejowe zderzają się ze sobą lub ze ściankami kanału i w wyniku tego ich prędkość zostaje wyhamowana. Faza ciągła natomiast przepływa przez kanał ze względnie niezmienną prędkością, omijając krople olejowe. Powoduje to, że krople olejowe gromadzą się w strukturze kanału i po pewnym czasie ich liczba jest znacznie większa niż pierwotnie. Zjawisko to jest zależne od natężenia przepływu cieczy, jej parametrów oraz geometrii kanału i można je opisać przy zastosowaniu liczby Reynoldsa. Szczegółowe wyniki takich badań przedstawiłam w pracy **[A7]**.Wprowadziłam pojęcie współczynnika zagęszczenia kropel, który ujmuje zjawisko nagromadzenia kropel
w strukturze, w danym czasie. Na podstawie badań doświadczalnych, stwierdziłam że proces zagęszczenia kropel zaczyna mieć istotne znaczenie poniżej wartości liczby Reynoldsa równej 0,22. Im mniejsze było zadane natężenie przepływu, tym bardziej wyraźne było nagromadzenie się kropel w kanale. Ponadto, zjawisko to zachodziło bardziej intensywnie
w przypadku emulsji o niskich stężeniach fazy wewnętrznej, gdyż stopień zagęszczenia kropel wzrastał wówczas nawet kilkadziesiąt razy.

Biorąc pod uwagę wszystkie zaobserwowane zjawiska, dokonałam opisu modelowego ujmującego zależność stopnia zagęszczenia kropel od wartości liczby Reynoldsa. Dzięki temu, możliwe staje się oszacowanie skali zjawiska zagęszczania kropl olejowych emulsji
w strukturach kapilarnych, dla danych warunków przepływu. Badania zjawiska zagęszczania kropel emulsji prowadziłam także w innych strukturach kapilarnych, w tym przewężeniach, rozgałęzieniach, zakolach, co przedstawiłam w pracach **[B1, I2, I3]**.

Na podstawie moich prac udowodniłam, że w przypadku układów dyspersyjnych przemieszczających się przez mikrokanały bardzo wolno, przyjęte powszechnie założenie, że prędkość poszczególnych kropel jest taka, jak lokalna prędkość fazy ciągłej, jest błędne. Istnieje tu szereg ważnych mechanizmów, które determinują przepływ, a prędkość fazy ciągłej i rozproszonej powinna być rozpatrywana osobno.

Świadomość występowania i skali zjawiska zagęszczenia fazy zdyspergowanej
i umiejętność jego precyzyjnego przewidywania, może być niezmiernie ważna w wielu aspektach praktycznych. Na przykład, przy monitorowaniu przepływu krwi, szczególnie
w małych naczyniach włosowatych, gdzie prędkości przepływu są niewielkie. W takich sytuacjach zagęszczenie krwinek lub też innych składników krwi, jakim jest na przykład cholesterol, może być znacznie większe niż wynika to z analiz laboratoryjnych. Ilościowe uchwycenie stopnia zagęszczenia dyspersji w danych warunkach, może być zatem przydatne do przeciwdziałania zatorom żylnym i odkładaniu się cholesterolu.

Ponadto, badania nad mechanizmami występujących podczas przemieszczania się
w kapilarach układów dyspersyjnych mogą przyczynić się do rozwoju i zredukowania kosztów produkcji nowoczesnych leków. Powszechnie dąży się do tego, by nanonośniki leków miały jak największą monodyspersję, jednak tworzenie takich układów jest nadal trudne i wymaga znacznych nakładów finansowych. Jednakże możliwość stosowania nanonośników w formie polidyspersyjnej, pozwala na znacznie zredukowanie kosztów produkcji, ale wymaga szczegółowej wiedzy co do prędkości przemieszczania się poszczególnych kropel, by móc ocenić szybkość uwalniania i zasięg działania leku. Dostarczenie miarodajnych badań w tym zakresie, popartych odpowiednim opisem ilościowym, nabiera zatem kluczowego znaczenia.

####  Przemieszczanie się nanoukładów przez struktury porowate

Dynamiczny rozwój nanotechnologii daje perspektywy dla nowych zastosowań nanoukładów, w bardzo małych strukturach porowatych. Przykładem takiej struktury jest skóra ludzka. Jednym z celów prowadzonych aktualnie badań jest to, by substancje lecznicze mogły być dostarczane do ciała w sposób bezinwazyjny. Z tego względu dąży się do projektowania medykamentów, które mogą być wprowadzane do organizmu bezpośrednio poprzez sam kontakt z powierzchnią ciała. Jednakże, aby substancja bioaktywna dotarła
w taki sposób do wnętrza ciała człowieka, konieczne jest przeniknięcie jej przez strukturę skórną. Z tego względu substancje aktywne często umieszcza się w nośnikach,
a najprostszymi i najbardziej obiecującymi, w perspektywie zastosowań dla transportu poprzez warstwy skóry, są nanocząstki i nanoemulsje, które stanowić mogą matrycę dla wielu rodzajów związków [8, 9]. Jednakże, aby móc skorzystać z potencjału jaki niesie zastosowanie nanoukładów, jako bezinwazyjnych nośników leków, nie wystarczy tylko umiejętność ich produkcji, ale niezbędna jest także wiedza dotycząca mechanizmów ich transportu poprzez strukturę skóry. Z uwagi na to, moim kolejnym kierunkiem badawczym stała się analiza procesu przemieszczania się nanoukładów przez struktury porowate.

Szacuje się, że najbardziej trudną do pokonania barierą przy przenikaniu przez skórę jest zewnętrzna warstwa naskórka tzw. stratum corneum. W literaturze przedmiotu często stosuje się modelowy obraz skóry jako ceglanego muru, gdzie komórki stanowią cegły [36], tak jak zaprezentowano na rysunku 4. Transport substancji przez taką strukturę może odbywać się trzema sposobami: przez przydatki skórne, drogą wewnątrzkomórkową
i międzykomórkową, która jest najbardziej obiecująca dla transportu nanoukładów.



Rysunek 4. Schematyczne przedstawienie dróg przenikania substancji chemicznych przez warstwę skórną:1 – droga wewnątrzkomórkowa; 2 – droga międzykomórkowa; 3 – droga poprzez przydatki skórne

Przemieszczanie się bardzo małych obiektów jest rozpatrywane najczęściej jako transport dyfuzyjny i opisywane za pomocą pierwszego prawa Ficka [37, 38]. Współczynnikiem proporcjonalności pomiędzy strumieniem masy a gradientem stężenia wzdłuż drogi jest współczynnik dyfuzji. W przypadku procesu dyfuzji nanocząsteczek
w cieczach, współczynnik ten opisywany jest za pomocą zależności Stokes-Einstein [39,40],
a jego wartość jest rzędu 10-11 [m2/s] [41]. Jednakże nanocząsteczki przemieszczające się
w skórze, napotykają na swej drodze komórki, co sprowadza się do tego, że transport odbywa się przez określoną strukturę porowatą. Ogólnie przyjmuje się, że transport cząstek przez struktury porowate jest zależny od stosunku wielkości tych cząstek do wielkości porów, czyli w tym przypadku przestrzeni międzykomórkowych (cementu) [42, 43]. Oznacza to, że im mniejsze średnice ścieżek, którymi może być transportowana dana substancja, tym większe opory i tym mniej intensywnie odbywa się przepływ. Sugeruje to zatem, że w przypadku transportu nanocząstek przez struktury skórne, to wielkość przestrzeni międzykomórkowych ma decydujący wpływ na ich migrację. Jednakże, przeprowadzone przeze mnie badania eksperymentalne, przedstawione w pracy **[A8],** podważyły tę tezę. Doświadczenia te polegały na śledzeniu, przy wykorzystaniu komór Franza, procesu dyfuzji nanocząstek przez przegrody filtracyjne.

Na podstawie uzyskanych wyników z tych eksperymentów, zauważyłam, że współczynnik dyfuzji jest co najmniej o rząd wielkości mniejszy, niż uzyskiwany dla transportu w cieczach (bez przegrody). Należy jednak podkreślić fakt, że wykorzystane przegrody miały rozmiary oczek (skala mikro) o kilka rzędów większe od rozmiarów nanocząstek. Pomimo tego przegrody stanowiły skuteczną barierę dla nanocząsteczek. Przeprowadziłam testy z różnymi przegrodami oraz nakładaniem na siebie ich różnych kombinacji i zauważyłam korelację pomiędzy wielkością strumienia dyfuzji, a powierzchnią całkowitą tych przegród. Uznałam, że w przypadku transportu nanocząstek przez struktury porowate, dominującym mechanizmem nie jest zjawisko blokowania ścieżek przepływu (które ma miejsce gdy rozmiary porów struktury i średnic dyspersji są zbliżone), ale inny mechanizm związany z powierzchniowym wychwyceniem cząstek. W literaturze przedmiotu zakładano istnienie takiego mechanizmu, który nazwano intercepcją (modele głębokiej filtracji), jednakże nie ustalono ściśle jego skali.

W ramach pracy **[A8]** zaproponowałam ujęcie intercepcji jako mechanizmu powierzchniowego analogicznego do zjawiska adsorpcji. Zaadoptowałam znaną korelację Langumira, opisującą proces adsorpcji, do przewidywania intercepcji. Uzyskałam powiązanie zależności liczby cząstek wychwyconych z powierzchnią całkowitą przegród, poprzez współczynnik geometryczny. Wprowadzenie, do opisu procesu dyfuzji nanocząstek, koncepcji adsorpcji pozwoliło na uzyskanie obliczonych wartości współczynników dyfuzji zbliżonych do otrzymanych w eksperymentach. Zaproponowaną koncepcję przedstawiłam
w kontekście przemieszczania się nanoukładów przez warstwy skórne. Zastosowałam powszechnie przyjęty model skóry jako ceglanego muru i dokonałam obliczeń współczynników geometrycznych dla poszczególnych warstw. To z kolei, umożliwiło mi określenie efektywnego współczynnika dyfuzji, uwzględniającego zjawisko wychwytywania cząstek na powierzchni struktury. Dzięki takiemu podejściu, możliwe było określenie zmian masy przedyfundowanych cząstek względem poszczególnych warstw, w głąb skóry. Model ten umożliwiał śledzenie tych zmian, biorąc pod uwagę takie parametry jak: średnica nanocząstek, różna geometria struktury wewnętrznej skóry, lepkość i gęstość podłoża lipofilowego itp. To szczegółowe i innowacyjne podejście pozwoliło na precyzyjne śledzenie procesów transportu i uzyskanie wartościowych informacji dotyczących dyfuzji nanocząstek przez skórę. Model ten stanowi ważne narzędzie w badaniach farmaceutycznych oraz kosmetologicznych i wielu innych dziedzinach, gdzie analiza procesu transportu substancji przez skórę odgrywa kluczową rolę. Nowość tego podejścia polega na tym, że integruje różnorodne czynniki wpływające na transport nanocząstek przez skórę, co umożliwia precyzyjne prognozowanie i analizowanie tych procesów w bardziej kompleksowy sposób niż umożliwiają to dotychczasowe metody.

Równolegle do badań eksperymentalnych, wykonywałam symulacje komputerowe procesu dyfuzji nanoukładów przez struktury odwzorowujące warstwy skórne. Symulacje przeprowadzałam przy użyciu programu Comsol Multiphysics v.6.0, wykorzystując moduł Particle Tracing for fluid flow. Obliczenia te prowadzone były w warunkach procesu nieustalonego. Celem badań numerycznych było określenie szybkości dyfuzji nanocząstek,
o średnicy zbliżonej do szerokości kanału lipidowego, w zewnętrznej warstwie naskórka. Wyniki tych badań zostały opublikowane w pracy **[A9]**. Symulacje przeprowadzane były przyjmując, że przy rozmiarach nanocząstek, rzędu nanometrów, ich ruchy dyfuzyjne mogą być traktowane jako ruchy Browna, ograniczane przez opory ośrodka lepkiego, w którym się odbywają. Połączenie sił, wynikających z tych dwóch zjawisk, powoduje dyfuzję cząstek
z obszarów o wysokim stężeniu do stref o stężeniu niskim.

Należy podkreślić fakt, że prowadzenie symulacji komputerowych w strukturach skórnych jest bardzo skomplikowane, gdyż warstwa rogowa składa się z keratynocytów
o wielkości kilkudziesięciu mikrometrów, oddzielonych wąskimi kanałami o szerokości nanometrycznej. Ze względu na nieproporcjonalność między tymi elementami, obliczenia numeryczne mogą być bardzo czasochłonne. Z uwagi na to, zastosowana została konwersja konkretnej trójwymiarowej struktury skóry w trójwymiarową kapilarę. Takie podejście dostarcza znacznie bardziej przystępnego obrazu dróg penetracji cząstek w skórze. Ponadto, jeśli zastosowane zostaną symulacje numeryczne, taka geometria jest znacznie łatwiejsza do zbudowania modelu.

Kolejną zaletą tego podejścia jest możliwość precyzyjnego prognozowania liczby przetransportowanych składników, w funkcji czasu i odległości. Dzięki temu, można dokładnie monitorować proces dyfuzji i ocenić efektywność penetracji substancji przez warstwę rogową skóry. Dodatkowo, oszacowane parametry modelu dyfuzji pozwalają obliczyć wartość efektywnego współczynnika dyfuzji, który mieści się w zakresie dostępnych w literaturze [39] danych dla dyfuzji nanoukładów przez warstwę rogową skóry. Ważną zaletą tego podejścia jest również możliwość uzyskania wiarygodnych wyników, bez konieczności długotrwałych symulacji transportu w konkretnym układzie przestrzennym. Dzięki uproszczonej geometrii i uwzględnieniu istotnych czynników wpływających na transport cząstek przez skórę, model dostarcza miarodajnych danych, co znacznie przyspiesza proces analizy i oceny penetracji substancji aktywnych w strukturze dermalnej.

Należy podkreślić, że opracowany model numeryczny zapewnia skuteczne narzędzie do badania transportu cząstek przez struktury skórne. Jego zalety obejmują: redukcję czasu obliczeniowego, uwzględnienie istotnych parametrów wpływających na penetrację substancji oraz dostarczenie precyzyjnych wyników. Jest to istotny krok w kierunku bardziej efektywnego projektowania i oceny leków oraz dermokosmetyków, a także innych substancji penetrujących skórę.

####  Proces nasiąkania struktur porowatych układami emulsyjnymi

W przedstawionych powyżej aspektach badawczych, skupiałam się na analizie transportu emulsji przez struktury porowate zarówno pod wpływem sił grawitacyjnych, jak
i sił zewnętrznych. Zajmowałam się badaniami na makroskopowym poziomie (stosując kolumny pomiarowe), jak również na skalach mikro (wykorzystując mikrokapilary), jak również w skali nano (biorąc pod uwagę dyfuzyjny transport nanoukładów). Uzupełnieniem rozważań, dotyczących transportu emulsji przez media porowate, jest także ich przemieszczanie się wywołane siłami kapilarnymi podczas zjawiska nasiąkania. Wiele prac poświęconych zostało zjawisku nasiąkania cieczami jednofazowymi, jednak brak jest odniesień co do tego, jak proces ten przebiega w przypadku emulsji. Znajomość prędkości oraz sposobu przemieszczania się układów emulsyjnych na drodze spontanicznej imbibicji ma znaczenie w wielu gałęziach przemysłu. Dla przykładu, w przemyśle farbiarskim istotne jest by barwniki, stanowiące układy rozproszone, równomiernie docierały do wszystkich obszarów tkaniny. Natomiast w papiernictwie oraz drukarstwie sposób barwienia tuszem i jego rozchodzenie w czasie na powierzchni papieru ma priorytetowe znaczenie. Również
w przemyśle kosmetycznym, różnego rodzaju kosmetyki, na bazie emulsji, mają na celu wsiąknąć w głąb skóry. W branży spożywczej natomiast proces nasiąkania występuje, na przykład, przy rafinacji cukru. Biorąc pod uwagę duże znaczenie tego zagadnienia, podjęłam się także badań procesu nasiąkania struktur porowatych układami emulsyjnymi.

W pracy **[A10]** przedstawiłam wyniki badań nasiąkania struktury włóknistej emulsjami typu O/W, o różnych stężeniach i rozkładach kropel. Schemat tego procesu zaprezentowany został na rysunku 5. Zaobserwowałam występowanie zjawiska segregacji kropel olejowych oraz zmniejszenie stężenia i polidyspersyjności kropel. Analizowałam szybkość zachodzenia procesu i badałam zmiany struktury emulsji wraz z wysokością nasiąkania.



Rysunek 5. Schemat procesu nasiąkania

Oprócz wagi badań dotyczących szybkości oraz sposobu przenoszenia się poszczególnych faz podczas nasiąkania, w pracy **[A10]** podkreśliłam także praktyczne możliwości wykorzystania tych mechanizmów. Wykazałam, że proces segregacji kropel oleju, poprzez wykorzystanie procesu imbibicji, pozwala na uzyskanie układów o średnicach średnio o połowę mniejszych niż przed procesem emulsyfikacji. Ponadto uzyskana polidyspersyjność była o około 40% mniejsza niż w przypadku początkowego systemu. Proces ten odbywał się spontanicznie za pomocą sił kapilarnych i grawitacyjnych, nie wymagał więc dodatkowych nakładów energetycznych. Wykazałam, że zastosowanie metody imbibicji, jako uzupełnienia do metod konwencjonalnego wytwarzania emulsji, pozwala na osiągnięcie układów o małych kroplach i stosunkowo niskiej polidyspersyjności. Uzyskanie emulsji o takich parametrach, wymagałoby już użycia bardziej zaawansowanych metod, które wymagają znacznie większych nakładów energetycznych.

W pracy **[A10]** przedstawiłam korzyści energetyczne w kontekście innych technik wytwarzania emulsji. Metodę segregacji na drodze imbibicji wykorzystałam także podczas tworzenia układów rozproszonych na potrzeby badań kapilarnych, gdzie ważne było uzyskanie układu o konkretnych parametrach struktury. Wykazałam, że jest to względnie prosty i użyteczny sposób na planowe sterowanie parametrami emulsji, bez konieczności stosowania zaawansowanych metod homogenizacji.

Zagadnienia dotyczące procesu nasiąkania w strukturach porowatych rozpatrywałam także pod innym kątem, co można odnaleźć w moich pozostałych pracach **[B3, B4, B5, B14, B21]**, stanowiących dorobek uzupełniający.

####  Badanie zachowania się emulsji w obecności rozproszonych cząstek stałych

Dotychczas skupiałam uwagę na przemieszczaniu się układów emulsyjnych przez zwarte struktury porowate, takie jak: złoża ziarniste, włókniste, membrany, filtry. Jednakże, spotykany jest także przypadek, gdy struktury te nie stanowią ścisłej całości, ale są rozproszone w układzie w postaci cząstek. Biorąc pod uwagę taką sytuację, układ należy rozpatrywać jako trójfazowy, gdzie obok siebie istnieją fazy: stała, olejowa i wodna. Podjęłam się zatem badań wzajemnych interakcji poszczególnych faz oraz ich przemieszczania się względem siebie, na skutek różnych mechanizmów. Przy analizie takich zjawisk istotne znaczenie ma wielkość poszczególnych elementów: cząstek ciała stałego i kropel olejowych. W swoich badaniach rozpatrywałam dwa przypadki: gdy cząstki ciała stałego były większe (mikrokulki) od kropel olejowych oraz gdy były one znacznie mniejsze (nanocząstki).

* ***Cząstki ciała stałego większe od kropel olejowych emulsji***

W przemyśle spożywczym, farmaceutycznym oraz kosmetycznym można spotkać wiele produktów składających się z fazy olejowej i wodnej, które najczęściej tworzą układy dyspersyjne zwane emulsjami. Często w układach tych pojawiają się również cząstki ciała stałego. Z perspektywy jakości produktu ważne jest, aby takie trójfazowe układy pozostawały stabilne, czyli by z czasem nie następował rozdział faz, gdyż taki produkt nie będzie jednolity w całej objętości i może stracić swoje wymagane właściwości. Występować tu mogą zarówno procesy destabilizacji emulsji, takie jak koalescencja kropel i śmietankowanie, jak i proces sedymentacji ciał stałych. O ile stabilność emulsji można utrzymywać przy pomocy różnego rodzaju środków powierzchniowo-czynnych, o tyle proces sedymentacji ciał stałych jest trudniejszy do kontrolowania. Oczywiście istnieją stabilizatory, które dodane do cieczy, wpływają na jej właściwości reologiczne i w ten pośredni sposób zapewniają stabilność układu, jednakże w wielu przypadkach ich zastosowanie jest niemożliwe lub wręcz niekorzystne. Z tego względu, dokładne poznanie procesu sedymentacji ciał stałych
w układach emulsyjnych, staje się podstawą do wprowadzenia modyfikacji zapewniających odpowiednią jakość produktu.

Z drugiej strony, niekiedy zamiast utrzymywania stabilnych układów trójfazowych, zależy nam na ich rozdzieleniu. Taki przypadek ma miejsce przy rozdzielaniu ścieków olejowych od ciał stałych, na przykład ścieków powstałych po procesie obróbki skrawaniem. Ciecze takie są wysoko zemulsyfikowane i zawierają cząstki metali. Rozdzielenie tych układów nie jest łatwe. Przepuszczenie takich substancji przez filtry łączy się z dużymi nakładami energetycznymi, a stosowanie metod chemicznych powoduje powstawanie toksycznych związków. Wszystko to przyczynia się także do dużych kosztów. Z tego względu, najbardziej ekonomiczne, a także ekologiczne, wydaje się poddanie tego typu układów procesom samoistnego rozdziału. O ile proces rozdziału samej emulsji może być trudny do osiągnięcia w ten sposób, o tyle sedymentacja ciał stałych jest jak najbardziej możliwa. Jednakże, aby móc projektować takie procesy, konieczna jest dokładna znajomość mechanizmów występujących podczas sedymentacji ciał stałych w emulsjach.

Proces sedymentacji cząstek ciał stałych w emulsjach jest bardzo złożonym zagadnieniem, a komplikuje się jeszcze bardziej gdy emulsje te są wysokostężone, gdyż wówczas wykazują one właściwości nienewtonowskie. Przypadek taki jest słabo zbadany
w literaturze, dlatego stał się przedmiotem moich kolejnych badań. W pracy **[A11]** przedstawiłam rezultaty przeprowadzonych doświadczeń. Głównym celem moich badań było określenie jaki wpływ na proces sedymentacji mają zarówno parametry emulsji (stężenie, dyspersja, rozmiar kropel), jak i parametry cząstek ciała stałego (ich stężenie w układzie, wielkość, rozkład). Zastosowałam tu techniki pomiarowe oparte na turbidymetrii, co pozwoliło na uchwycenie w czasie zachowania się poszczególnych faz układu. Zaobserwowałam, że intensywność procesu sedymentacji jest zależna od stosunków wielkości i liczby cząstek i kropel. Określiłam, że przy danym stężeniu fazy stałej, a także fazy olejowej emulsji istnieje pewna optymalna wartość stosunku średnic cząstek (dp) i kropel (de), przy której proces sedymentacji zachodzi najbardziej intensywnie. Wartość ta zwiększa się wraz ze wzrostem stężenia fazy stałej. Wzrost stężenia fazy olejowej powoduje natomiast utrzymanie większej stabilności układu, przy dużych wartościach stosunku dp/de.

Wyniki przeprowadzonych prac zostały poddane interpretacji w celu wytłumaczenia zachodzących zjawisk. W rezultacie doprowadziło to do uchwycenia wzajemnej zależności pomiędzy parametrami emulsji oraz parametrami ciała stałego, przy których można spodziewać się zachodzenia procesu sedymentacji z określoną prędkością. Znając te mechanizmy, można sterować właściwościami medium w celu zapewnienia określonej stabilności układu. Jest to niezmiernie ważne z praktycznego punktu widzenia. Ma to znaczenie dla procesów związanych z inżynierią chemiczną (np. oczyszczanie zemulsyfikowanej ropy naftowej z cząstek ciał stałych) lub inżynierii środowiska (np. oczyszczanie zaolejonych ścieków z zanieczyszczeń stałych). Ponadto, prace te mogą się przyczynić do rozwoju świadomego projektowania produktów przemysłu spożywczego, farmaceutycznego oraz kosmetycznego.

* ***Cząstki ciała stałego mniejsze od kropel olejowych emulsji***

Kolejny aspekt podjętych przeze mnie badań dotyczył przypadku, w którym cząstki ciała stałego były znacznie mniejsze od wielkości kropel olejowych. W takiej sytuacji może dochodzić do przylegania cząstek ciała stałego do powierzchni kropel olejowych. Dzięki temu, krople olejowe nie ulegają zjawiskom koalescencji, a emulsje, które są stabilizowane
w ten sposób nazwane są powszechnie emulsjami Pickeringa [7]. Dodatek odpowiednio rozdrobnionego ciała stałego, o określonych właściwościach, do układu emulsyjnego stanowi zatem doskonałą alternatywę dla różnego rodzaju środków powierzchniowo-czynnych, służących powszechnie do utrzymania stabilności. Ma to niezmierne znaczenie w przemyśle spożywczym czy też kosmetycznym, gdzie dąży się do tego by produkt składał się z jak najmniejszej liczby składników i pozbawiony był chemicznych komponentów. Z tego względu emulsje Pickeringa stanowią punkt zainteresowań w wielu dziedzinach. Istnieje ścisła zależność pomiędzy rodzajem, wielkością i stężeniem kropel olejowych oraz ciała stałego a destabilizacją układu. W pracy **[A12]** przedstawiłam badania analizujące te powiązania.

W związku z coraz powszechniejszym wykorzystaniem nanocząstek w różnych dziedzinach, takich jak medycyna, biologia czy przemysł, istnieje rosnące zapotrzebowanie na odpowiednie narzędzia pomiarowe do charakterystyki ich właściwości. Opracowano nowoczesne urządzenia i techniki, takie jak na przykład techniki DLS (Dynamic Light Scattering) lub NTA (Nanoparticle Tracking Analysis), które umożliwiają precyzyjne określanie rozmiaru nawet bardzo małych cząstek. Jednakże, pomiar stężenia nanocząstek
w roztworze, zwłaszcza przy niskim stężeniu i dużej przejrzystości próbki, stanowi nadal duże wyzwanie. Istniejące metody oceny stężenia nanocząstek są złożone i wymagają użycia skomplikowanych technik pomiarowych, co sprawia, że związane z nimi urządzenia są drogie i trudne w obsłudze.

W pracy **[A12]** zaproponowałam alternatywną metodę określania stężenia nanocząstek w roztworze. Wykorzystałam zależność między szybkością destabilizacji emulsji Pickeringa, a stężeniem ich fazy wewnętrznej oraz zawartością nanocząstek. Przedstawiłam również praktyczne zastosowanie tej metody, poprzez określenie stężenia nanocząstek w roztworze wodnym po procesie dyfuzji (wykorzystywana została ona w badaniach eksperymentalnych przy pracy **[A8]**).

Zaproponowana technika charakteryzuje się zadowalającą dokładnością, szczególnie biorąc pod uwagę fakt, że wyniki, uzyskane nawet za pomocą drogich i zaawansowanych technologicznie urządzeń, często są obarczone pewnym błędem pomiarowym. Warto zaznaczyć, że w pracy **[A12]** przedstawiono również pewne ograniczenia tej metody. Niemniej jednak, jej zaletami są prostota i brak konieczności posiadania specjalistycznego sprzętu. W obliczu ciągłego rozwoju technik pomiarowych, proste metody analityczne wciąż cieszą się dużym zainteresowaniem ze względów ekonomicznych.

Podsumowując, moje osiągnięcie habilitacyjne odnosi się do kompleksowych badań transportu emulsji przez struktury porowate. Przez wiele lat przeprowadzałam różnorodne prace badawcze, które obejmowały różne aspekty tego zagadnienia. Skoncentrowałam się na analizie transportu przez złoża ziarniste, przepływie emulsji w mikrokapilarach, migracji nanoukładów przez przegrody oraz zachowaniu się układów emulsyjnych podczas procesu nasiąkania lub w obecności cząstek ciała stałego. W moich badaniach skupiłam się zarówno na przepływach grawitacyjnych, jak i wymuszonych, oraz uwzględniłam emulsje o różnym stężeniu fazy wewnętrznej. Wykorzystałam różne metody badawcze, takie jak przepływ
w kolumnach pomiarowych, testy dyfuzyjne, badania mikrokapilarne, symulacje numeryczne oraz nowoczesne techniki druku 3D, aby stworzyć struktury porowate o zróżnicowanej geometrii. Wyniki tych prac posłużyły do opracowania modeli matematycznych, które umożliwiają lepsze zrozumienie i prognozowanie procesów transportu emulsji. W każdej
z moich prac skupiałam się na innych aspektach transportu emulsji przez struktury porowate, starając się wyjaśnić nowe mechanizmy i zjawiska. Wyniki moich rozważań dostarczają istotnej wiedzy na temat dynamiki transportu emulsji przez struktury porowate. Opracowane modele matematyczne umożliwiają prognozowanie procesów oraz optymalizację transportu emulsji w praktycznych zastosowaniach. W mojej ocenie, przeprowadzone przeze mnie badania mają znaczenie dla rozwoju inżynierii chemicznej oraz znajdują zastosowanie
w różnych dziedzinach, gdzie transport emulsji odgrywa kluczową rolę.

# 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. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

### 5.1.1. Działalność naukowa przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora

Od najmłodszych lat bliskie mi były nauki ścisłe, a moje zainteresowania budziła inżynieria, chemia oraz problemy ochrony środowiska i wybrane aspekty ekonomii. W 2008 roku ukończyłam na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej jednolite studia magisterskie i obroniłam pracę magisterską pt. „Sprawdzenie modyfikacji modelu Sęk-Krynke do przewidywania własności reologicznych zawiesin”. Już wówczas zafascynowała mnie złożoność zagadnień związanych z układami wielofazowymi. Praca magisterska poświęcona była reologii zawiesin, jednak w trakcie rozważań teoretycznych zwróciły moją uwagę kwestie związane z wzajemnymi interakcjami faz układu. Szczególnie ciekawe wydały się procesy przemieszczania się poszczególnych elementów
w złożonych systemach, jakimi są struktury porowate. Z tego względu podjęłam się badań nad procesem nasiąkania, a wyniki tych prac przedstawiłam na, pierwszej w moim życiu, ogólnopolskiej konferencji XX Jubileuszowa Konferencja Naukowa Inżynierii i Aparatury Chemicznej.

Pracę doktorską pt. „Badanie procesów migracji substancji ropopochodnych i ich emulsji w strukturach porowatych” obroniłam w 2014 roku, również na Wydziale Inżynierii Chemicznej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej, a promotorem był śp. dr hab. Jerzy Sęk, prof. PŁ. Wybrałam ten temat, gdyż łączył ze sobą moje rozbudzone zainteresowanie transportem układów wielofazowych oraz aspekty ochrony środowiska. Substancje ropopochodne wykazują właściwości kancerogenne, mutagenne oraz działają toksycznie na organizmy żywe. Badania nad przewidywaniem migracji tych substancji w gruncie, stanowiły zatem dla mnie ogromne wyzwanie, któremu mogłam poświęcić się z całym przekonaniem. Prace te skupione były głównie na analizie procesu grawitacyjnego i ciśnieniowego wymywania różnego typu substancji wysokolepkich ze struktur porowatych, za pomocą różnego rodzaju roztworów powierzchniowo-czynnych.

Rezultatem tych badań było opublikowanie 11 prac z czego 2 w czasopismach z tzw. listy filadelfijskiej **[C2, C3]** oraz 6 publikacji będących w roku wydania w wykazie listy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego **[C4 – C9]**.

W 2012 roku zostałam laureatem projektu „Stypendia naukowe dla najlepszych doktorantów z zakresu nowych technologii” - finansowanego z Europejskiego Funduszu Społecznego i środków budżetu Państwa w ramach priorytetu VIII Regionalne Kadry Gospodarki; Działania 8.2 Transfer Wiedzy; Podziałania 8.2.1. Wsparcie dla współpracy sfery nauki i przedsiębiorstw, Łódź.

W roku 2013 uzyskałam grant z Narodowego Centrum Nauki w programie PRELUDIUM pt. „Badania hydrodynamiki i kinetyki przepływu oraz elucji wysokolepkich emulsji z mediów porowatych”, nr rej. 2012/05/N/ST8/03798, który kontynuowałam po uzyskaniu stopnia doktora.

W latach 2011 – 2014 otrzymywałam także Stypendia dla Najlepszych Doktorantów tzw. Stypendium Rektora Politechniki Łódzkiej oraz stypendium z dotacji podmiotowej tzw. Stypendium Projakościowe Politechniki Łódzkiej.

Podczas moich studiów magisterskich i doktoranckich, w latach 2004 – 2008 oraz 2010 – 2014, nie tylko skupiałam się na prowadzonych przeze mnie badanach, ale także aktywnie uczestniczyłam w życiu akademickim, poprzez zaangażowanie w Samorząd Studencki i Doktorancki. W ramach tej działalności współtworzyłam i uczestniczyłam
w organizacji różnorodnych wydarzeń kulturalnych, naukowych i społecznych (takich jak pomoc w organizacji Festiwali Nauki, Techniki i Sztuki (2010, 2013), uczestnictwo w targach edukacyjnych, udział w akcjach promujących Uczelnię itp.). Moje zaangażowanie
w działanie Samorządów umożliwiło mi rozwijanie umiejętności przywódczych, pracy zespołowej oraz komunikacji.

### 5.1.2. Działalność naukowa po uzyskaniu stopnia naukowego doktora

Moja działalność naukowa związana jest z procesami zachodzącymi w układach wielofazowych, głownie transportem emulsji przez struktury porowate. Jednakże, w trakcie prowadzenia tych prac pojawiały się także inne przedstawione poniżej wątki, które stanowiły ważne aspekty mojej pracy naukowej. Ogólnie zagadnienia, które podejmowałam po uzyskaniu stopnia doktora można podzielić na następujące kategorie:

* **Transport emulsyjnych nośników substancji bioaktywnych w strukturach skórnych**

Badania te były realizowane w ramach grantu uzyskanego z Narodowego Centrum Nauki w programie SONATA 15, nr rej. 2019/35/D/ST8/01033, którego jestem kierownikiem. Celem projektu jest opracowanie metody oraz oceny bezinwazyjnego wprowadzania emulsyjnych nośników substancji bioaktywnych w struktury skórne.
W ramach tego tematu zaplanowano wykonanie serii wieloetapowych badań umożliwiających wniknięcie w strukturę skóry i pozwalających na uchwycenie mechanizmów zachodzących podczas transportu przez nią układów dyspersyjnych. Pierwszy etap prac dotyczył dwuwymiarowego śledzenia przemieszczania się układów emulsyjnych, przy wykorzystaniu specjalnie stworzonych sieci kapilarnych. Kolejny etap opierał się na badaniu migracji emulsji w trójwymiarowych strukturach modelowych, stworzonych przy wykorzystaniu druku 3D. Następnie tworzone były układy w mniejszej skali i przeprowadzane doświadczenia przy wykorzystaniu komór dyfuzyjnych. Uzyskane wyniki badań eksperymentalnych stały się podstawą do modelowania numerycznego, co pozwoliło na uwzględnienie również tych czynników mających wpływ na transport, które nie mogły zostać uchwycone podczas prac doświadczalnych. Ideą tej metody jest powiązanie struktury skóry z parametrami nośnika emulsyjnego i transportowanych substancji bioaktywnych. Pozwoli to na określenie, jakiego rodzaju substancje mogą być nanoszone na nośniki emulsyjne o określonych właściwościach
i na jaką odległość są w stanie się przemieścić w konkretnej strukturze skóry.

W ramach projektu utworzony został zespół badawczy, opublikowano 7 artykułów
z listy filadelfijskiej **[A7, A8, A9, A10, A11, A12]** oraz 2 rozdziały w monografii **[B1, B2]**. Ponadto pod moją opieką powstało 10 prac dyplomowych z tego zakresu badań **[M1, I1-I9]**.

* **Wykorzystanie druku 3D do badań mikrokapilarnych**

Badania transportu emulsji w mikrokapilarach były pierwszym etapem związanym
z realizacją projektu NCN Sonata 15, nr rej. 2019/35/D/ST8/01033 pt. Bezinwazyjne wprowadzanie emulsyjnych nośników substancji bioaktywnych do struktur skórnych. Badania te rozpoczęłam od stworzenia stanowiska do analiz mikrokapilarnych, w którym najważniejszą część stanowiły tak zwane mikrochipy, czyli płytki zawierające układy kapilar, przez które odbywał się przepływ. Komercyjnie pozyskiwane mikrochipy mają ograniczoną strukturę kapilar i są kosztowne. Obiecujące możliwości swobodnego kształtowania układu sieci kapilar oraz względy ekonomiczne, stały się podstawą do podjęcia prac związanych
z wykorzystaniem druku 3D do tworzenia mikrochipów, na cele badań mikrokapilarnych. Było to trudnym wyzwaniem, gdyż wydrukowane kapilary musiały odznaczać się wysoką przepustowością, jednolitością oraz płytki musiały być odpowiednio transparentne, aby możliwe było śledzenie przepływu. Wykorzystano w tym celu drukarkę XFAB 2500PD opierająca się technologii stereolitografii. Dzięki opracowaniu odpowiedniej techniki druku
i obrabiania gotowych wydruków, możliwe było tworzenie zaprojektowanych struktur kapilarnych, co rozwinęło możliwości badawcze i znacznie wpłynęło na redukcję kosztów. Prace te można uznać jako duży sukces, szczególnie biorąc pod uwagę rozwijający się dział nauki bazujący na badaniach w mikrokanałach (mikroreaktory, mikromieszalniki, generatory kropel, itp.).

W ramach tych badań powstały pod moją opieką 2 prace dyplomowe **[I5, I6]**,
a przepływy z wykorzystaniem wydrukowanych struktur były prezentowane w publikacjach **[A7, A8, B1, B2]**.

* **Preparatyka makro i nanoemulsji**

Praca z emulsjami wymagała umiejętności tworzenia stabilnych układów dyspersyjnych o zadanych parametrach. Wymagało to przeprowadzenia licznych badań dotyczących procesu emulgacji, przy wykorzystaniu różnorodnych środków powierzchniowo-czynnych oraz metod preparacji próbek. W celu uzyskania makroemulsji wykorzystano głównie metody emulsyfikacji mechanicznej, a wpływ parametrów emulgowania na jakość produktu przedstawiono w pracy **[B6]**.

Jedną z metod tworzenia wysoko monodyspersyjnej emulsji jest stosowanie w tym celu układów mikrokapilar, tzw. generatorów kropel. Wykorzystując możliwości druku 3D do tworzenia zadanych struktur kapilarnych, stworzone były odpowiednie układy
i przeprowadzone zostały badania pod kątem generacji emulsji. Wyniki tych prac były zaprezentowane także w pracy dyplomowej **[I3]**, której byłam opiekunem.

Chcąc śledzić procesy migracji nośników leków w strukturach imitujących budowę skóry, konieczna była umiejętność tworzenia nanoemulsji. Jest to trudne wyzwanie, wymaga odpowiedniej preparatyki próbki oraz zastosowania wysokoenergetycznej metody homogenizacji. W tym celu wykorzystany został dezintegrator ultradźwiękowy o wysokiej mocy. Zastosowanie odpowiedniej metody przygotowania próbki oraz odpowiedni dobór parametrów układu pozwolił na uzyskanie stabilnych systemów emulsyjnych, w których średnia średnica kropel nie przekraczała wartości 150 nm.

* **Badania stabilizacji emulsji kosmetycznych i spożywczych z wykorzystaniem niekonwencjonalnych emulgatorów**

Badania związane z opracowaniem najbardziej efektywnej metody tworzenia układów emulsyjnych, były w dużej mierze nakierowane nie tylko na osiągnięcie odpowiedniej struktury cieczy, ale także na utrzymanie jej stabilności w czasie. Emulsje takie nie mogły ulegać samoistnym procesom rozdziału, w tym koalescencji i śmietankowania. Konieczny był zatem dobór odpowiednich emulgatorów, zapewniających zmniejszenie napięcia powierzchniowego podczas procesu tworzenia układów, ale także utrzymanie struktury po ich utworzeniu. Jednym z najbardziej obiecujących, pod kątem braku toksyczności i ingerencji
w skład, jest wykorzystanie jako emulgatora nanocząstek ciała stałego. Ma to szczególne znaczenie dla przemysłu spożywczego i kosmetycznego, gdzie dąży się, aby składnik stabilizujący układ był jak najmniej ingerujący we właściwości produktu. Z tego względu kolejnym aspektem badawczym, który prowadziłam było badanie stabilności oraz potencjału wykorzystania tzw. emulsji Pickeringa.

Wyniki tych badań opublikowane zostały w artykule **[A12]** oraz były również przedmiotem pracy magisterskiej **[M3]** oraz pracy inżynierskiej **[I10]**.

* **Deemulgacja fazy olejowej z emulsyjnych cieczy chłodzących**

W wielu praktycznych przypadkach dąży się do jak najbardziej efektywnego rozdzielenia układów emulsyjnych. Taka sytuacja ma miejsce w przemyśle maszynowym, gdzie stosuje się różnego rodzaju chłodziwa, które w połączeniu z substancjami smarującymi tworzą emulsje. Ciecze takie stanowią odpad, który musi zostać poddany utylizacji. Koszt takiego procesu jest często bardzo wysoki, dlatego dąży się do poszukiwania szybkich metod rozdziału faz, w którym faza wodna będzie mogła zostać oczyszczona w przyzakładowych oczyszczalniach ścieków, a utylizacji poddana zostanie tylko faza olejowa. Z tego względu podjęłam się badań mających na celu opracowanie szybkiej i efektywnej metody deemulgacji, z wykorzystaniem metod chemicznych oraz metod opartych na procesach sorpcji.

Temat ten jest związany z realizowaną pracą doktorską pt. „Intensyfikacja procesów chemicznego rozdziału faz w emulsyjnych cieczach chłodzących”, której jestem promotorem pomocniczym. Wyniki tych badań zostały opublikowane w artykułach **[B8, B10]**. Ponadto, powstały również pod moją opieką: praca magisterska **[M2]** oraz praca inżynierska **[I7]**.

Dodatkowo, w ramach tej tematyki badań, nawiązana została także współpraca
z firmą C.H. Erbslöh Polska Sp. z o.o. Przeprowadziliśmy szereg eksperymentów, analizując wydajność i skuteczność różnorodnych substancji deemulgujących. Badania obejmowały ocenę: zdolności substancji do rozdzielania fazy olejowej w emulsyjnych cieczach obróbkowych, a także wpływu tych substancji na jakość i czystość oczyszczonej fazy wodnej. W ramach tej współpracy otrzymywaliśmy specjalnie skomponowane różnorodne substancje chemiczne, które wykazywały właściwości deemulgujące. Celem naszych badań było ustalenie najbardziej skutecznego produktu do rozdzielania układów emulsyjnych, stanowiących odpad poprodukcyjny w procesie obróbki skrawaniem oraz określenie warunków przy jakich proces deemulgacji powinien być prowadzony (stężenie, pH, temperatura, czas rozdziału itp.). Najbardziej efektywne okazały się substancje na bazie glinokrzemianów. Zaproponowano konkretną procedurę badawczą, dzięki której proces deemulgacji zachodził z największą intensywnością w najkrótszym czasie.

* **Sedymentacja ciał stałych w układach emulsyjnych**

Często, w różnego rodzaju ściekach emulsyjnych, znajdują się również cząstki ciała stałego, tak jak na przykład w emulsjach obróbkowych mogą występować opiłki metalu. Elementy takie, ze względu na swój ciężar ulegają sedymentacji, jednakże obecność kropel olejowych emulsji zakłóca ten proces. Krople fazy wewnętrznej mogą natomiast ulegać procesowi śmietankowania. Sytuacja staje się bardziej skomplikowana, gdy emulsja jest wysokostężona, gdyż wówczas wykazuje właściwości cieczy rozrzedzanej ścinaniem. Ponadto, gdy cząstki ciała stałego stanowią wysoko stężoną zawiesinę, wówczas układ ten może wykazywać właściwości cieczy zagęszczanych ścinaniem. Przewidywanie szybkości rozdziału faz w takim układzie staje się bardzo złożone, ale ma znaczenie nie tylko dla procesów oczyszczania ścieków, ale również dla zachowania właściwości produktów składających się z wielu faz (produkty spożywcze, kosmetyczne). Z tego względu podjęłam się prac dotyczących tych zagadnień. Wyniki badań nad procesem sedymentacji mikrocząstek ciała stałego w wysokostężonych emulsjach zostały opublikowane w pracy **[A11]**. Powstała także praca dyplomowa **[I10]** z tego zakresu.

Badania te prowadzone były także przy współpracy z przedstawicielem z Instytutem Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 36, 02-532 Warszawa, pod kątem oczyszczania ścieków olejowych z przemysłu spożywczego.

* **Nasiąkanie struktur porowatych**

Innym aspektem badań związanych z przepływem emulsji w mediach porowatych, który zyskał moje zainteresowanie, były mechanizmy procesu nasiąkania struktur porowatych. Analizie poddawane były, zarówno struktury zwarte, ziarniste jak i włókniste,
a medium ulegającym procesowi samoistnego nasiąkania były wysoko i nisko lepkie ciecze jednofazowe oraz substancje wielofazowe, w tym emulsje. Badano także wpływ, dodatków różnego rodzaju, środków powierzchniowo-czynnych na dynamikę procesu. Uzyskane wyniki poddawane były analizie i modelowaniu matematycznemu, w celu przewidywania szybkości zjawiska i ewentualnych zmian struktury cieczy. Zagadnienia te są szczególnie istotne
w przemyśle farbiarskim, kosmetycznym, spożywczym i papierniczym. W ramach tych badań opublikowano: 7 prac, w tym 4 artykuły z tzw. listy filadelfijskiej **[B3, B4, B5, B6]**.

* **Reologia układów dyspersyjnych**

Analizując procesy transportu układów emulsyjnych, nie można pominąć wpływu ich właściwości reologicznych na przepływ. Z tego względu badania dotyczące reologii układów dyspersyjnych stanowią również moje pole zainteresowań naukowych. Układy emulsyjne mają złożone właściwości reologiczne. Krople emulsji w trakcie przepływu ulegają spłaszczeniu, rozciąganiu i wzajemnym interakcjom. Ponadto, po przekroczeniu stężenia 50%, wykazują one właściwości cieczy nienewtonowskich rozrzedzanych ścinaniem. Wysokostężone zawiesiny natomiast potrafią przejawiać cechy cieczy zagęszczanych ścinaniem. Opis właściwości lepkich takich układów jest skomplikowany, gdyż należy brać pod uwagę zarówno ścinanie jakiemu poddany jest płyn, jak również udział fazy wewnętrznej. W ramach badań dotyczących reologii emulsji opracowany został model reologiczny, który uwzględnia zarówno właściwości struktury emulsji jak i szybkość ścinania. Model ten został zaprezentowany w pracy **[B7]** i wykorzystywany przy modelowym opisie transportu wysokostężonych emulsji przez struktury porowate **[A5]**. Problematyka reologii układów dyspersyjnych została przedstawiona także w pracach **[C4, C8]**.

W ramach poszerzania swojej wiedzy z zakresu reologii układów dyspersyjnych, jestem członkiem Polskiego Towarzystwa Reologii Technicznej, a wyniki swoich prac niejednokrotnie prezentowałam na międzynarodowych i ogólnopolskich konferencjach poświęconych tematyce reologii płynów **[K1, K11, K17, K23, K24, K27]**.

* **Migracja substancji ropopochodnych w strukturach porowatych**

Zagadnienia migracji substancji ropopochodnych w strukturach porowatych były tematem moich badań związanych z rozprawą doktorską, jednakże moje zainteresowanie tym tematem nie wygasło. W sytuacji, gdzie światowe zapotrzebowanie energetyczne rośnie, pozyskiwanie produktów naftowych, również z niekonwencjonalnych źródeł, jakimi są łupki bitumiczne i pisaki roponośne, nabiera kluczowego znaczenia. Opracowywane są coraz to nowsze metody intensyfikacji wydobycia ropy naftowej, zapewniające jak najwyższą efektywność wydobycia. Z tego względu problematyka związana z przemieszczaniem się substancji ropopochodnych, w rożnego rodzaju strukturach porowatych, jest ciągle przedmiotem badań w wielu ośrodkach naukowych. Z drugiej strony, obecność produktów przemysłu petrochemicznego w ekosystemie, przyczynia się do zwiększenia prawdopodobieństwa skażenia gruntu substancjami ropopochodnymi. Umiejętność przewidywania przemieszania się takich płynów w glebach może być kluczowa dla ochrony środowiska naturalnego. Biorąc pod uwagę te aspekty, równolegle prowadziłam prace związane z dynamiką transportu substancji ropopochodnych, szczególnie w obecności różnego typu roztworów powierzchniowo-czynnych, choć główny nacisk kładłam na powstające emulsje.

W ramach tych badań opublikowane zostało 10 prac, w tym 4 z listy filadelfijskiej **[A1, B9, C1, C2]** natomiast 11 prac, w tym 4 z tzw. listy filadelfijskiej **[A2, A3, A4, A5]**, było poświęcone dynamice przepływu emulsji, w kontekście intensyfikacji wydobycia ropy naftowej.

## 5.2. Udział w projektach badawczych

Podczas swojej działalności naukowej byłam kierownikiem dwóch projektów badawczych:

1. Grantu NCN **SONATA 15** „Bezinwazyjne wprowadzanie emulsyjnych nośników substancji bioaktywnych do struktur skórnych”, nr rej. 2019/35/D/ST8/01033, czas realizacji: 2020 – 2024r.

Celem projektu jest określenie możliwości beziniekcyjnego wprowadzania nanonośników leków, na bazie emulsji, w struktury skórne. Idea projektu opiera się na połączeniu wiedzy z zakresu transportu układów rozproszonych w strukturach porowatych i odniesienie jej do mikrostruktur skóry. Prace poradzone są zarówno
w skali makro jak i mikro, w układzie 2D oraz 3D, wykorzystywane są także programy komputerowe pozwalające uwzględnić te parametry, które nie mogły zostać uchwycone podczas eksperymentów.

Osiągnięcia te w dalszej perspektywie, mogą stać się podstawą do opracowywania nowych preparatów medycznych i farmaceutycznych, które wyjdą naprzeciw ciągle rozwijającym się chorobom cywilizacyjnym.

1. Grantu NCN **PRELUDIUM** „Badania hydrodynamiki i kinetyki przepływu oraz elucji wysokolepkich emulsji z mediów porowatych”, nr rej. 2012/05/N/ST8/03798, czas realizacji: 2013 – 2016r.

Celem projektu było zbadanie wpływu emulsji, wykazujących cechy cieczy nienewtonowskich rozrzedzanych ścinaniem, na proces ich transportu przez media porowate. Przeprowadzone badania eksperymentalne oraz opracowane na ich podstawie modele, dostarczają wiarygodnych danych oraz przydatnych narzędzi niezbędnych do prognozowania rozprzestrzeniania się cieczy wielofazowych
w mediach porowatych. Ma to niezmierne znaczenie, między innymi dla rozwoju metod intensyfikacji wydobycia ropy naftowej, przewidywania migracji substancji ropopochodnych w gruntach, filtracji układów olejowych na koalescerach, czy też opisu zjawisk występujących przy przepływach płynu w reaktorach z wypełnieniem.

## 5.3. Współpraca naukowa z innymi jednostkami

Podczas swojej działalności naukowej nawiązałam współpracę z Instytutem Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego
– Państwowy Instytut Badawczy, ul. Rakowiecka 36, 02-532 Warszawa. Tematyka podejmowanych zagadnień była związana z aspektami dynamiki transportu układów wielofazowych, głównie pod kątem oczyszczania ścieków olejowych lub procesów nasiąkania struktur porowatych.

W okresie 15.03.2023 – 15.04.2023, odbyłam staż badawczy pod kierownictwem dr inż. Magdaleny Wróbel – Jędrzejewskiej – kierownika Pracowni Chłodnictwa i Ochrony Środowiska, Zakładu Technologii i Techniki Chłodnictwa, Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego – Państwowy Instytut Badawczy. Wynikiem odbytego stażu było przeprowadzenie prac z zakresu dynamiki rozprzestrzeniania się ścieków olejowych. Wyniki tych badań stanowią podstawę do opracowania publikacji naukowej pt. „Dynamics of the phenomenon of immiscible viscous fingering in porous media - experimental studies and model description”, która została wysłana do opublikowania
w czasopiśmie Environmental Science and Pollution Research, Springer.

Należy podkreślić, że pomimo iż odbyty staż miał miejsce dopiero w 2023 roku, to współpraca z Instytutem Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego rozpoczęła się już od końca 2019 roku. Efektem tego jest opublikowanie
7 prac z tzw. listy filadelfijskiej **[A6, A7, A8, A10, A11, A12, B9]** z drugą afiliacją ww. Instytutu. Odbycie stażu badawczego w latach 2020 – 2022 było niezmiernie utrudnione poprzez, panującą w tym czasie, pandemię COVID-19. Z tego względu nawiązana współpraca z Instytutem miała formę wspólnego podejmowania zagadnień badawczych, wymiany pomysłów i wyników przeprowadzonych doświadczeń oraz publikowania rezultatów tych prac. Po dwóch latach takiej współpracy, gdy warunki epidemiologiczne na to pozwoliły, możliwe było odbycie rzeczywistego stażu, w ramach którego poznałam specyfikę badań podejmowaną przez Zakład Technologii i Techniki Chłodnictwa ww. Instytutu oraz narzędzia i aparaturę laboratoryjną, która jest w wykorzystywana do tych badań. Zapoznałam się także z metodologią badawczą oraz procedurami laboratoryjnymi stosowanymi
w Zakładzie, co pozwoliło mi efektywniej współpracować z zespołem badawczym oraz aktywniej zaangażować się we wspólne prace badawcze. Biorąc pod uwagę wcześniejszą dwuletnią współpracę z Instytutem, czas trwania stażu był wystarczający by zdobyć odpowiednią wiedzę, co pozwoliło na osiągnięcie konkretnych i wartościowych wyników naukowych oraz na opracowanie publikacji naukowej.

## 5.4. Recenzje artykułów w czasopismach naukowych

* + International Journal of Molecular Sciences; 2022, IF: 5,6 (2 recenzje)
	+ [Foods](https://www.mdpi.com/journal/foods), 2022, IF:5,2;
	+ CNS & Neurological Disorders - Drug Targets, 2017; IF: 3,0
	+ [Ecological Engineering](http://www.journals.elsevier.com/ecological-engineering/), 2016, IF: 3,8
	+ Journal of Konbin, 2023, MEiN: 40

## 5.5. Nagrody i wyróżnienia

* Nagroda wspierająca doskonałość naukową w ramach programu „Inicjatywa doskonałości-uczelnia badawcza” za II kwartał roku 2022,
* Nagroda wspierająca doskonałość naukową w ramach programu „Inicjatywa doskonałości-uczelnia badawcza” za IV kwartał roku 2022,
* Stypendium w ramach projektu „Stypendia naukowe dla najlepszych doktorantów
z zakresu nowych technologii” - finansowanego z Europejskiego Funduszu Społecznego i środków budżetu Państwa w ramach priorytetu VIII Regionalne Kadry Gospodarki; Działania 8.2 Transfer Wiedzy; Podziałania 8.2.1. Wsparcie dla współpracy sfery nauki i przedsiębiorstw, Łódź, 2012,
* Stypendium Rektora PŁ dla najlepszych doktorantów, Politechnika Łódzka, 2011
– 2014,
* Stypendium z dotacji projakościowej w trakcie trwania studiów doktoranckich, Politechnika Łódzka, 2011 – 2014.

# 6. Działalność dydaktyczna i popularyzatorska

## 6.1. Prowadzone zajęcia dydaktyczne

Prowadziłam następując zajęcia dydaktyczne na Wydziale Inżynierii Procesowej
i Ochrony Środowiska, Politechniki Łódzkiej:

**Zajęcia prowadzone na II stopniu studiów**

* Reaktory heterofazowe – kierownik przedmiotu
	+ Wykład, projekt i ćwiczenia – kierunek Inżynieria Chemiczna i Biochemiczna, studia stacjonarne
* Migration of Contaminations in Soils – zajęcia prowadzone w języku angielskim
	+ Projekt – kierunek Inżynieria Procesowa oraz Inżynieria Środowiska, studia stacjonarne i niestacjonarne

**Zajęcia prowadzone na I stopniu studiów**

* Podstawy działalności gospodarczej – kierownik przedmiotu
	+ Wykład, ćwiczenia i projekt – kierunek Inżynieria Procesowa, Inżynieria Biochemiczna, studia stacjonarne i niestacjonarne
* Ekonomia i zarządzanie – kierownik przedmiotu
	+ Wykład, ćwiczenia i projekt – kierunek Inżynieria Środowiska, studia stacjonarne i niestacjonarne
* Mechanika płynów i wymiana ciepła
	+ Wykład i ćwiczenia – kierunek Inżynieria Bezpieczeństwa Pracy, studia stacjonarne i niestacjonarne
* Mechanika płynów
	+ Ćwiczenia i laboratorium – kierunek Inżynieria Procesowa, Inżynieria Środowiska, studia stacjonarne
* Przetwórstwo tworzyw sztucznych
	+ Ćwiczenia i projekt – kierunek Inżynieria Procesowa, studia stacjonarne
* Projektowanie sieci hydraulicznych
	+ Projekt – kierunek Inżynieria Procesowa, Inżynieria Środowiska, studia stacjonarne

## 6.2. Opieka promotorska prac dyplomowych

Od 2018 roku jestem **promotorem pomocniczym** pracy doktorskiej pt. „Intensyfikacja procesów chemicznego rozdziału faz w emulsyjnych cieczach chłodzących” wykonywanej przez mgr inż. Piotra Pacholskiego (promotorem głównym był śp. dr hab. Jerzy Sęk, prof. PŁ, po śmierci promotora (03.2023r.) funkcję tę przejęła dr hab. inż. Magdalena Orczykowska).

W latach 2018 – 2023 byłam opiekunem 3 prac magisterskich oraz 13 prac inżynierskich:

**Prace magisterskie**

M1. Aleksandra Budzyń: Transport nanoukładów przez struktury imitujące warstwy skóry ludzkiej, 2023

M2. Judyta Szychowska: Wpływ środków powierzchniowo-czynnych na rozdział faz w emulsyjnych cieczach chłodzących, 2018

M3. Dominika Gzik: Wpływ dodatku ciał stałych na stabilność emulsji typu o/w, 2018

**Prace Inżynierskie**

I1. Michał Szymański, Identyfikacja i analiza zagrożeń występujących podczas pracy w laboratorium przepływów mikrokapilarnych, 2023

I2. Aleksandra Budzyń: Badanie oporów występujących w przewężeniach kapilarnych

 podczas przepływu cieczy emulsyjnych, 2022

I3. Patrycja Gościniak: Badanie dynamiki transportu układów emulsyjnych przez

 krzyżowe struktury kapilarne, 2022

I4. Anita Bartosik: Badanie procesu dyfuzji nanocząstek poprzez membrany imitujące

 struktury skórne, 2022

I5. Michalina Sutowicz: Badanie przepuszczalności struktur rozgałęzionych kanałów

 kapilar wykonanych za pomocą druku 3D, 2022

I6. Weronika Bałdys: Badanie oporów przepływu w zbieżno-rozbieżnych kanałach

 kapilarnych wykonanych z wykorzystaniem druku 3D, 2022

I7. Łucja Fortuna: Transport układów emulsyjnych w sieci kapilar imitujących

 struktury skórne, 2021

I8. Anna Stasiak: Badanie redukcji zanieczyszczeń chemicznych i biochemicznych

 przy deemulgacji chłodziw emulsyjnych, 2021

I9. Joanna Kapuścińska: Badanie kinetyki procesu nasiąkania materiałów

 polimerowych substancjami wielofazowymi, 2021

I10. Alicja Chrapek: Badanie kinetyki destabilizacji emulsji i zawiesin

 kosmetycznych, 2021

I11. Grzegorz Ogrodnik: Badanie szybkości sedymentacji mikrocząstek w układach

 wielofazowych, 2020

I12. Aleksandra Rosel: Badanie procesu koalescencji emulsji w zależności od

 zmiennych parametrów emulgowania, 2019

I13. Klaudia Gawkowska, Badanie zmian struktury emulsji podczas przenikania przez

 warstwy skórne, 2018

## 6.3. Recenzje prac dyplomowych

R1. Karolina Sitkiewicz: Ocena skuteczności działania oraz projekt odwodnienia

 parkingu w Płocku przy użyciu programu EPA SWMM, 2023

R2. Natalia Szczur: Wpływ zmian lepkości na szybkość procesu rozdzielania faz
 w emulsjach, 2021

R3. Aleksandra Jóźwiak: Wpływ substancji mineralnych na stabilność układów

 emulsyjnych, 2021

R4. Klaudia Rosiak: Badanie przesiąkania emulsji przez warstwy porowate, 2021

## 6.4. Popularyzacja nauki

Jestem współautorem monografii popularnonaukowej o tytule "Emulsje ropy naftowej zagrażające środowisku" **[C1]**, w której przedstawiłam problem skażeń gruntu substancjami ropopochodnymi. Poprzez tę publikację, starałam się zwiększać świadomość ekologiczną
i edukować odbiorców na temat negatywnych skutków nieodpowiedniego gospodarowania surowcami naturalnymi.

Jako część mojej działalności w popularyzacji nauki, angażuję się również
w prowadzenie wykładów dla uczniów szkół średnich. Prezentowane przeze mnie wystąpienie nosi tytuł "Nanoleki - mali bojownicy w wielkiej sprawie zdrowia". W trakcie tego wykładu przedstawiam fascynujący świat nanotechnologii i jej potencjalne zastosowania w dziedzinie medycyny. Moim celem jest nie tylko przekazanie wiedzy, ale również zainteresowanie młodych ludzi światem nauki oraz inspirowanie do zdrowego stylu życia
i dbania o środowisko naturalne.

Dzięki mojej działalności akademickiej staram się aktywnie przyczyniać do kształtowania świadomości ekologicznej społeczeństwa. Wierzę, że popularyzacja nauki jest kluczowym narzędziem do budowania lepszego i bardziej zrównoważonego świata.

## 6.5.Działalność organizacyjna

W ramach działalności organizacyjnej pełnię następujące funkcje:

* Pełnomocnik Dziekana do spraw pomocy materialnej (od 10.2022r., wcześniej członek komisji)

- pełniąc tę funkcję, wyrażam moje głębokie zaangażowanie w tę działalność. Moim priorytetem jest, aby każdy student miał równą szansę na rozwój akademicki, niezależnie od swojej sytuacji materialnej. Dlatego podejmuję wszelkie starania, aby zapewnić wsparcie finansowe w sytuacjach trudnych i zwiększyć dostępność środków pomocowych dla potrzebujących studentów. Ponadto, pragnę, aby osiągnięcia
w nauce były odpowiednio doceniane i gratyfikowane poprzez przydzielanie odpowiednich stypendiów wspierających rozwój młodych ludzi. Moje zaangażowanie w tę dziedzinę wynika z głębokiego przekonania, że inwestowanie w edukację jest inwestycją w przyszłość społeczeństwa.

* Pełnomocnik Dziekana do spraw równości płci (od 10.2021r.)

- moja praca, w ramach tej funkcji, obejmuje promowanie świadomości i edukację
w zakresie równouprawnienia, jak również monitorowanie i zwalczanie wszelkich przejawów dyskryminacji. Współpracuję z innymi pracownikami uczelni, organizacjami studenckimi i różnymi instytucjami, aby budować kulturę szacunku, zrozumienia i równości. Szczególny nacisk kładę na ważność równouprawnienia
i eliminację wszelkich form nietolerancji. Wierzę w to, że każda osoba ma prawo do równych szans i godnego traktowania. Dążę do stworzenia środowiska, w którym każdy może rozwijać swoje talenty i osiągać swoje cele, niezależnie od płci czy jakiejkolwiek innej cechy osobistej. Dokładam starań, aby równość była nie tylko deklaracją, ale rzeczywistością, która przyczynia się do rozwoju i sukcesu społeczności akademickiej.

## 6.6.Zainteresowania pozanaukowe

Posiadam wiele zainteresowań, które wypełniają mój czas, ale spośród nich najwięcej uwagi i zaangażowania poświęcam ekonomii, psychologii, filozofii, grom logicznym
i zdrowemu trybowi życia. Te obszary stanowią dla mnie nie tylko pasję, ale także kluczowy element mojego rozwoju. Przez wiele godzin poświęconych zgłębianiu ekonomii, analizuję zasady rynku, przewiduję skutki decyzji gospodarczych i poszukuję innowacyjnych rozwiązań. Równocześnie eksploruję psychologię, odkrywając tajemnice ludzkiego umysłu, badając wpływ emocji na nasze wybory i rozwijając umiejętności społeczne. Filozofia zaś stawia przede mną pytania dotyczące sensu życia, moralności i etyki, co poszerza moje horyzonty intelektualne. Gry logiczne stanowią dla mnie zarówno formę rozrywki, jak
i narzędzie do doskonalenia umiejętności logicznego myślenia i rozwiązywania problemów. Wreszcie, zdrowy tryb życia jest dla mnie priorytetem, ponieważ zdrowie fizyczne
i psychiczne daje mi energię i równowagę, które są niezbędne do efektywnej pracy badawczej. Te zainteresowania tworzą harmonijną całość, która inspiruje mnie i nadaje głębszy sens mojej pracy naukowej, otwierając nowe perspektywy i poszerzając moje spojrzenie na świat.

**Pozostałe identyfikatory:**

ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Mariola-Blaszczyk

GoogleScholar: https://scholar.google.pl/citations?user=FxqDtcAAAAJ&hl=pl&oi=ao

Tweter: @Mariola158621

# Literatura

[1] W. Faisal, F. Almomani, A critical review of the development and demulsification processes applied for oil recovery from oil in water emulsions, Chemosphere, 291, 3, 133099, 2022. [DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.133099](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.133099)

[2] A. Mahboob, S. Kalam, M.S. Kamal, S.M.S. Hussain, T. Solling, EOR Perspective of microemulsions: A review, Journal of Petroleum Science and Engineering, 208A, 109312, 2022. [DOI: 10.1016/j.petrol.2021.109312](https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.109312)

[3] J. Sheng, Modern Chemical Enhanced Oil Recovery. Theory and Practice, Gulf Prof. Pub., Burlington, USA, 2011

[4] J. Surygała, Zanieczyszczenia naftowe w gruncie, Oficyna Wyd. PWN, Wrocław, 2000

[5] F.A.L. Dullien, Porous Media Fluid Transport and Pore Structure, Acad. Press Inc, San Diego, California, 1992

[6] J. Wang, M. Dong, Trapping of the non-wetting phase in an interacting triangular tube bundle model, Chemical Engineering Science, 66, 250–259, 2011

[7] P. Becher, Emulsions: Theory and Practice, Univ. Press, Oxford, 2001

[8] S. Kokal, Crude-oil emulsions: A State-of-the-art review, SPE Prod. Facil., 20, 5-13, 2005

[9] A. Blann, A. Nessar, Blood Science: Principles and Pathology, John Wiley & Sons, 2014

[10] R. Ohkawa, H. Low, N. Mukhamedova, Y. Fu, S.J. Lai, M. Sasaoka, A. Hara, A. Yamazaki, T. Kameda, Y. Horiuchi, P.J. Meikle, G. Pernes, G. Lancaster, M. Ditiatkovski, P. Nestel, B. Vaisman, D. Sviridov, A. Murphy, A.T. Remaley, D. Sviridov, M. Tozuka, Cholesterol transport between red blood cells and lipoproteins contributes to cholesterol metabolism in blood, Journal of Lipid Research, 61, 12, 1577-1588, 2020. DOI: 10.1194/jlr.RA120000635

[11] D. Lopes, H. Puga, J. Teixeira, R. Lima, Blood flow simulations in patient-specific geometries of the carotid artery: A systematic review, Journal of Biomechanics, 111, 110019, 2020

[12] P. Trucillo, Review Drug Carriers: Classification, Administration, Release Profiles, and Industrial Approach, Processes 9, 470, 2021

[13] J. McLenon, M.A.M. Rogers, The fear of needles: A systematic review and meta-analysis, Journal of Advanced Nursing, 75, 1, 30-42, 2019. DOI: 10.1111/jan.13818

[14] T. Orenius, H. Säilä, K. Mikola, L. Ristolainen, Fear of Injections and Needle Phobia Among Children and Adolescents: An Overview of Psychological, Behavioral, and Contextual Factors. SAGE Open Nursing., 4, 2018. DOI:10.1177/2377960818759442

[15] O. Soloveva, S. Solovev, V. Ilyin, A. Talipova, T. Sagdieva, Study of the Influence of Porous Structure on the Efficiency of Emulsion Separation in Wastewater Purification on Transport, Transportation Research Procedia, 61, 402-409, 2022. DOI:10.1016/j.trpro.2022.01.066.

[16] K. Jóźwiakowski, Przydomowe oczyszczalnie ścieków na terenach wiejskich – cz. I. Inżynier budownictwa, 10, 57–60, 2012

[17] Y. Yu, Y. Tao, F.L. Wang, X. Chen, Y.L. He, Filtration performance of the granular bed filter used for industrial flue gas purification: A review of simulation and experiment, Separation and Purification Technology, 251, 117318, 2020. [DOI:10.1016/j.seppur.2020.117318](https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117318).

[18] W.K. Vidrine, C.S. Willson, K.T. Valsaraj, Emulsions in porous media. I. Transport and stability of polyaphrons in sand packs, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 175, 277–289, 2000

[19] N. Aomari, R. Gaudu, F. Cabioc’h, A. Omari, Rheology of water in crude oil emulsions, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 139, 13–20, 1998

[20] L.L. Schramm, Emulsions Fundamentals and Applications in the Petroleum Industry, Advances in Chemistry Series, 231, Am. Chem. Soc., Washington DC, 1992

[21] H. Soo, C.J. Radke, The flow mechanism of dilute, stable emulsion in porous media, Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals,23*,* 342-347*,* 1984

[22] S. Cobos, M.S. Carvalho, V. Alvarado, Flow of oil–water emulsions through a constricted capillary, International Journal of Multiphase Flow, 35, 507–515, 2009

[23] Z.E. Heinemann, Fluid flow in Porous media, Textbook Series, 1, Leoben, 2005

[24] T. Strzelecki, S. Kostecki, S. Żak, Modelowanie przepływów przez ośrodki porowate, Dolnośląskie Wyd. Edu., Wrocław, 2008

[25] J. H. Abou-Kassem, S.M.F. Ali, Modeling of Emulsion Flow In Porous Media, Society of Petroleum Engineers, Petroleum Society of Canada, 34, 6, 1995

[26] H. Soo, C.J. Radke, A Filtration Model for the Flow of Dilute, Stable Emulsions in Porous Media-I. Theory, Chemical Engineering Science, 41, 2, 263-272, 1986

[27] P.C. Carman, Fluid Flow through granular beds, Transactions IChemE, 15, 150–166, 1937

[28] Z. Kembłowski, S. Michałowski, C. Strumiłło, R. Zarzycki, Podstawy teoretyczne

inzynierii Chemiczneji, Procesowej, WTN Warszwa, 1985.

[29] R.P. Chhabra, Bubbles, drops and particles in non-Newtonian fluids, CRC Press, Boca Raton, 217–297, 1993

[30] C.N. Baroud, F. Gallaireb, R. Dangla, Dynamics of microfluidic droplets, Lab Chip, 10, 2032–2045, 2010. DOI: 10.1039/c001191f

[31] D.A. Sessoms, M. Belloul, W. Engl, M. Roche, L. Courbin, P. Panizza, Droplet motion in microfluidic networks: Hydrodynamic interactions and pressure-drop measurements, Physical Review E, 80, 016317, 2009. DOI: 10.1103/PhysRevE.80.016317

[32] F. Jousse, G. Lian, R. Janes, J. Melrose, Compact model for multi-phase liquid–liquid flows in micro-fluidic devices, Lab Chip, 5, 646–656, 2005. DOI: 10.1039/b416666c

[33] Y. Xu, C. Bohns-Michalowski, A. Beloqui, Advances in lipid carriers for drug delivery to the gastrointestinal tract, Current Opinion in Colloid & Interface Science, 52, 101414, 2021. DOI:10.1016/j.cocis.2020.101414

[34] C.X. Zhao, Multiphase flow microfluidics for the production of single or multiple emulsions for drug delivery, Advanced Drug Delivery Reviews, 65, 1420–1446, 2013

[35] Y.C. Tan, J.S. Fisher, A.I. Lee, V. Cristini, A.P. Lee, Design of microfluidic channel geometries for the control of droplet volume, chemical concentration, and sorting, Lab Chip, 4, 292–298, 2004

[36] F. Lu, C. Wang, R. Zhao, L. Du, Z. Fang, X. Guo, Z. Zhao, Review of Stratum Corneum Impedance Measurement in Non-Invasive Penetration Application, Biosensors (Basel), 26, 8, 2, 31, 2018. DOI:10.3390/bios8020031

[37] S. Mitragotri, Y.G. Anissimov, A.L. Bunge, H.F. Frasch, R.H. Guy, J. Hadgraft, G.B. Kasting, M.E. Lane, M.S. Roberts, Mathematical models of skin permeability: an overview, International Journal of Pharmaceutics, 10, 418, 1, 115-29, 2011. DOI:10.1016/j.ijpharm.2011.02.023

[38] Y.G. Anissimov, O.G. Jepps, Y. Dancik, M.S. Roberts, Mathematical and pharmacokinetic modelling of epidermal and dermal transport processes, Advanced Drug Delivery Reviews, 65, 2, 169-90, 2013. DOI:10.1016/j.addr.2012.04.009

[39] A. Naik, Y.N. Kalia, R.H. Guy, Transdermal drug delivery: overcoming the skin’s barrier function, Pharmaceutical Science & Technology Today, 3, 9, 318-326, 2000. DOI:10.1016/S1461-5347(00)00295-9

[40] B.J. Lee, Y. Cheema, S. Bader, G.A. Duncan, Shaping nanoparticle diffusion through biological barriers to drug delivery, JCIS Open, 4, 100025, 2021. DOI:10.1016/j.jciso.2021.100025.

[41] F. d’Orlyé, A. Varenne, P. Gareil, Determination of nanoparticle diffusion coefficients by Taylor dispersion analysis using a capillary electrophoresis instrument, Journal of Chromatography A, 1204, 2, 226-232, 2008

[42] A. Zeb, S.T. Arif, M. Malik, F.A. Shah, F. Ud Din, O.S. Qureshi, E.S. Lee, G.Y. Lee, J.K. Kim, Potential of nanoparticulate carriers for improved drug delivery via skin, Journal of Pharmaceutical Investigation, 49, 485–517, 2019. DOI:10.1007/s40005-018-00418-8

[43] T. Ramstad, C.F. Berg, K. Thompson, Pore-Scale Simulations of Single- and Two-Phase Flow in Porous Media: Approaches and Applications, Transport in Porous Media, 130, 77–104, 2019