

## **AUTOREFERAT**

dr inż. Beata Malczewska

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu  
Instytut Inżynierii Środowiska

pl. Grunwaldzki 24

50-363 Wrocław

Wrocław 2022

## **Spis treści**

1. Dane personalne
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe - z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskie
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych
4. Wskazanie osiągnięcia wynikające z art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r., poz. 478) 4
5. Pozostałe osiągnięcia badawcze
6. Udział w projektach badawczych i współpraca z gospodarkę
7. Staże naukowe i współpraca z zagranicznymi ośrodkami badawczymi
8. Działalność dydaktyczna i organizacyjna
9. Nagrody i wyróżnienia
10. Podsumowanie dorobku

## 1. Dane personalne

Imię i nazwisko: **Beata Malczewska**  
Miejsce pracy: Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu instytut inżynierii Środowiska, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław

## 2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe - z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

30 stycznia 2007 uzyskanie stopnia **doktora nauk rolniczych** w zakresie kształtowania środowiska, Wydział Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Akademii Rolniczej we Wrocławiu; tytuł rozprawy doktorskiej: *Badanie wybranych własności osadów ściekowych w świetle możliwości ich utylizacji*, promotor: prof. dr hab. inż. Jan Kempieński

8 października 2001 uzyskanie tytułu **magistra inżyniera** w zakresie Zaopatrzenia w Wodę i Unieszkodliwianie Ścieków i Odpadów, Wydziału Budownictwa Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, kierunek Inżynieria Środowiska  
tytuł pracy magisterskiej: *Wykorzystanie anionitów do usuwania z wody podwyższonych stężeń azotanów*, promotor prof. dr hab. inż. Janusz Łomotowski.

15 marca 1999 uzyskanie tytułu **inżyniera** w zakresie Zaopatrzenia w Wodę i Unieszkodliwianie Ścieków i Odpadów, Wydziału Budownictwa Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach, kierunek Inżynieria Środowiska

## 3. informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

1.09.2009 - obecnie adiunkt w Instytucie Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu;

1.09.2007- 31.08.2009 asystent w Instytucie Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu;

Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r., poz. 478)

### Określenie osiągnięcia

Zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) przedkładałam osiągnięcie naukowe, którym jest cykl publikacji pt.:

#### **OPTIMALIZACJA MECHANIZMÓW USUWANIA NATURALNYCH SUBSTANCJI ORGANICZNYCH Z WODY W PROCESACH MEMBRANOWYCH.**

Osiągnięcie jest udokumentowane cyklem **8** powiązanych tematycznie publikacji, w tym **6** z nich jest indeksowana w Web of Science (WoS) a **2** nie są indeksowane, wydanych w latach 2015-2022 po uzyskaniu przez wnioskodawcę stopnia naukowego doktora. Spośród wszystkich prac, w **7** pracach zgłoszonych do cyklu publikacji wnioskodawca jest pierwszym autorem oraz w **6** autorem korespondencyjnym (tabela 1).

Wkład wnioskodawcy w opracowanie tych publikacji obejmował opracowanie hipotez, koncepcji oraz metodyki badawczej, wykonanie badań, analiz i dyskusji wyników, jak również przygotowanie manuskryptów. Oświadczenia współautorów prac w powstanie publikacji zamieszczone są w załącznikach do wniosku.

Tabela 1. Wykaz publikacji naukowych stanowiących postawę postępowania habilitacyjnego

Lp.1	Publikacje <sup>1</sup>	Udział	Pkt <sup>2</sup>	Pkt <sup>3</sup>	IF <sup>4</sup>
H1	<b>Malczewska B.</b> Liu J. Benjamin M.M*. <b>2015.</b> Virtual elimination of MF and UF fouling by adsorptive pre-coat filtration, <b>Journal of Membrane Science</b> , Volume 479, 1 April 2015, Pages 159-164 DOI	50%	45	140	<b>5.557</b>
H2	<b>Malczewska B.*.</b> <b>2016.</b> <i>Evaluation of effectiveness of natural organic compounds removal from water in hybrid processes</i> , <b>Journal of Water and Land Development</b> 1429-7426 [p] 2083-4535 [e] 2016 Nr 30 (VII-IX) s. 81-85; DOI: 10.1515/jwld-2016-0024	100%	14	100	-
H3	<b>Malczewska B*.,</b> Benjamin, M. M. <b>2016.</b> <i>Efficacy of hybrid adsorption/membrane pretreatment for low pressure membrane</i> , <b>Water Research</b> 0043 1354 2016 Vol. 99 s. 263-271; DOI:10.1016/j.watres.2016.04.065	60%	45	140	<b>6.942</b>
H4	<b>Malczewska B.*,</b> Horochowska M., <b>2017.</b> <i>Study on characteristics and removal of NOM by pre-coated filtration</i> , <b>Desalination and Water Treatment</b> 1944-	70%	20	70	<b>1.383</b>

	3994 [p] 1944-3986 [e] 2017 [Vol.] 87, s. 216–221; DOI:10.5004/dwt.2017.21320				
<b>H5</b>	<b>Malczewska B*., 2017. Investigations of the mechanism of the fouling in microgranular adsorptive filtration, Journal of Water and Land Development</b> 1429-7426 [p] 2083-4535 [e] 2017 Vol. 35 (X–XII) s. 137–140; DOI: 10.1515/jwld-2017-0077	100%	14	100	-
<b>H6</b>	<b>Malczewska B*., Żak A., 2019. Structural Changes and Operational Deterioration of the UF Polyethersulfone (PES) Membrane Due to Chemical Cleaning. Scientific Reports</b> 2045-2322 [e] <b>2019</b> Vol. 8, Issue 1, Article Number 422 s. 1-14; DOI: 10.1038/s41598-018-36697-2	70%	140	140	<b>3.998</b>
<b>H7</b>	<b>Malczewska Beata*, Adsorption of Natural Organic Matter and Phosphorus from Surface Water Using Heated Aluminum Oxide (Predeposited) Dynamic Membrane Adsorber Applied Sciences-Basel, 2021, vol. 11, nr 16, s.1-17, Numer artykułu:7384. DOI:10.3390/app11167384</b>	100%	70	70	<b>2.679</b>
<b>H.8</b>	<b>Malczewska Beata*, Farnood Ramin R., Tabea Shahram, Natural organic matter removal by electrospun nanofiber membranes coated with heated aluminum oxide particles Journal of Water Process Engineering, 2022, vol. 45, Numer artykułu:102498. DOI:10.1016/j.jwpe.2021.102498</b>	70%	100	100	<b>5.485</b>
<b>Sumaryczny Impact Factor (IF) osiągnięcia naukowego: 26.044</b>					
<b>Sumaryczna liczba punktów osiągnięcia naukowego: 448 (860)<sup>3</sup></b>					

<sup>1</sup> numeracja oryginalnych prac twórczych odpowiada kolejności ich omawiania; <sup>2</sup> punkty za publikację (wg list MNiSW oraz MEiN) zgodne z rokiem wydania; <sup>3</sup> punkty za publikację według punktacji czasopism obowiązującej na dzień 16.05.2022; <sup>4</sup> IF publikacji zgodny z rokiem wydania, w przypadku publikacji z roku 2021 podano ostatni dostępny IF z roku 2020

\*autor korespondencyjny

**Indeks najczęściej używanych skrótów**

Skrót	Określenie	
	W języku angielskim	W języku polskim
<b>NOM</b>	Natural Organic Matter	Naturalna materia organiczna, zwyczajowo w literaturze przedmiotu określana jako Naturalne substancje organiczne
<b>MF</b>	MicroFiltration	Mikrofiltracja
<b>UF</b>	UltraFiltration	Ultrafiltracja
<b>DM</b>	Dynamic Membrane	Membrana dynamiczna
<b>HAOPs</b>	Heated Aluminum Oxide Particles	Podgrzane cząstki tlenku glinu
<b>uGAC</b>	MicroGranular Adsorptive filtration	Mikrogranulowana filtracja adsorpcyjna
<b>PAC</b>	Powder Activated Carbon	Węgiel aktywny sproszkowany
<b>EEM</b>	Excitation Emission Matrix	Macierzy wzbudzenia-emisji
<b>TEP</b>	Transparent Exopolymer Particles	Przezroczyste cząsteczki egzopolimeru
<b>PARAFAC</b>	Parallel Factor Analysis	Równoległa analiza czynnikowa
<b>UV254</b>	Ultraviolet absorbance <sub>254</sub>	Absorbancja w nadfiolecie (UV 254)
<b>SUVA<sub>245</sub></b>	Specific Ultraviolet Absorbance <sub>254</sub>	Absorbancja właściwa w nadfiolecie
<b>TOC</b>	Total Organic Carbon	Całkowita zawartości węgla organicznego
<b>TMP</b>	TransMembrane Pressure	Ciśnienia transmembranowego
<b>SEM</b>	Scanning Electron Microscope	mikroskopia skaningowa
<b>FTIR</b>	Fourier-Transform Infrared Spectroscopy	spektroskopii w podczerwieni
<b>XRD</b>	X-ray Powder Diffraction	dyfraktometria rentgenowska
<b>EDS</b>	Energy Dispersive Spectroscopy	spektroskopia rentgenowska z dyspersją energetyczną

## Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągnięć tych wyników

Moje zainteresowania badawcze obejmują wiele obszarów związanych z inżynierią środowiska takich jak skuteczność procesów separacyjnych w oczyszczaniu wody i ścieków, określenie intensywności blokowania membran podczas oczyszczania wody, hydraulika przepływu newtonowskich mieszanin ciecz-cząstki stałe, badania nad jakością wody i usuwaniem z niej zanieczyszczeń. Głównym celem moich zainteresowań badawczych było zaproponowanie rozwiązania technicznego mającego na celu zwiększenie skuteczności usuwania zanieczyszczeń w szczególności naturalnych substancji organicznych (z ang. *Natural Organic Matter* - NOM) oraz uzupełnienie stanu wiedzy w zakresie wykorzystania zintegrowanych procesów membranowych. Tematyka ta dotyczy ważnego i bardzo intensywnie się rozwijającego działu inżynierii środowiska.

## Tło problemu

Malejące zasoby wody słodkiej przy jednoczesnym wzrastającym ich zanieczyszczeniu, powodują poszukiwanie nowych i skutecznych technologii uzdatniania wód. Niskociśnieniowe procesy membranowe, takie jak mikrofiltracja (MF) i ultrafiltracja (UF), stają się coraz bardziej popularne, w procesach oczyszczania i uzdatniania wody. Nie wymagają one przemian fazowych oraz nie wymagają dużych nakładów energetycznych. Transport zanieczyszczeń przez membrany MF oraz UF oparty jest na mechanizmie sitowym. A rozmiar porów determinuje separacyjne właściwości membran. Na selektywny transport zanieczyszczeń przez membrany mają również wpływ oddziaływania pomiędzy rozdzielaną substancją oraz membraną. Jednak nieuniknionym problemem związanym z pracą membran jest zjawisko ich blokowania (ang. *fouling*). Zjawisko to związane jest z odkładaniem się na powierzchni membrany lub wewnątrz jej porów zanieczyszczeń powodujących spadek jej wydajności. Utrata zdolności produkcyjnej membrany, stanowi wyzwanie technologiczne. W związku z tym, opracowano różne procesy obróbki wstępnej wody surowej (nadawy) obejmujące techniki membranowe w połączeniu m.in. z ozonowaniem, koagulacją, adsorpcją na węglu aktywnym. Wstępna obróbka nadawy zazwyczaj polepsza wydajność strumienia tj. *permeatu* czyli wydajność membrany.

Materia organiczna obecna w wodzie powierzchniowej jest uznawana za główną przyczynę blokowania się membran. **W celu określenia roli NOM w procesie *foulingu* membran przeprowadzono i nadal przeprowadza się liczne badania, jednakże często prezentowane wyniki wykluczają się wzajemnie, co najprawdopodobniej spowodowane jest złożonym charakterem tego zjawiska. Blokowanie membrany zależy m.in. od właściwości wody surowej oraz od materiału samej membrany.**

Przedstawiony do oceny dorobek naukowy jest związany z procesami adsorpcyjnymi i niskociśnieniowymi procesami membranowymi (UF), stosowanymi do separacji związków organicznych w procesie oczyszczania wód powierzchniowych. Głównym celem obecnie

prowadzonych badań jest poprawa efektywności transportu i rozdzielania. Nowy obszar badań realizowanych w ramach rozprawy habilitacyjnej jest związany z zastosowaniem zintegrowanego 2-stopniowego układu technologicznego składającego się z membrany dynamicznej (DM) oraz membrany pierwotnej. Moje badania mają charakter zarówno badań podstawowych jak i aplikacyjny.

**Główne cele naukowe przeprowadzonych przeze mnie badań, których wyniki zawarte zostały w ramach cyklu publikacji, to poszerzenie wiedzy o mechanizmach eliminacji NOM z wody powierzchniowej oraz ustalenie skuteczności fizycznej modyfikacji powierzchni membrany do usuwania NOM z wody jak również określenie interakcji membrany z NOM znajdującymi się w wodzie powierzchniowej (żywołność membran).**

**W każdym z analizowanych przypadków testowałam wodę rzeczywistą. Na potrzeby badań wykorzystywałam pilotażową instalację do ultrafiltracji (wykonaną według mojego projektu). Do oceny wyników badań i analiz wykorzystywałam metody statystyczne. W badaniach zastosowałam wiele zaawansowanych instrumentalnych technik pomiarowych.**

W omawianym procesie membrana pierwotna stanowiła początkowo podłoże dla warstwy nanoszonej, podczas gdy membranę wtórną tj. DM stanowiły cząstki HAOPs (ang. *Heated Aluminum Oxide Particles*). Prof. Mark Benjamin wraz ze swoją grupą badawczą w poszukiwaniu skutecznych metod eliminacji NOM opracował HAOPs, których procedura przygotowywania jest opatentowana w USA (*US 8,070,951 B2*) oraz szeroko opisywana w literaturze. Podczas mojego stażu w grupie profesora Benjamin miałam okazję zbadać możliwości zastosowania HAOPs w hybrydowych systemach adsorpcji i filtracji membranowej.

W analizowanym zintegrowanym układzie technologicznym złożonym ze wstępnego oczyszczania na DM oraz modułu membranowego UF badałam skuteczność fizycznej modyfikacji powierzchni membrany pierwotnej. Moim zadaniem było określenie wpływu warunków hydraulicznych procesu na stabilność membrany oraz ustalenie wpływu procesu na zmniejszenie blokowania się membrany.

Zakres badań obejmował:

- Ocenę skuteczności usuwania NOM z wody powierzchniowej w zintegrowanym (hybrydowym) układzie technologicznym złożonym z HAOPs (stanowiącej DM) oraz membrany pierwotnej,
- Określenie warunków technologicznych sprzyjających wytworzeniu DM z HAOPs (sposób nanoszenia, stężenie oraz sposób płukania),
- Ustalenie sprawności usuwania NOM przez DM,
- Wyznaczenie właściwości hydraulicznych w zależności od jakości wody powierzchniowej.

W trakcie realizacji badań sformułowałam oraz zweryfikowałam następujące hipotezy badawcze:



**Zastosowanie zintegrowanego 2-stopniowego układu technologicznego składającego się z oczyszczania wstępnego na DM oraz filtracji membranowej wpływa na podniesienie efektywności usuwania naturalnych substancji organicznych.**

**Przy odpowiednim doborze parametrów procesowych proponowanego rozwiązania możliwe jest zmniejszenie blokowania się membran, a tym samym kontrola i minimalizowanie *foulingu*.**

**Możliwe jest fizyczne zmodyfikowanie powierzchni membrany tak, aby efektywniej usuwać NOM z wody powierzchniowej.**

Ponieważ zjawisko blokowania membran jest zjawiskiem kompleksowym i zależy od wielu czynników, w tym od jakości wody powierzchniowej oraz od warunków technologicznych, podjęłam próbę określenia:

- mechanizmów oraz sprawności usuwania NOM z wody powierzchniowej pochodzącej z różnych źródeł,
- stopnia retencji zanieczyszczeń oraz właściwości hydraulicznych membran w zależności od jakości wody powierzchniowej,
- metod optymalizacji parametrów procesowych filtracji membranowej w zintegrowanym procesie.

Jedną z metod powszechnie stosowaną do kontroli blokowania membran jest również ich regularne czyszczenie, często z użyciem środków chemicznych. Biorąc pod uwagę powszechność tej metody, zweryfikowałam również wpływ czyszczenia chemicznego na żywotność membrany ultrafiltracyjnej stosowanej do filtracji wód powierzchniowych.

## **Wprowadzenie**

Procesy membranowe stały się w ostatnich latach powszechne w wielu gałęziach przemysłu. Zastosowanie separacji membranowej jako alternatywa dla klasycznych procesów oczyszczania wiąże się z licznymi zaletami tego procesu. Separacja membranowa (MF, UF) charakteryzuje się stosunkowo niskimi kosztami eksploatacji w porównaniu do klasycznych rozwiązań. Technologia membranowa charakteryzuje się modułowością, co pozwala na łatwość w modyfikacji czy rozbudowy takich systemów, oraz możliwością sterowania wszystkimi procesami jednostkowymi. Dodatkowo, w przypadku separacji membranowej (MF, UF) rozdział zachodzi bez przemian fazowych [1]. Gwałtowny rozwój technik rozdziału membranowego związany jest z rozwojem inżynierii materiałowej, co pozwala na opracowanie wysoce selektywnych membran. Obecnie technologie membranowe odgrywają istotną rolę w zrównoważonym gospodarowaniu wodą i energią, oraz wpisują się w dominujący trend w przemyśle wdrażania czystej technologii (*clean technology*) [1-3].

W technologii uzdatniania wody i oczyszczania ścieków stosuje się membrany charakteryzujące się dużą selektywnością i wydajnością przy jednocześnie dużej odporności na czynniki mechaniczne, chemiczne i termiczne. Sposób realizacji procesów membranowych oraz dobór parametrów procesowych są niezwykle istotne i wpływają na skuteczność separacji. Typowymi problemami związanymi z eksploatacją technik membranowych jest polaryzacja stężeniowa, adsorpcja, blokowanie się membrany i skaling (ang. *scaling*) jak również deformacja porów.

Głównym problemem istotnie ograniczającym wydajność separacji membranowej jest obecność NOM w wodach, które są odpowiedzialne za blokowanie membran. NOM są mieszaniną różnych struktur chemicznych o różnych właściwościach, które są odpowiedzialne za kolor i smak wody, a także przyczyniają się do powstawania ubocznych produktów dezynfekcji. Większość zanieczyszczeń organicznych jest w stosunkowo małym stopniu usuwana w konwencjonalnych procesach oczyszczania wody [2,3]. Do usuwania NOM oraz mikrozanieczyszczeń często stosuje się wysoko ciśnieniowe procesy membranowe (nanofiltrację i odwróconą osmozę), jednakże zanieczyszczenia organiczne można też skutecznie usuwać wykorzystując zintegrowane procesy jednostkowe stosowane w połączeniu z niskociśnieniowymi technikami membranowymi [3].

Największym ograniczeniem szerszego zastosowania membran jest ich tendencja do zanieczyszczania się. Zanieczyszczenie takie nazywane jest zatykaniem lub też blokowaniem (ang. *fouling*). Jest to proces spowodowany osiadaniem zawieszonych lub rozpuszczonych cząsteczek stałych na zewnętrznej powierzchni membrany, na porach membrany lub w obrębie porów membrany [4]. Jest to złożone zjawisko fizykochemiczne spowodowane przez rozpuszczoną w wodzie materię, głównie organiczną (a w szczególności przez obecność koloidów nieorganicznych i organicznych). Zjawisko to prowadzi do wzrostu oporów hydraulicznych, objawiających się obniżeniem strumienia *permeatu* lub wzrostem ciśnienia transmembranowego (TMP), co prowadzi do wzrostu kosztów operacyjnych. W praktyce, blokowanie się membran powoduje utratę zdolności produkcyjnych i konieczność wprowadzenia czyszczenia membran zarówno hydraulicznego, jak i chemicznego.

Zjawisko blokowania się membrany jest często klasyfikowane jako odwracalne lub nieodwracalne [5]. *Fouling* odwracalny można usunąć za pomocą zastosowania odpowiedniej siły ścinającej lub płukania wstecznego. *Foulingu* nieodwracalnego natomiast nie da się usunąć metodą czyszczenia fizycznego [6]. Samo zjawisko *foulingu* zostało podzielone na cztery rodzaje w zależności od związków go wywołujących: *fouling* koloidalny, biologiczny, organiczny i nieorganiczny (tj. *scaling*) [5-13].

Blokowanie membran jest zazwyczaj kontrolowane przez system kontroli: w zakresie strumienia krytycznego, oraz dodawania substancji chemicznych poprawiających proces filtracji [8]. Istnieje kilka różnych metod hydraulicznego czyszczenia membran, takich jak płukanie w przód, płukanie wsteczne i płukanie powietrzem. Gdy czyszczenie hydrauliczne nie jest wystarczająco skuteczne,

konieczne jest zastosowanie chemicznego czyszczenia membran [5,6,8-12]. Zazwyczaj rodzaj chemicznego środka czyszczącego zależy od rodzaju *foulingu* oraz rodzaju membran. Koncentracja zastosowanych środków chemicznych, czas czyszczenia, temperatura i warunki hydrodynamiczne podczas czyszczenia są ważnymi czynnikami, wpływającymi na skuteczność tego procesu. Optymalizacja protokołów czyszczenia membran wymaga dogłębnego zrozumienia złożonych interakcji pomiędzy „foulantem”, a membraną [12].

NOM mogą odgrywać istotną rolę w procesie starzenia się membran wpływając na konieczność częstszego czyszczenia chemicznego. Interakcja środków chemicznych z materiałem membrany wpływa na żywotność membran [14]. Badania przeprowadzone przez Abdullaha i Bérubé (2013) sugerują, że środki chemiczne stosowane do czyszczenia membran utleniają materiał membranowy lub składniki materiału membranowego (tj. dodatki), prowadząc do długotrwałych zmian fizycznych, chemicznych właściwości membran oraz zmian w ich wydajności [15]. Wyniki te wskazują, że częste czyszczenie chemiczne ma większy wpływ na stopień starzenia niż samo stężenie chemicznych środków czyszczących [14].

W ostatniej dekadzie, zostały opracowane nowe materiały w celu poprawy separacji membran. Poczyniono istotne zmiany w warstwie naskórkowej membrany zwiększając jej selektywność. Zaproponowano innowacyjne metody syntezy materiału membrany oraz modyfikacji już istniejących materiałów. Jednak, niezależnie od postępów w tej materii, nadal największym problemem w praktycznych zastosowaniach membran jest zjawisko *foulingu*. W ostatnich latach przeprowadzono szereg badań mających na celu minimalizowanie tego zjawiska. W literaturze przedmiotu brak jest jednoznacznego powiązania roli NOM i ich własności z *foulingiem*. Wykazano, że NOM jest główną substancją wywołującą *fouling*, a przede wszystkim ich frakcja hydrofobowa. Zaobserwowano również, iż wyższy opór hydrauliczny obserwowano przy zwiększonym stężeniu NOM [3].

Obecnie istnieje wiele technik minimalizujących zjawisko blokowania się membran. Powszechnie stosowanym w praktyce zabiegiem jest regularne czyszczenie membran i najczęściej jest to czyszczenie wsteczne (ang. *backwashing*). Dodatkowo stosowana jest regulacja parametrów procesowych, takich jak czas filtracji, czas czyszczenia oraz jego sposób. Innym podejściem do kontroli tego zjawiska jest zastosowanie procesów wstępnego oczyszczania nadawy przed filtracją membranową. W przypadku wody powierzchniowej najczęściej stosowaną metodą poprzedzającą filtrację membranową w ciągu technologicznym jest konwencjonalna koagulacja z wykorzystaniem soli glinu, żelaza, chlorku poliglinu lub też stosowanie węgla aktywnego [16-24]. Najczęściej stosowane są wodne roztwory chlorku żelazowego, glinianu sodowego i siarczanu glinowego. Głównym ograniczeniem stosowania wymienionych koagulantów jest wrażliwość na temperaturę i pH. Zazwyczaj koagulacja przed wprowadzeniem wody surowej na membranę ma korzystny wpływ na zmniejszenie zjawiska blokowania się membran [18,19].

Koagulanty ułatwiają usuwanie cząstek stałych i niektórych NOM, ale nie usuwają wszystkich komponentów NOM odpowiedzialnych za *fouling*. Dlatego też prowadzone są liczne badania dotyczące określenia mechanizmu zjawiska *foulingu* poszczególnymi komponentami NOM. Dodatkowo realizowane są też liczne prace nad zastosowaniem różnych technik minimalizujących *fouling*. Jedną z najczęściej stosowanych metod jest wstępne przygotowanie wody przed wprowadzeniem na moduł membranowy. W praktyce prowadzone są procesy, w których stosuje się koagulację, a następnie tak podczyszczona woda podawana jest na moduł membranowy, w połączeniu z częstym hydraulicznym płukaniem wstecznym [31]. Inne metody minimalizujące wpływ NOM na blokowanie się membran są to metody obejmujące wstępną filtrację, biofiltrację, adsorpcję, wymianę jonową, węgiel aktywny, utlenianie, ozonowanie [18-24]. Chociaż koagulanty i adsorbenty usuwają część NOM, ich wydajność w odniesieniu do usuwania wszystkich komponentów NOM nie jest jednoznaczna. Istnieje wiele raportów, w których potwierdza się skuteczność konwencjonalnego procesu koagulacji w minimalizacji zjawiska blokowania się membran, natomiast w innych doniesieniach literaturowych nie ma on żadnego wpływu lub nawet powoduje przyspieszenie tego zjawiska [25-32]. Kilku badaczy prowadziło badania nad procesami hybrydowymi, które łączą zastosowanie węgla aktywnego z ultrafiltracją (PAC/UF). Mozia i Tomaszewska [27] stwierdziły, że proces hybrydowy był bardziej efektywny w usuwaniu substancji organicznych niż zastosowanie samej ultrafiltracji. Natomiast Lin i wsp. [33] stwierdzili, że zastosowanie PAC jako środka do wstępnego przygotowania nadawy w zintegrowanym systemie PAC/UF zwiększyło zanieczyszczenie membrany.

Poprawę efektywności transportu i rozdzielania można również realizować poszukując rozwiązań inspirowanych naturą. Jednym z takich rozwiązań jest membrana dynamiczna. DM zostały po raz pierwszy opisane w 1965 r. przez grupę badawczą z Oak Ridge National Laboratory [34-35]. Jednak, złożoność mechanizmów membranowej separacji związków organicznych sprawia, że kolejne prace badawcze w tym zakresie stają się niezbędne.

W przeciwieństwie do membran tradycyjnie wytwarzanych, DM może być opracowana *in situ*. DM składa się z dwóch warstw: membrany pierwotnej i wtórnej. Zwykle membrana pierwotna stanowi podłoże dla warstwy osadzonej, podczas gdy warstwa wtórna składa się z nano- i mikrocząsteczek. Membrana wtórna działa jako dominującą część funkcjonalną w procesie oczyszczania wody [36]. Nanoszona warstwa cząstek determinuje stopień usuwania i skuteczność DM w odniesieniu do docelowego zanieczyszczenia [34-38]. Zastosowanie DM było w ostatnich latach szeroko badane pod kątem filtracji wody i oczyszczania ścieków [34-44].

Głównymi zaletami zastosowania DM są łagodzenie zjawiska *foulingu* oraz wydłużenie żywotności membrany pierwotnej [34-38]. Wyróżnia się dwie podstawowe kategorie DM i są to: DM samoformujące się oraz celowo osadzone. W każdym przypadku proces tworzenia DM pomaga chronić membranę pierwotną. W przeciwieństwie do osadzonej DM, gdzie wtórna

membrana jest tworzona poprzez filtrację roztworów zawierających specyficzne cząstki lub koloidy [37], samoformujące się DM są generowane przez substancje występujące w wodzie zasilającej. Niezależnie od rodzaju DM, gdy warstwa ta zostanie zanieczyszczona, może zostać zastąpiona nową [36].

Fizyczna modyfikacja powierzchni membrany pierwotnej poprzez wytworzenie membrany wtórnej, np. za pomocą tlenków żelaza, może usunąć śladowe zanieczyszczenia poprzez adsorpcję na membranie wtórnej, podczas gdy membrana pierwotna jest chroniona przez bezpośrednim zanieczyszczeniem i może pracować z maksymalną wydajnością [36].

DM o różnych funkcjach separacyjnych może być opracowana przez dobór odpowiednich materiałów do wstępnego nanoszenia. Dodatkowo DM może być nanoszona na innych materiałach nośnych, takich jak siatka filtracyjna. Osadzona DM zapewnia elastyczność wyboru odpowiednich i niedrogich materiałów, które mogą być użyte do jej budowy. Dodatkowo zastosowanie DM rozszerza zdolność membrany pierwotnej do usuwania zanieczyszczeń oraz zwiększa ogólną jej wydajność [35].

W zależności od mechanizmu powstawania, DM można podzielić na dwie klasy. DM klasy I to takie, w których wielkość porów w membranie pierwotnej jest bardzo mała, aby całkowicie zatrzymać materiał tworzący DM. W tym przypadku dominującym mechanizmem rządzącym powstawaniem DM jest polaryzacja stężeniowa [35]. Gdy średnica porów membrany pierwotnej jest znacznie większa niż rozmiar cząstek, które mają być nanoszone, wówczas określane są one jako filtry klasy II. W tym drugim przypadku materiały osadzające się mogą tworzyć strukturę mostkową nad porami i mogą budować centra flokulacji [35].

DM zyskały ostatnio popularność w oczyszczaniu wody. do usuwania związków organicznych. [34-63]. Najpopularniejszymi materiałami stosowanymi w technologii filtracji DM są polimery, wodorocieńczalny polimer tlenku Zr(IV), tlenki metali, materiały glebowe [41]. Dobre rezultaty w kontroli blokowania membran otrzymano też stosując podgrzany tlenek żelaza (*heated iron oxide*) [45-49].

Będąc na stażu w Uniwersytecie Washington w grupie badawczej prof. Marka Benjamina zaczęłam nowy dla mnie cykl badań dotyczący skutecznych metod usuwania związków organicznych z wody, mających na celu poprawę efektywności oczyszczania membran (UF) i określenia, które ze związków obecnych w wodach powierzchniowych mają największy wpływ na zmniejszenie wydajności membran. W czasie mojego stażu zajmowałam się zsyntetyzowanym adsorbentem o atrakcyjnych właściwościach do stosowania w hybrydowych systemach adsorpcji i filtracji membranowej, nazywanym HAOPs (*ang. Heated Aluminum Oxide Particles*) [50-62]. Proces przygotowywania HAOPs polega na neutralizacji siarczanu glinu do pH 7,0 za pomocą wodorotlenku sodu i ogrzewaniu powstałej zawiesiny w temperaturze 110°C w zamkniętym

pojemniku przez 24 godziny. Chang i Benjamin [12] jako pierwsi zaproponowali zastosowanie podgrzanych cząstek tlenku żelaza (HIOP) i powleczenie nimi powierzchni płaskiej membrany ultrafiltracyjnej. Stwierdzili oni, że nieogrzewane cząstki tlenku żelaza blokują pory membrany powodując jej zatykanie, natomiast podgrzane cząstki tworzą warstwę przepuszczalną, która nie zatyka membrany pierwotnej przy jednoczesnym usuwaniu części NOM. Kolejnym krokiem było testowanie skuteczności HAOPs do usuwania NOM. Początkowo, Benjamin i współpracownicy określili ten proces jako mikrogranulowana filtracja adsorpcyjna (ang. *microgranular adsorptive filtration* -  $\mu$ GAF). Stwierdzili oni, że nieogrzewane cząstki tlenku glinu tworzyły bardziej zwartą warstwę, co powodowało duży początkowy opór hydrauliczny i szybszy wzrost ciśnienia podczas filtracji. Sugerowali, że właściwości cząstek omawianego tlenku metalu uległy zmianie, a częściowe odwodnienie w procesie ogrzewania, prowadzi do powstawania cząstek mniej amorficznych. Naniesiona na membranę warstwa podgrzanego adsorbentu miała znacznie niższy opór hydrauliczny, niż niepodgrzane cząstki tlenku metalu i warstwa ta pozostawała przepuszczalna bez akumulacji NOM [62]. Początkowo pracowano nad optymalizacją procesu produkcji HAOPs oraz porównaniem skuteczności HAOPs, z innymi stosowanymi metodami, m.in. z PAC czy  $FeCl_3$ , w usuwaniu NOM [52-57]. Proces ten nazwano wówczas adsorpcyjno-membranowym. Składał się on z etapu oczyszczania wstępnego, w którym woda powierzchniowa przepuszczana była przez warstwę HAOPs naniesioną na UF membranę, a następnie tak oczyszczona woda poddawana była konwencjonalnej filtracji membranowej. W zastosowaniach laboratoryjnych takie rozwiązanie przyczyniało się do zmniejszenia blokowania membrany.

**Moim zadaniem było opracowanie metody nanoszenia cząsteczek HAOPs początkowo na rurowych membranach UF, a następnie na porowatych strukturach podtrzymujących. Wszystkie wcześniejsze prace badawcze nad HAOPs stanowiły badania na skalę laboratoryjną z zastosowaniem płaskich membran UF. Mój wkład polegał na szczegółowym opracowaniu hydraulicznego powlekania membrany pierwotnej oraz optymalizacji tego procesu i przygotowania go do wdrożenia na skalę półprzemysłową.** Opracowanie kompletnej metodyki nanoszenia cząstek HAOPs na strukturach podtrzymujących oraz sposobu skutecznego usuwania DM zostało opisane szczegółowo w pracach H1, H2 oraz H3. Sprawdzenie efektywności omawianego procesu w obniżeniu poziomu zanieczyszczenia wody powierzchniowej substancjami organicznymi zostało szczegółowo omówione w pracach H1- H3 oraz H7-H8. Analizę mechanizmu foulingu opartą o model Hermii w omawianym procesie przedstawia praca H5, natomiast praca H6 opisuje efekt bezpośredniej ekspozycji membrany na NOM i konieczność stosowania czyszczenia chemicznego oraz jego wpływ na morfologię membran

Szczegółowe omówienie prowadzonych badań i osiągniętych wyników:

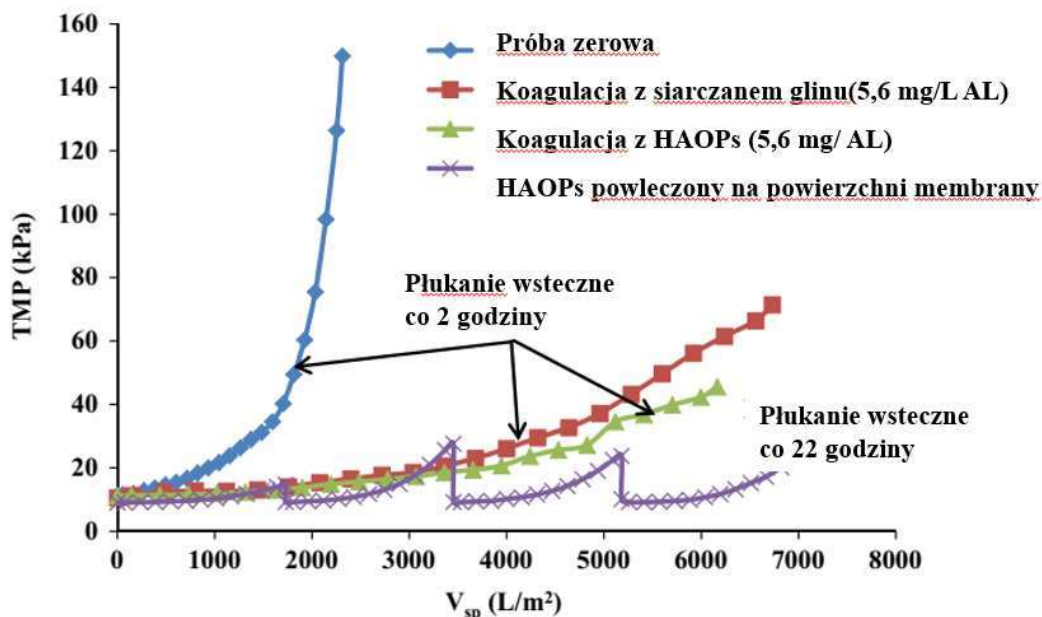
[H1] W tej pracy porównałam skuteczności nanoszenia cząstek HAOPs na UF membranę do konwencjonalnego podejścia polegającego na dozowaniu koagulantu/adsorbentu bezpośrednio do wody surowej w systemach, w których membrana może być czyszczona hydraulicznie



i testowana w wielu cyklach. W tej pracy po raz pierwszy omawiana DM była deponowana na ceramicznej membranie ultrafiltracyjnej rurowej. Wykazałam, że osadzanie HAOP na testowanych membranach usuwa NOM bardziej efektywnie niż przy użyciu porównywalnych dawek glinu w konwencjonalnym procesie koagulacji i sedymentacji. Proces filtracji z powleczoną na ceramicznej membranie ultrafiltracyjnej warstwą HAOPs zdecydowanie wydłużał proces filtracji bez konieczności czyszczenia membrany.

Rysunek 1 przedstawia porównanie zmian TMP podczas nanoszenia cząstek HAOPs z konwencjonalnym podejściem dozowania koagulantu/adsorbentu bezpośrednio do wody surowej. Pierwszym eksperymentem był eksperymentem kontrolnym (próba zerowa), w którym surowa woda była podawana bezpośrednio na membranę (1a). Drugi eksperyment symulował konwencjonalny proces oczyszczania i składał się z dozowania koagulantu (siarczanu (VI) glinu) do wody surowej, po sedymentacji woda podawana była na membranę, która była czyszczona hydraulicznie co dwie godziny (2b). W trzecim eksperymencie odwzorowano procedurę przeprowadzoną w drugim eksperymencie, ale zamiast koagulantu użyto HAOPs (1c). W czwartym eksperymencie cząstki HAOPs były nanoszone na membranę (1d).

Obserwowany wzrost TMP sugeruje, iż NOM znajdujące się w wodzie surowej, ulegają akumulacji na powierzchni i wewnątrz porów, w wyniku czego przepuszczalność membrany ulega redukcji. Proponowane rozwiązanie nie wpływa na wydajność membran, przy jednoczesnym usuwaniu NOM (oznaczanych jako  $UV_{254}$ ) na poziomie 90 -95%. Omawiana DM może być stosowana jako wstępne oczyszczanie przed bardziej zaawansowanymi i skuteczniejszymi procesami uzdatniania wody. Warstwa HAOPs usuwa NOM z wody surowej, w tym wiele frakcji NOM odpowiedzialnych za blokowanie membran. Integracja omawianego DM z separacją membranową zdecydowanie wpływa na podniesienie efektywności usuwania NOM.



Rysunek 1. Zależność wzrostu TMP do objętości właściwej ( $V_{sp}$ ) wytworzonego *permeatu.*, przy gęstości strumienia 75 Litry/ $m^2/h$

[H2] Kolejnym etapem prac badawczych było sprawdzenie skuteczności DM w usuwania NOM z innego źródła. NOM są nieodłącznym elementem środowiska wodnego. Są one mieszaniną składników organicznych, a ich ilość i właściwości różnią się znacząco w zależności od miejsca pochodzenia czy klimatu. Dodatkowo podlegają one przemianom w środowisku wodnym. Dlatego też wody powierzchniowe znacząco różnią się zawartością NOM a zwłaszcza specyficzną absorbancją w nadfiolecie ( $SUV_{254}$ ). Ponad to obecność innych zanieczyszczeń również może wpływać na skuteczność usuwania NOM. Dlatego też każda nowa technologia powinna być weryfikowana w miejscu przeznaczenia. Jednak uzyskane wyniki wykazały, że zastosowanie omawianej DM pozwala na poprawę efektywności oczyszczania wody, a także zmniejsza intensywność blokowania membran niezależnie od źródła wody powierzchniowej. W tym przypadku skuteczność usuwania NOM była nieco niższa i wynosiła do 86%. Badania te potwierdziły, że możliwa jest kontrola i minimalizacja foulingu z wykorzystaniem omawianej DM.

[H3] Kolejnym korkiem było porównanie systemów, w których cząsteczki HAOPs są osadzone na strukturze nośnej (podtrzymującej), która jest oddzielona od membrany właściwej (pierwotnej) i znajdującej się przed nią w ciągu technologicznym. We wcześniejszych pracach cząstki HAOPs zawsze były osadzone bezpośrednio na membranie pierwotnej. W pracy tej opisałam proces składający się z dwóch etapów. W pierwszym etapie woda powierzchniowa jest oczyszczana wstępnie, przez warstwę HAOPs naniesioną na strukturę podtrzymującą, a następnie w etapie drugim tak podczyszczona woda jest kierowana na filtr membranowy (UF). Proponowane



rozwiązanie przyczynia się do skutecznego usuwania NOM i redukcji innych zanieczyszczeń mających wpływ na blokowanie membran. Praktyczne zastosowanie tego procesu zależy od oczekiwanego strumienia.

Testowałam różne struktury nośne takiej jak plastikowe, metalowe, nylonowe siatki filtracyjne celem wybrania najkorzystniejszej struktury podtrzymującej omawianą DM pod kątem wydajności hydraulicznej oraz potencjalnych przecieków. Gdy w *permeacie* po filtracji wykryto obecność glinu, świadczyło to o tym, że dochodziło do przecieku. Na podstawie przeprowadzonych badań do dalszych eksperymentów filtracyjnych wybrałam siatki metalowe.

Dodatkowo przeanalizowałam również skuteczność warstwy HAOPs w redukcji chlorowanych i bromowanych trihalometanów (THM4) oraz kwasów haloctowych (HAA9). Omawiany proces okazał się być skuteczny nie tylko w usuwaniu NOM, ale również ubocznych produktów dezynfekcji.

Membrany UF zasilane wodą podczyszczoną na warstwie HAOPs działały przy konwencjonalnych strumieniach przez prawie dwa tygodnie bez znaczącego foulingu. Zaimplementowany proces czyszczenia filtru DM, którego jestem autorem, okazał się być bardzo skuteczny w usuwaniu zanieczyszczonej DM oraz utrzymaniu ciśnienia początkowego. Opracowałam hydrauliczny sposób czyszczenia takich filtrów, który charakteryzował się impulsowym wprowadzeniem wody płuczącej i powietrza. Dodatkowo testowałam zmienne parametry operacyjne tego procesu. Przy zwiększeniu strumienia do 400 Litry/m<sup>2</sup>/h cykl filtracji trwał 24 godziny po czym następowało wypłukiwanie warstwy DM. Opracowałam półautomatyczną metodę czyszczenia filtrów DM, określiłam charakterystyki przepływowe i wytrzymałość na ciśnienie zaprojektowanej przeze mnie instalacji oraz sprawdziłam funkcjonalności DM poprzez modyfikacje nadawy.

W pracy tej kontynuowałam również badania nad określeniem frakcji NOM usuwanych przez omawianą DM. Generalnie określone zostały cztery podstawowe frakcje NOM, które są odpowiedzialne za fouling i są to białka, aminocukry, polisacharydy oraz związki poli(hydroksy-aromatyczne) [16]. Warstwa cząstek HAOPs selektywnie usuwała frakcje o wysokiej zawartości aminokwasów z wody powierzchniowej a także większość fluoroforów. Dodatkowo wykonałam pełną charakterystykę widm fluorescencyjnych. Analiza EEM (z ang. *Excitation Emission Matrix - EEM*) wykazała, że substancje humusowe i fulwowe, jak również organiczne związki aromatyczne oraz białka aromatyczne, zostały skutecznie zatrzymane na warstwie HAOPs. Dane spektroskopii fourierowskiej w podczerwieni (FT-IR) potwierdziły wnioski dotyczące substancji humusowych i fulwowych, ale w mniejszym stopniu potwierdzają stopień usunięcia białek.

Ponieważ biopolimerowe składniki NOM są również uważane za istotny składnik powodujący fouling. W pracy tej wykonałam oznaczenie TEP (z ang. *Transparent Exopolymer Particles*) mające

na celu określenie obecności i wpływu egzopolimerów. Dane z analizy TEP sugerują, że HAOP usuwa także niefluorescencyjne polisacharydo-podobne związki.

**[H4]** NOM są mieszaniną różnych struktur chemicznych o różnych właściwościach. Mogą one zdecydowanie różnić się między sobą w zależności od miejsca pochodzenia. Pomimo wielu prac poświęconych NOM nie udało się jednoznacznie określić ich budowy oraz sprecyzować wszystkich cech tych związków mających istotne znaczenia dla blokowania membran. Stosuje się różnego rodzaju oznaczenia mające na celu identyfikację składników NOM odpowiedzialnych za fouling. Dodatkowo jakość wody zasilającej może mieć znaczący wpływ na powstawanie foulingu. Stąd też w pracy tej poszerzyłam identyfikację frakcji NOM poprzez scharakteryzowanie wody zasilającej i wody oczyszczonej przez warstwę HAOPs, przy użyciu spektroskopii fluorescencyjnej. A do oceny skuteczności tego procesu wykorzystałam metodę PARAFAC (z ang. *Parallel Factor Analysis*). Badania te potwierdzają skuteczność analizowanej DM w retencji związków organicznych a zwłaszcza substancji humusopodobnych, a w szczególności karboksylowych i alkoholowych grup funkcyjnych.

**[H5]** Zastosowanie DM składającego się z HAOPs eliminowało tą część NOM która odpowiadała w głównej mierze za blokowanie membran. Metoda ta jest skuteczna nie tylko w usuwaniu NOM, ale również znacznie zmniejsza stopień zatkania się podczas filtracji porów membrany właściwej. Aby zrozumieć zjawisko foulingu, opracowano kilka modeli matematycznych. W niniejszej pracy opisałam mechanizm blokowania porów podczas filtracji na omawianej DM. Uzyskane wyniki sugerują, że w zależności od zastosowanego systemu oraz właściwości chemicznych i fizycznych filtrowanej wody różne modele mogą mieć zastosowanie do matematycznego opisu tego procesu. W analizowanym przypadku jednak, mechanizm blokowania porów najlepiej opisuje model całkowitego zatykania porów.

**[H6]** Jedną z metod kontroli blokowania się membran jest stosowanie regularnego czyszczenia chemicznego. Opracowanie odpowiedniej procedury czyszczenia ma zapewnić usunięcie zanieczyszczeń przywracając wydajność a w dalszej konsekwencji selektywność membrany. Ekspozycja na chemiczne środki czyszczące może zmniejszyć wydajność i prowadzić do degradacji membran ultrafiltracyjnych z polieterosulfonu (PES). Dlatego też przeprowadzono badania mające określić wpływu środków chemicznych stosowanych do czyszczenia membran na degradację materiału, z którego jest wykonana membrana. Przeanalizowałam wpływ najczęściej stosowanych związków takich jak: NaOH, HCl i NaOCl. Zaobserwowałam znaczące zmiany we właściwościach materiału PES membran w przypadku stosowania NaOCl. Zmiany te były analizowane przy użyciu mikroskopii SEM, spektroskopii FTIR, pomiaru kąta zwilżania i hydraulicznej oceny wydajności membran. Obrazy SEM zanieczyszczonych i niezanieczyszczonych membran potwierdziły, że zanieczyszczenia początkowo osadzają się i stopniowo pokrywają większość powierzchni membrany. Po każdym z dziesięciu cykli

czyszczenia zaobserwowano usunięcie większości osadzonego materiału z powierzchni membrany. Jednakże, analiza FTIR wykazała zmiany chemiczne w grupach funkcyjnych membrany. Porównując wyniki zastosowania każdego ze środków czyszczących, potwierdziłam, że NaOCl najszybciej wywołuje degradację membrany pomimo stosowania łagodnych warunków czyszczenia. Zaobserwowałam zmiany właściwości powierzchni, morfologii i wydajności hydraulicznej, które sugerują, że NaOCl może powodować starzenie się membrany PES po dłuższym czasie ekspozycji.

**[H7]** Systematyczny wzrost ilości zanieczyszczeń w wodach powierzchniowych tym fosforu stanowi poważny problem dla środowiska wodnego. Źródłem fosforu w wodach powierzchniowych są związki mineralne, ale również z rozkład materii organicznej. Poszukując nowych zastosowań omawianej DM sprawdziłam jej skuteczność w usuwaniu fosforu również w obecności NOM. W pracy tej przeprowadziłam eksperymenty filtracyjne z wodą powierzchniową, dodatkowo również wykonałam testy filtracyjne z wodą syntetyczną. Głównym celem badań było określenie skuteczności usuwania fosforu w obecności związków organicznych. Określiłam wpływ obciążenia powierzchni HAOPs na zmiany TMP. Przeanalizowałam kinetykę i wykonałam modelowanie procesu adsorpcji na DM oraz wpływ pH, siły jonowej, na efektywność usuwania fosforu. W eksperymentach adsorpcyjnych, analizowałam dane kinetyczne i izotermy adsorpcji, stosując modele pseudo-pierwszego i pseudo-drugiego rzędu oraz modele Langmuira i Freundlicha. Wyniki wskazują, że izoterma adsorpcji Langmuira najlepiej pasuje do danych doświadczalnych (0,9894). Kinetyka adsorpcji fosforu na warstwie HAOPs najlepiej opisuje model pseudo-drugiego rzędu, a najlepszą redukcję uzyskano przy pH 6-7 (średnio 96,65%). Wzrost siły jonowej nie wpłynął znacząco na efektywność usuwania fosforu. Wyniki tych badań wskazują na skuteczność HAOP w usuwaniu NOM do 92% w eksperymentach filtracyjnych. W przypadku fosforu wydajność usuwania była zróżnicowana. Dla najwyższej dawki HAOPs stopień usunięcia fosforu wynosił do  $93 \pm 5\%$ . Taką samą skuteczność usuwania zaobserwowano dla najniższej dawki, natomiast dla dawki  $17 \text{ g/m}^2$  HAOPs wahania były większe i wynosiły od 64,7% do 92%. Uzyskane wyniki wskazują, że testowana DM może mieć zastosowanie nie tylko do usuwania NOM ale również do usuwania fosforu z wód powierzchniowych. Omawiana DM sprawdza się najlepiej w przypadku wysokiego stężenia fosforu w wodzie. Proces ten wymaga jednak dalszych badań i optymalizacji jego parametrów.

**[H8]** W pracy tej omówiłam usuwanie NOM z wody powierzchniowej na membranie wytworzonej za pomocą elektroprzędzenia z poliakrylonitrylu (PAN). Dodatkowo przeanalizowałam możliwość zastosowania tak wytworzonej membrany jako struktury podtrzymującej cząstki HAOPs. W celu oceny skuteczności usuwania NOM zastosowałam po raz kolejny kilka technik analitycznych zarówno w odniesieniu do wody surowej, jak i *permeatu*

Zbadałam wydajność usuwania zanieczyszczeń z membrany PAN i DM składającej się z PAN pokrytej cząstkami HAOPs. Omawiane membrany scharakteryzowałam za pomocą spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera (FTIR), skaningowego mikroskopu elektronowego i spektrometru rentgenowskiego z dyspersją energii (SEM-EDS) oraz spektroskopii fotoelektronów (XPS). W przypadku filtracji wody z jeziora Ontario, wydajność HAOPs w usuwaniu NOM wynosiła 56% mierzona absorbancją  $UV_{254}$ , natomiast w przypadku pierwotnej membrany PAN wydajność usuwania wynosiła tylko 13%. Przeprowadziłam również kilka doświadczeń filtracyjnych z wodą syntetyczną. W przypadku filtracji składników NOM o dużej masie cząsteczkowej, takich jak kwas humusowy (HA), współczynnik retencji HA utrzymywał się na poziomie powyżej 97% związków aromatycznych NOM i powyżej 43% całkowitego węgla organicznego (TOC). Dodatkowo, adsorpcja HA przez HAOPs została dopasowana do modeli izoterm (model Langmuira i Freundlicha). Wyniki wykazały, że model Langmuira lepiej pasuje do eksperymentalnych danych niż model Freundlicha. Kinetykę adsorpcji HA na warstwie HAOPs dopasowano również do modelu pseudo-pierwszego rzędu i pseudo-drugiego rzędu, a dla początkowego stężenia HA wynoszącego 19,9 mg/L równanie pseudo-pierwszego rzędu lepiej pasowało do danych eksperymentalnych ze współczynnikiem korelacji  $R^2 = 0,8336$ . Wyniki pokazują, że filtracja z wykorzystaniem elektroprzędzonej membrany PAN jako nośnika dla warstwy HAOPs jest dobrym rozwiązaniem zwłaszcza pod względem uzyskiwanego niewielkiego wzrostu ciśnienia na takich DM jednak wymaga optymalizacji.

### Podsumowanie

Przedstawiony jako rozprawa habilitacyjna cykl publikacji pod wspólnym tytule „**Optymalizacja mechanizmów usuwania naturalnych substancji organicznych z wody w procesach membranowych.**” dotyczy ważnego i bardzo intensywnie rozwijającego się działu inżynierii środowiska. W celu usunięcia szerokiego spektrum zanieczyszczeń z wód i ścieków stosuje się różne procesy technologiczne i poszukuje się innowacyjnych technik separacji. Procesy membranowe posiadają wiele zalety i coraz częściej znajdują zastosowanie w technologii wody i ścieków. Mogą one pracować jako samodzielne jednostki lub też w układach hybrydowych. **Wybór właściwego rozwiązania układu membranowego zależy nie tylko od wymaganego efektu oczyszczenia, lecz także w znacznym stopniu od charakterystyki nadawy (wody surowej).** Obecność NOM powoduje wystąpienie niekorzystnego zjawiska jakim jest fouling organiczny. W mojej pracy badawczej prowadziłam badania nad kontrolą i minimalizacją tego zjawiska oraz określeniem wpływu NOM na powierzchnię membrany.

Za najważniejsze osiągnięcie przedstawionego cyklu uważam **wykazanie, wszechstronne przebadanie skuteczności działania DM składającej się z HAOPs w usuwaniu NOM oraz minimalizacji foulingu w układach półtechnicznych.**

Przeprowadzone interdyscyplinarne badania umożliwiły na:

Określenie mechanizmu separacji HAOPs. Mechanizm ten opiera się na wzajemnym oddziaływaniu pomiędzy DM a separowanymi NOM aniżeli na mechanizmie sitowym. Opisałam mechanizm, sprawność oraz warunki póltechniczne zastosowania omawianej DM do wstępnego przygotowania nadawy.

Wykazałam zasadność stosowania zintegrowanych/hybrydowych układów technologicznych z HAOPs. Zastosowanie metalowej siatki filtracyjnej zamiast konwencjonalnej membrany ultrafiltracyjnej jako nośnika DM daje potencjał do przemysłowego wykorzystania testowanego rozwiązania. W konsekwencji rozwiązanie to pozwala obniżyć TMP, a tym samym zmniejszyć koszty eksploatacji takich systemów. Zastosowanie innego materiału np. nylonowego jako warstwy podtrzymującej DM powodowało praktycznie brak wzrostu TMP przez dwa tygodnie. Jednak powodowało trudności technologiczne w płukaniu.

W proponowanym procesie oczyszczania wstępnego woda surowa przechodzi przez DM składającej się z cząstek HAOPs następuje poprawa efektywności transportu i separacji. W omawianym procesie DM

- usuwa NOM lepiej niż konwencjonalne oczyszczanie z wykorzystaniem soli glinu.
- może ona być wypłukiwana z systemu raz dziennie
- woda po wstępnym podczyszczeniu może być dalej skutecznie oczyszczana za pomocą filtracji membranowej przy zasadniczo zerowym *foulingu*.

Najważniejsze zalety opisanego procesu to:

- znaczna redukcja zanieczyszczenia i związanych z tym kosztów energii potrzebnej do obsługi systemu membranowego,
- skuteczniejsze niż w konwencjonalnych systemach usuwanie NOM, co prowadzi do zmniejszenia ilości ubocznych produktów dezynfekcji i tym samym nie występuje konieczność zastosowania dodatkowych procesów pozwalających spełnić wymogi i regulacji dotyczące jakości wody,
- wyeliminowanie konieczności mieszania koagulanta w zbiornikach na początku procesu oczyszczania – co powoduje znaczne zmniejszenie miejsca pozwalając na produktywnie jego wykorzystanie przestrzeni,
- znacznie rzadsze płukanie DM, co wpływa na oszczędność energii i zmniejszające zużycie armatury a tym samym zmniejszenie koszty konserwacji,
- współczynnik odzysku wody na poziomie >95%,
- łatwiejsze odwadnianie i suszenie osadów w porównaniu do konwencjonalnych sposobów.

Wynikiem prac doświadczalnych przeprowadzonych w ramach zaplanowanych badań były publikacje określające zastosowanie membran do usuwania NOM jak również sprawdzenie

wpływu czyszczenia membran środkami chemicznymi po filtracji wody powierzchniowej. Badania te przeprowadziłam w celu oceny wpływu typowych środków czyszczących na właściwości membran z polieterosulfonu podczas ekspozycji na krótkotrwałe działanie tych środków. W badaniach tych potwierdziłam niekorzystny wpływ środków chemicznych zwłaszcza NaOCl na morfologię membrany. Zatem bezpośrednia filtracja wody powierzchniowej prowadzi do konieczności stosowania czyszczenia chemicznego a to z kolei wpływa niekorzystnie na żywotność membrany.

Obecnie w zakresie moich zainteresowań znajdują się również modyfikacje materiałów polimerowych celem zwiększenia możliwości separacyjnych membran.

Przedstawione prace stanowią mój Autorski wkład w rozwój dyscypliny, jaką jest Inżynieria Środowiska.

### Literatura

- [1] Bodzek M., Konieczny K., Wykorzystanie technik membranowych w uzdatnianiu wody do picia, cz. II – usuwanie związków organicznych, *Technologia wody* 2010, 2(04) 15-31.
- [2] Bodzek M., Konieczny K., Zastosowanie technik membranowych w usuwaniu zanieczyszczeń organicznych ze środowiska wodnego – stan wiedzy, [w:] *zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód*, red. Z. Dymaczewski, J. Jeż Walkowiak, Poznań 2012, 2, 217 254.
- [3] Bodzek M., Przegląd możliwości wykorzystania technik membranowych w usuwaniu mikroorganizmów i zanieczyszczeń organicznych ze środowiska wodnego, *Inżynieria i ochrona* 2013
- [4] Koros W J Ma Y H Shimidzu T .J *membr sci* 120, 149
- [5] Li, L.; Xu, G.; Yu, H. Dynamic. Membrane filtration: formation, filtration, cleaning and applications. *Chem. Eng. Technol.* 2017, 44, 7–18.
- [6] Field R. 2008, *Fundamentals of fouling, membranes for water treatment: volume 4*. Edited by Klaus-viktor Peinemann and Suzana Pereira Nunes, 2010 Wiley-vch verlag gmbh & co. kga, weinheim isbn: 978-3-527-31483-6
- [7] Nguyen, T., Fan, I., Roddick, F.A., Harris, J.L., 2009. A comparative study of microfiltration and ultrafiltration of activated sludge-lagoon effluent. *Desalination* 236, 208e215
- [8] Franken ACM. *Prevention and control of membrane fouling: practical implications and examining recent innovations*. Membraan applicatie centrum twente b.v.; 2009.
- [9] Rajesha Kumar, A. F. Ismail, *Fouling control on microfiltration/ultrafiltration membranes: effects of morphology, hydrophilicity, and charge applied polymer science*, 2015 Wiley periodicals, inc. *J. Appl. Polym. Sci.* 2015, 132, 42042 <https://doi.org/10.1002/app.42042>
- [10] Blanpain-avet P., Fillaudeau I., Lalande M., *Investigation of mechanisms governing membrane fouling and protein rejection in the sterile microfiltration of beer with an organic*



membrane, food and bioproducts processing, volume 77, issue 2, 1999, pages 75-89, issn 0960-3085, <https://doi.org/10.1205/096030899532367>.

[11] Basile et al. 2015 Pervaporation, vapour permeation and membrane distillation: principles and membrane distillation principles and applications, WP 23emembrane publishing

[12] Zhao I in. 2000 Y.J. Wu K F Wang Z J Zhaao L., Lis SS, 2000 fouling and cleaning of membrane a literature review J. Environ Sci 12 241-251

[13] Li, L.; Xu, G.; Yu, H. Dynamic. Membrane filtration: formation, filtration, cleaning and applications. Chem. Eng. Technol. 2017, 44, 7–18.

[14] Syed Z Abdullah, Pierre R Bérubé, Assessing the effects of sodium hypochlorite exposure on the characteristics of PVDF based membranes, Water res. 2013 sep 15;47(14):5392-9. Doi: 10.1016/j.watres.2013.06.018. epub 2013 jun 28.

[15] Hajibabania A., Antony A., Leslie G., Pierre Le-Clech, Relative impact of fouling and cleaning on PVDF membrane hydraulic performances, separation and purification technology, volume 90, 2012, pages 204-212, issn 1383-5866, <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.03.001>.

[16] Rajca M, Bodzek M., Wpływ naturalnych substancji organicznych w wodzie powierzchniowej na fouling w procesie ultrafiltracji <http://wis.pol.lublin.pl/kongres3/tom1/27.pdf> (2021-08-23)

[17] Kabsch-Korbutowicz M., Zaawansowane metody usuwania naturalnych substancji organicznych z wody, monografie komitetu inżynierii środowiska pan, 2012, 92.

[18] Huang, Haiou, Schwab, K., Jacangelo, J.G., 2009. Pretreatment for low pressure membranes in water treatment: a review. Environ. Sci. Technol. 43 (9), 3011e3019. <http://dx.doi.org/10.1021/es802473r>. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es802473r>

[19] Lee S., Kim S., Cho J., Hoek E M.V., Natural organic matter fouling due to foulant–membrane physicochemical interactions, Desalination, volume 202, issues 1–3, 2007, p. 377-384, issn 0011-9164, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.12.077>.

[20] Kim J.H., Kim C.K., Ultrafiltration membranes prepared from blends of polyethersulfone and poly(1-vinylpyrrolidone-co-styrene) copolymers, Journal of membrane science, volume 262, issues 1–2, 2005, pages 60-68, issn 0376-7388, <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2005.04.003>.

[21] Kabsch-Korbutowicz M., Effect of Al coagulant type on natural organic matter removal efficiency in coagulation/ultrafiltration process. Desalination. 2005, vol. 185, nr 1-3, s. 327-333.

[22] Kabsch-Korbutowicz M., Analiza przydatności żywicy MIEK do wstępnego oczyszczania wody przed procesem ultrafiltracji. W: membrany i procesy membranowe w ochronie środowiska. [red. K. Konieczny, M. Bodzek]. Gliwice komit. Pof.. Śr. PAN, 2006. s. 513-519.(monograf–e - polska akademia nauk. komitet inżynierii środowiska; nr 36)

[23] Pearce, UF/MF membrane water treatment – principles & design water treatment academy, 2011

[24] Huang H, Schwab K and Jacangelo JG, Pretreatment for low pressure membranes in water treatment: a review. Environ sci technol 43: 3011–3019 (2009)

- [25] Carroll, T., King, S., Gray, S.R., Bolto, B.A., Booker, N.A., 2000. the fouling of microfiltration membranes by nom after coagulation treatment. *water res.* 34 (11),
- [26] Cho, J.W., Amy, G., Pellegrino, J., 2000. Membrane filtration of natural organic matter, comparison of flux decline, nom rejection, and foulants during filtration with three uf membrane. *desalination* 127 (2000), 283e289
- [27] Mozla i Tomaszewska, Treatment of surface water using hybrid processes adsorption on PAC and ultrafiltration *Desalination* 162 (2004) pp 23-31
- [28] Fan, L., Nguyen, T., Roddick, F.A., Harris, J.L., 2008. Low-pressure membrane filtration of secondary effluent in water reuse: pretreatment for fouling reduction. *J. membr. sci.* 320 (2008), 135e214. <http://dx.doi.org/10.1016/j.memsci.2008.03.058>
- [29] Hilal, N., Ogunbiyi, Oluwaseun O., Miles, Nick J., Nigmatullin, Rinat, 2005. Methods employed for control of fouling in mf and UF membranes: a comprehensive review. *Sep. sci. technol.* 40 (10), 1957e2005. <http://dx.doi.org/10.1081/ss-200068409>. 2861e2868
- [30] Howe, K.J., Clark, M.M., 2002. Fouling of microfiltration and ultrafiltration membranes by natural waters. *Environ. sci. technol.* 36 (16), 3571e3576.
- [31] Howe, K.J., Clark, M.M., 2006. Effect of coagulation pretreatment on membrane filtration performance. *J. Am. water works assoc.* 98 (4), 133e146
- [32] Huang, Haiou, Schwab, K., Jacangelo, J.G., 2009. Pretreatment for low pressure membranes in water treatment: a review. *environ. sci. technol.* 43 (9), 3011e3019. <http://dx.doi.org/10.1021/es802473r>. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/es802473r>
- [33] Cheng-Fang Lin, Yuh-Jay Huang, Oliver J Hao, Ultrafiltration processes for removing humic substances: effect of molecular weight fractions and PAC treatment, *water research*, volume 33, issue 5, 1999, pages 1252-1264, issn 0043-1354, [https://doi.org/10.1016/s0043-1354\(98\)00322-4](https://doi.org/10.1016/s0043-1354(98)00322-4).
- [34] Anantharaman A, Chun Y, Hua T, Chew JW and Wang R, Pre-deposited dynamic membrane filtration: a review. *water res* 173:115558 (2020).
- [35] Usman M., Aida A., Belkasmi I., Ioannis A., Kastoyiannisb A., Ernst M. Pre-deposited dynamic membrane adsorber formed of microscale conventional iron oxidebased adsorbents to remove arsenic from water: application study and mathematical modeling *Wileyonlinelibrary.com*, doi 10.1002/jctb.6728
- [36] Ersahin Me, Ozgun H, Dereli RK, Ozturk I, Roest K and van Lier JB, A review on dynamic membrane filtration: materials, applications and future perspectives. *bioresour technol* 122:196–206 (2012).
- [37] Matsuyama H, Shimomura T and Teramoto M, Formation and characteristics of dynamic membrane for ultrafiltration of protein in binary protein system. *J membr sci* 92:107–115 (1994).
- [38] Li, L., Xu, G., Yu, H., 2018 Dynamic membrane filtration: formation, filtration, cleaning, and applications. *chem. eng. technol.* 41 (1), 7e18



- [39] Zhang X, Wang Z, Wu Z, Lu F, Tong J and Zang L, Formation of dynamic membrane in an anaerobic membrane bioreactor for municipal wastewater treatment, *Chem eng technol* 165:175–183 (2010).
- [40] Millanar-marfa, J.M.J.; Borea,L.; de Luna, M.D.G.; Belgiorno, V.; Naddeo, V. Self-forming dynamic membrane: a review *frontiers in water-energy-nexus—nature-based solutions, Advanced technologies and best practices for environmental sustainability. in proceedings of t<sup>he</sup> 2nd waterenergy nexus conference, Aalerno, Italy, 14–17 November 2018; pp. 129–132.*
- [41] Usman M, Zarebanadkouki M, Waseem M, Katsoyiannis IA and Ernst M, Mathematical modeling of arsenic(v) adsorption onto iron oxyhydroxides in an adsorption-submerged membrane hybrid system. *j. hazard mater* 400:123221 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123221>
- [42] Aghili F, Ghoreyshi AA, Rahimpour A and Rahimnejad M, Coating of mixed-matrix membranes with powdered activated carbon for fouling control and treatment of dairy effluent. *process Saf environ* 107: 528–539 (2017).
- [43] Lu D, Cheng W, Zhang T, Lu X, Liu Q, Jiang J, Hydrophilic Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dynamic membrane mitigating fouling of support ceramic membrane in ultrafiltration of oil/water emulsion. *25embraurif technol* 165: 1–9 (2016).
- [44] Tanny GB and Johnson JS, The structure of hydrous zr(iv) oxide–polyacrylate membranes: poly(acrylic acid) deposition. *j appl polym sci* 22:289–297 (1978)
- [45] Zhang, J., Cai, Z., Cong, W., Su, Z., Ouyang, F., 2002. Mechanisms of protein fouling in microfiltration. II. adsorption and deposition of proteins on microfiltration membranes. *Separ. sci. technol.* 37 (13), 3039e3051
- [46] Byun S., Davies S. H., Alpatova A. L., corneal L. M., baumann M. J., Tarabara .& Masten S. J. 2011 MN oxide coated catalytic membranes for a hybrid ozonation-membrane filtration: comparison of Ti, Fe and Mn oxide coated membranes for water quality. *Water research* 45, 163–170. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.08.031> .
- [47] Park H., Kim Y., AN B. & Choi H. 2012 Characterization of natural organic matter treated by iron oxide nanoparticle incorporated ceramic membrane-ozonation process. *Water research* 46, 5861–5870. doi: 10.1016/j.watres.2012.07.039
- [48] Ma B., Yu W., Jefferson W. A., Liu H. & Qu J. 2015 Modification of ultrafiltration membrane with nanoscale zerovalent iron layers for humic acid fouling reduction. *water research* 71, 140–149. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.12.034>
- [49] Yu W., Brown M. & Graham N. J. D. 2016 Prevention of PVDF ultrafiltration membrane fouling by coating mno<sub>2</sub> nanoparticles with ozonation nature, *Scientific reports*6, 30144. doi: 10.1038/srep30144
- [50] Chang Y., Benjamin M.M., Iron oxide adsorption and UF to remove nom and control fouling, *J. Am. water works assoc.* 88 (1996) 74–88

- [51] Chang Y.-J., Choo K.-H., Benjamin M.M., Reiber S., Combined adsorption-UF process increases toc removal, *J. Am. water works assoc.* 90 (1998) 90–102.
- [52] Cai, Z.; Kim, J.; Benjamin, M.M. Nom removal by adsorption and membrane filtration using heated aluminum oxide particles. *environmental. sci. technol.* 2008, 42, 619–623.
- [53] Kim, J.; Cai, Z.; Benjamin, M.M. Effects of adsorbents on membrane fouling by natural organic matter. *J. membr. sci.* 2008, 310, 356–364. [
- [54] Kim, J.; Cai, Z.; Benjamin, M.M. Nom fouling mechanisms in a hybrid adsorption/ membrane system. *J. membr. sci.* 2010, 349, 35–43.
- [55] Kim, J.; Shi, W.; Yuan, Y.; Benjamin, M.M. A serial filtration investigation of membrane fouling by natural organic matter. *J. membr. sci.* 2007, 294, 115–126. [
- [56] Lee, G.; Modarresi, S.; Benjamin, M.M. efficient phosphorus removal from mbr effluent with heated aluminum oxide particles (haops). *water res.* 2019, 159, 274–282. [
- [57] Modarresi, S.; Benjamin, M.M. Using adsorbent mixtures to mitigate membrane fouling and remove nom with microgranular adsorptive filtration. *j. membr. sci.* 2018, 573, 528–533.
- [58] Malczewska, B. Evaluation of effectiveness of natural organic compounds removal from water in hybrid processes. *J. Land Water Dev.* 2016, 30, 81–85. [
- [59] Malczewska, B.; Benjamin, M.M. Efficacy of hybrid adsorption/membrane pretreatment for low. *Water res.* 2016, 99, 263–271. [
- [60] Malczewska, B.; Liu, J.; Benjamin, M.M. Virtual elimination of mf and UF fouling by adsorptive precoat filtration. *J. membr. sci.* 2015, 479, 159–164. [
- [61] Manamperuma, L.D.; Vik, E.A.; Benjamin, M.; Cai, Z.; Skjefstad, J. Effects of a novel adsorbent on membrane fouling by natural organic matter in drinking water treatment. *Membranes* 2019, 9, 151.
- [62] Liu, J., Benjamin M.M. Effect of water chemistry and operational conditions on  $\mu$ GAF process performance, *water res.* 2016 nov 15;105:76-84. doi: 10.1016/j.watres.2016.08.048.
- [63] Kim, K.J., Jang, A., 2018. Presence of fe-al binary oxide adsorbent cake layer in ceramic membrane filtration and their impact for removal of HA and BSA. *Chemosphere* 196, 440e452

## 2. Pozostałe osiągnięcia badawcze

Moje zainteresowania naukowe obejmują zagadnienia związane głównie z inżynierią środowiska a w szczególności zagadnienia dotyczące filtracji membranowej, zanieczyszczeń membrany, oporów przepływu płynów w tym nienewtonowskich, ale również jakości wody i gospodarki wodnej.

Moje pozostałe osiągnięcia badawcze związane były z następującymi tematami naukowo-badawczymi: **określeniem własności hydraulicznych i oporów przepływu medium płynącego w rurociągach** (tab.2). Określenie oporów przepływu, a zwłaszcza opis przepływu cieczy nienewtonowskich oraz określenie zależności ciśnienia i temperatury od lepkości transportowanego płynu są istotnymi zależnościami technologicznymi, które bezsprzecznie wpływają na efektywność hydrotransportu. W pracach obejmujących tę tematykę badawczą proponuję wykorzystanie parametrów reologicznych jako postawy do projektowania instalacji popowo-rurowych oraz ciągów technologicznych. Jest to tematyka, która stanowi kontynuację badań prowadzonych przy opracowywaniu mojego doktoratu. Dotyczył on wykonania pełnej charakterystyki osadów ściekowych pozwalającej na podjęcie decyzji o sposobie ich utylizacji oraz na prawidłowe zaprojektowanie i eksploatację ciągów technologicznych oczyszczalni ścieków. Przepompowanie osadów ściekowych w ciągu technologicznym oczyszczalni wymaga znajomości parametrów technicznych, jak również dynamicznych, w tym parametrów reologicznych. Podstawowym celem przeprowadzonych badań było określenie własności reologicznych osadów ściekowych pochodzących z dolnośląskich oczyszczalni ścieków. Przeprowadzone badania reologiczne mogą stanowić podstawę do optymalizacji procesów technologicznych zachodzących w oczyszczalni ścieków, biorąc pod uwagę korelację uwodnienia osadu i jego parametrów reologicznych.

Po doktoracie również badałam hydrotransport mieszanin ze szczególnym uwzględnieniem mieszanin wysokozaęszczonych w instalacjach rurowych, w tym mieszaniny popiołów (mieszaniny popiołu i wody technologicznej tj. hydromieszaniny). Dodatkowo analizowałam wpływ domieszki upłynniającej na właściwości reologiczne hydromieszaniny pochodzącej z elektrociepłowni. Badany popiół pochodził ze spalania węgla brunatnego w kotle energetycznym z paleniskiem niskoemisyjnym. W pracach tych określiłam właściwości płynięcia zaęszczonych mieszanin popiołowo-wodnych za pomocą odpowiedniego modelu reologicznego. Następnie obliczyłam straty ciśnienia przy przepływie analizowanej mieszaniny na podstawie dobranego modelu, a później przeprowadziłam weryfikację otrzymanych rezultatów obliczeń z wynikami badań półtechnicznych przeprowadzonych w instalacji doświadczalnej. Badania związane z reologią takich mieszanin stanowią istotny wkład w rozwój metod ich transportu z miejsca powstawania do miejsca unieszkodliwiania. Reologiczne zachowanie się mieszaniny popiołowo- wodnej uzależnione jest od koncentracji wagowej Cs. Przydatność

popiołów do uszczelniania czy wykonania podsadzki może być określona na podstawie minimalnych proporcji masowych popiołu w stosunku do wody.

**Tabela 2.** Wybrane publikacje dotyczące z analizy oporów przepływu i parametrów reologicznych

<b>Badania nad oporami przepływu i parametrami reologicznymi</b>	
1.	<b>Malczewska B.,</b> Biczynski A. 2017. <i>Comparison between different models for rheological characterization of sludge from settling tank.</i> <b>Journal of Water and Land Development.</b> No. 34 p. 191–196. DOI: 10.1515/jwld-2017-0053; DOI: 10.1515/jwld-2017-0077
2.	Rongchang Luo, Jianxin Xia, Bin Cao, <b>Malczewska Beata.</b> 2017. <i>Influence of concentration and additives on rheological properties of coal water slurry</i> 18th International Conference on Transport & Sedimentation of Solid Particles, [Editors: Jerzy Sobota, Pavel Vlasák, Václav Matoušek ; Prague, Czech Republic, 11-15 September 2017 ; Wrocław University of Environmental and Life Sciences, Faculty of Environmental Engineering and Geodesy, Poland and Institute of Hydrodynamics, Czech Academy of Sciences, Prague, Czech Republic 978-83-7717-269-8 0867-7964 Wrocław : Wrocław University of Environmental and Life Sciences, 2017 s. 193-200
3.	<b>Malczewska Beata,</b> Stanisław Czaban, Głowski Robert, Świerżko Robert, Kiwacz Tadeusz, Jerzy Sobota. 2014. <i>Badania wpływu preparatu upłynniającego na właściwości reologiczne mieszaniny popiołowo-wodnej.</i> <b>Ochrona Środowiska</b> 1230-6169 2014 Vol. 36 nr 3 s. 65-70 <b>IF:0.392</b>
4.	<b>Malczewska Beata,</b> Czaban Stanisław, Głowski Robert, Świerżko Robert, Kiwacz Tadeusz, Sobota Jerzy. 2013. <i>Badania liniowych strat ciśnienia podczas przepływu mieszaniny dwufazowej w rurociągu na przykładzie mieszaniny popiołowo-wodnej.</i> <b>Ochrona Środowiska</b> 1230-6169 2013 Vol. 35 nr 2 s. 69-72 <b>IF: 0.619</b>
5.	<b>Malczewska Beata,</b> Czaban Stanisław, Głowski Robert, Świerżko Robert, Kiwacz Tadeusz. 2013. <i>Wstępne badania własności reologicznych mieszanin popiołowo-wodnych.</i> <b>Ekonomia i Środowisko</b> 0867-8898 2013 Nr 2 (45) s. 128-136
6.	<b>Malczewska Beata.</b> 2013. <i>Wybrane właściwości reologiczne a proces płynięcia osadów.</i> <b>Gaz, Woda i Technika Sanitarna</b> 0016-5352 2013 T. 87 nr 2 s. 61-64
7.	Sobota Jerzy, <b>Malczewska Beata,</b> Teppel-Szadorska Angelika. 2013. <i>Limit velocity for mixture flow in pipeli-es - another attempt,</i> International Conference on Transport & Sedimentation of Solid Particles. Edited by Jerzy Sobota and Hartmut Eckstädt; 18-20 September, 2013, Rostock, Germany ; Wrocław University of Environmental and Life

	Sciences, Poland and University of Rostock, Germany held in Rostock. Germany 978-83-927084-9-0 1232-3071 s. 345-351
8	Ye Jian, Xia Jianxin, <b>Malczewska Beata</b> , Hei Pengfei. 2011. <i>Pressure loss of coarse particle hydraulic transport in horizontal pipeline</i> /W: 15th International Conference on Transport & Sedimentation of Solid Particles / ed. Jerzy Sobota ; Wrocław, Poland, September 6-9, 2011 ; Wrocław University of Environmental and Life Sciences - Faculty of Environmental Engineering. – Wrocław, Faculty of Environmental Engineering and Geodesy - Wrocław University of Environmental and Life Sciences, 20–1. - s. 365-377
9.	<b>Malczewska Beata</b> . 2009. <i>Możliwości wykorzystania pomiarów wiskozymetrycznych w technologii oczyszczania ścieków</i> , <b>Gaz, Woda i Technika Sanitarna</b> T. 83 nr 2 s. 26-29
10	<b>Malczewska Beata</b> . 2009. <i>Variability of rheological parameters in function of gravimetric concentration of sludge</i> , <b>Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. Environmental Development</b> 2009 Vol. 12 issue–1. - 7
11	<b>Malczewska Beata</b> . 2008. <i>Sewage sludge rheological properties variability in dependence of drawing sludge samples at different times</i> . <b>Archives of Environmental Protection</b> 2008 Vol. 34 nr 4 s. 109-116 <b>IF: 0.284</b>
	<b>Sumaryczny Impact Factor 1.295</b>

Kolejny kierunek moich badań dotyczy **określenia jakości wody i usuwania z niej zanieczyszczeń (tab. 3)**. Celem tych badań było ustalenie zakresu wartości oraz sezonowej zmienności stężeń niektórych wskaźników fizykochemicznych wód podziemnych, powierzchniowych i opadowych.

Woda przeznaczona na potrzeby własne gospodarstw wiejskich, pobierana z indywidualnych ujęć nie musi być poddana kontroli jakości przez organy państwowe. Na skutek braku nadzoru organów Państwowej Inspekcji Sanitarnej nad indywidualnymi ujęciami wody, odbiorcy indywidualni narażeni są na poważne ryzyko związane z możliwością przekroczeń dopuszczalnych parametrów dla wody przeznaczonej do picia. Wody podziemne często zawierają nadmierne stężenia substancji mineralnych i organicznych, w szczególności żelaza i magnezu. Żelazo, mangan i metale śladowe występują naturalnie w środowisku, jednak pewne ilości tych pierwiastków mogą pochodzić ze źródeł antropogenicznych. Dodatkowo zakłady przemysłowe oraz gospodarstwa rolne stwarzają również zagrożenie skażenia chemicznego wód podziemnych. W artykułach związanych z tym tematem badano stężenia wybranych związków w wodzie ze studni zlokalizowanych na prywatnych posesjach. Wybrane pozycje publikacyjne zaprezentowałam w tabeli 3.

**Tabela 3** Wybrane publikacje dotyczące badań jakości wód i skuteczność usuwania z nich zanieczyszczeń

<b>Badania jakości wód i skuteczności usuwania z niej zanieczyszczeń</b>	
12	<b>Malczewska Beata. 2021.</b> <i>Preparation and Performance of PAN–PAC Nanofibers by Electrospinning Process to Remove NOM from Water</i> <b>Materials</b> , 2021, vol. 14, nr 16, s.1-9, Numer artykułu:4426. <a href="https://doi.org/10.3390/ma14164426">DOI:10.3390/ma14164426</a> <b>IF 3.623</b>
13	<b>Malczewska Beata</b> , Czaban Stanisław, Jawecki Bartosz. 2018. <i>Occurrence of iron, manganese, and selected trace elements in water from household wells exposed to the impact of a mining area</i> , <b>Journal of Elementology</b> 1644-2296 2018 Vol. 23 Nr 4, s. 1319-1329, tab. ; DOI: 10.5601/jelem.2017.22.4.1547 <b>IF: 0.21</b>
14	<b>Malczewska Beata</b> , Czaban Stanisław, Jawecki, Bartosz. 2018. <i>Changes in the physico-chemical quality of drinking water from wells in selected rural households</i> , <b>Ecological Chemistry and Engineering. A</b> 2018, Vol. 25, nr 2,–97--205
15	Pawęska Katarzyna, Bawiec Aleksandra, <b>Malczewska Beata</b> , Bauerek Aleksandra. 2017. <i>Chemizm płytko zalegających wód gruntowych na przykładzie wybranych miejscowości w gminie Gorzyce</i> , <b>Inżynieria Ekologiczna</b> 2081-139X 2392-0629 2017 Vol. 18, Iss. 1 s. 216-226; DOI: 10.12912/23920629/67740
16	Pawęska Katarzyna, <b>Malczewska Beata</b> , Bawiec Aleksandra, Bauerek Aleksandra. 2016. <i>Zawartość żelaza i manganu oraz wybranych metali ciężkich na przykładzie wód ze studni gospodarczych w gminie Gorzyce</i> , <b>Inżynieria Ekologiczna</b> DOI: 10.12912/23920629/64518
17	Szeląg Zuzanna, <b>Malczewska Beata</b> . 2016. <i>Ocena zmian poboru wody w wybranych miastach województwa dolnośląskiego w latach 2005–2010</i> , <b>Inżynieria Ekologiczna</b> , DOI: 10.12912/23920629//65506
18	Pawęska Katarzyna, Malczewska Beata, Teżyk Barbara. 2013. <i>Analiza zmian stężeń związków azotu w wody do picia z ujęć własnych w gospodarstwach wsi Przeździec</i> , <b>Gaz, Woda i Technika Sanitarna</b> 0016-5352 2013 T. 87 nr 3 s. 110-113, il.
19	Pawęska Katarzyna, <b>Malczewska Beata</b> , Zyglińska Barbara. 2012. <i>Wstępna Analiza stężeń wybranych składników mineralnych w sływach z powierzchni dachów</i> , <b>Gaz, Woda i Technika Sanitarna</b> 2012 T. 86 nr 2 s. 91-94, Il. tab.
20	Pawęska Katarzyna, <b>Malczewska Beata</b> , Zyglińska Barbara. 2011. <i>Zawartość fosforanów w wodach studziennych na przykładzie wsi Przeździec = The characteristics of water from well with taking into account phosphorus compounds form Przeździec village set as an example</i> , <b>Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich</b> 2011. nr 7 s. 169-177
	<b>Sumaryczny Impact Factor 3.833</b>



W swoim dorobku mam również publikacje **dotyczące kształtowania ilości i jakości zasobów wodnych (powierzchniowych i gruntowych) oraz bezpieczeństwa budowli wodnych**. Tematyka ta wynika z działalności dydaktycznej realizowanej w Instytucie Inżynierii Środowiska (tab. 4).

Tematyka realizowana w ramach tej aktywności naukowej jest szczególnie ważna w rozwoju energetyki rozproszonej. Aktualnie poszukuje się nowych rozwiązań, które umożliwią dywersyfikację źródeł energii. Konwencjonalne źródła się wyczerpują, dlatego też coraz większą rolę odgrywa energia odnawialna, tzw. czysta energia. Warunkiem pozyskania energii wody do napędu turbin wodnych jest istnienie w określonym miejscu znacznego spadku dużej ilości wody. W związku z tym budowa zakładu hydroenergetycznego jest najbardziej celowa w okolicy wodospadu lub przepływowego jeziora leżącego w pobliżu doliny. Miejsca takie nie występują jednak często w przyrodzie, toteż w celu uzyskania spadku przeprowadza się odpowiednie prace hydrotechniczne. Najczęściej stosowany sposób wytwarzania spadku wody polega na podniesieniu jej poziomu w rzece za pomocą jazów, czyli konstrukcji piętrzącej wodę w korycie rzeki, lub zapory wodnej piętrzącej wodę w dolinie rzeki. Obiektami hydroenergetycznymi których ilość stale wzrasta są małe elektrownie wodne, budowane przeważnie na istniejących stopniach wodnych. Małe elektrownie wodne są uważane za źródła energii odnawialnej i wykorzystują lokalne możliwości produkcji energii elektrycznej. Do grupy małych elektrowni wodnych zalicza się obiekty o mocy zainstalowanej poniżej 500 kW.

Czynnikami ograniczającym rozwój obiektów hydroenergetycznych są obawy przed dewastacją naturalnych dolin rzecznych poprzez ich zatapianie. W celu ograniczenia negatywnych skutków oddziaływania na ichtiofaunę ujęć wód powierzchniowych, a zwłaszcza elektrowni wodnych, jako środek zabezpieczający zazwyczaj stosowane są różnego rodzaju bariery, najczęściej kraty. Zajmowałam się określeniem optymalnych parametrów ochrony ichtiofauny i możliwości kierowania jej zachowaniem za pomocą Elektronicznego Systemu Odstraszania Ryb (ESOR) przy uwzględnieniu: zmiennej wysokości napięcia pola elektrycznego, różnej szybkości przepływu wody, różnych rozmiarów osobniczych chronionych ryb oraz ich zróżnicowanego kształtu zależnego od przynależności gatunkowej i związanej z nią etologii.

Prowadziłam również badania modelowe mające określić prawidłowość przyjętych rozwiązań projektowych urządzeń zrzutowych zbiornika retencyjnego, czy potencjał do zamulania zbiorników wodnych.

Dodatkowym aspektem uwzględnionym w tych pracach badawczych jest analiza jakości wód powierzchniowych oraz zanieczyszczeń osadów dennych metalami ciężkimi i związkami organicznymi o małej rozpuszczalności i trudno ulegającymi degradacji. Transportowane są one wraz z rumowiskiem przez strumień wody i w końcowym etapie migracji w środowisku zatrzymują się w osadach.

**Tabela 4.** Wybrane publikacje omawiające kształtowanie ilości i jakości zasobów wodnych oraz bezpieczeństwa budowli wodnych

1	Pluskota Paulina., <b>Malczewska Beata</b> , Kempniński Jan. 2018. <i>Waloryzacja przyrodnicza zbiornika retencyjnego Mściwojów</i> , <b>Inżynieria Ekologiczna</b> 2081-139X [p] 2392-0629 [e] Vol. 19, Issue 6, s. 65-70 ; DOI: 10.12912/23920629/95280
2	<b>Malczewska Beata</b> , Gromada Ozana, Jawecki Bartosz. 2014. <i>Monitoring bezpieczeństwa zbiornika wodnego na przykładzie zbiornika Bukówka /Ochrona środowiska na terenach przemysłowych / pod red. Bartosza Jaweckiego, Daniela Ochmana, Tomasza Podolińskiego. 978-83-61389-18-7 Legnica, Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Witelona, s. 105-114</i>
3	<b>Malczewska Beata</b> , Gromada Ozana, Jawecki Bartosz. 2014. <i>Water management and safety of a water reservoir in the case of the Bukówka reservoir / Environment protect in industrial area / edited by Daniel Ochman, Tomasz Podoliński, Bartosz Jawecki. 978-83-61389-42-2 Legnica: Wydawnictwo Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej im. Witelona, s. 103-113</i>
4	Jawecki Bartosz, Mazik Małgorzata, <b>Malczewska Beata</b> . 2013. <i>Ocena naturalności rzeki Oława na wybranym odcinku</i> , <b>Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich</b> , nr 3/i/2013, Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie, s. 89–101 Komisja Technicznej Infrastruktury Wsi
5	Nowak Łukasz, <b>Malczewska Beata</b> , Jawecki Bartosz. 2012. <i>Oddziaływanie stopnia wodnego Brzeg Dolny na populację i kondycję zdrowotną ryb, na przykładzie zachorowalności na czerniaczkę pasożytniczą</i> . <b>Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich</b> , nr 3/IV s. 37-47.
6	<b>Malczewska Beata</b> , Gromada Ozana, Jawecki Bartosz. 2011. <i>Gospodarka zasobami wodnymi na przykładzie gminy i powiatu Strzelin = Water resources management by example of the municipality and mount Strzelin</i> , <b>Infrastruktura I Ekologia Terenów Wiejskich</b> , nr 7 s. 133–143
7	Jawecki Bartosz, Sanetra Agnieszka, <b>Malczewska Beata</b> . 2010. <i>Water protection in the programming of environmental protection in the commune of Nowogrodziec = Ochrona wód w programowaniu ochrony środowiska gminy Nowogrodziec</i> , <b>Teka Komisji Ochrony i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego</b> , PAN Oddz. w Lublinie, T. 7 s. 109-118
8	Jawecki Bartosz, <b>Malczewska Beata</b> , Kowalczyk Tomasz. 2010. <i>Wpływ szuwarów na warunki tlenowe stawu rybnego</i> , <b>Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych</b> , z. 548 cz. 1 s. 179-189
9	<b>Malczewska Beata</b> . 2010. <i>Environmental conditions of hydro-electric power station development based on example of river Bóbr = Uwarunkowania środowiskowe rozwoju</i>



	energetyki wodnej na przykładzie rzeki Bóbr, <b>Teka Komisji Ochrony i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego</b> , PAN Oddz. w Lublinie, T. 7 s. 227-235.
10	<b>Malczewska Beata</b> . 2010. <i>Zmienność zasobów energetycznych wód na przykładzie rzeki Bóbr</i> = Variability of water resources on example of Bóbr river / <b>Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich</b> , 13 s. 167-177
11	Jawecki, Bartosz. <b>Malczewska Beata</b> , Kowalczyk Tomasz 2009. Wpływ szuwarów na warunki tlenowe stawu rybnego /W: Ogólnopolska Konferencja Naukowa: Współczesne Problemy Gospodarki Wodnej i Eksploatacji Systemów Melioracyjnych, pod patronatem J.M. Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. prof. dr. hab. Romana Kołacza. Połączona z jubileuszem 70-lecia urodzin i 45-lecia prac prof. dr. hab. inż. Krzysztofa Nyca ; 24-26 września 2009 r. Wrocław-Polanica, Zdrój ; Instytut Kształtowania i Ochrony Środowiska UP we Wrocławiu, Komitet Melioracji i Inżynierii Środowiska Rolniczego PAN, Dolnośląski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych—we Wrocławiu. 2009 - s. 60.
12	Radczuk Laura, Drabiński Andrzej, Mokwa Marian, Markowska Joanna, Olearczyk Dorota, Gromada Ozana, Pikul Katarzyna, <b>Malczewska Beata</b> . 2008. Program małej retencji wodnej w województwie dolnośląskim
13	Jawecki Bartosz, Kowalczyk Tomasz, <b>Malczewska Beata</b> 2008. <i>Wpływ temperatury powietrza na natlenienie strefy eufotycznej stawu karpiego</i> = An influence of air temperature on oxygen condition in euphotic zone of carp pond
14	Mokwa Marian, <b>Malczewska Beata</b> . 2008. Electro - electronic barriers protecting ichthyofauna against hydro-electric power station turbines, <b>Polish Journal of Environmental Studies</b> 2008 Vol. 17 nr 3A s. 419-422.
15	Mokwa Marian, <b>Malczewska Beata</b> . 2008. The silting influence on the capacity of the Krzywianiec reservoir, <b>Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. Land Reclamation</b> 2008 Vol. 39 s. 121-127
16	Mokwa Marian, <b>Malczewska Beata</b> . 2008. Współczesne tendencje w budowaniu przejść dla ryb, W: Ochrona ichtiofauny w rzekach z zabudową hydrotechniczną : monografia pod red. Mariana Mokwy i Wiesława Wiśniewolskiego. - Wrocław: Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, s. 82-90
17	Mokwa Marian, <b>Malczewska Beata</b> . 2008. Wyniki badań modelowych urządzeń zrzutowych zbiornika Chwalimierz = Model studies of flow intensity through Chwalimierz reservoir overflow structures / <b>Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich</b> , 7 s. 101-112

### 3.      **Udział w projektach badawczych i współpraca z gospodarką**

Pracę naukowo-badawczą rozpoczęłam podczas studiów doktoranckich w ramach, których prowadziłam kompleksowe badania osadów ściekowych ze szczególnym uwzględnieniem ich własności reologicznych. Praca badawcza była realizowana w ramach grantu promotorskiego pt.: „Badanie wybranych własności osadów ściekowych w świetle możliwości ich utylizacji” (Komitet Badań Naukowych, Nr. 3 P06S 029 24), którego kierownikiem był prof. dr hab. inż. Jan Kempieński, promotor mojej rozprawy doktorskiej

Po uzyskaniu stopnia doktora uczestniczyłam również–w szeregu projektów naukowo - badawczych. Poniżej przedstawię najważniejsze zagadnienia zrealizowane:

Byłam wykonawcą w projekcie finansowanym ze źródeł zagranicznych tj. grantu N00014-12-1-0129 z the Office of Naval Research I grantu BES-0504420 z the National Science Foundation (USA). W projekcie tym zajmowałam się testowaniem pod kątem zastosowania przemysłowego DM składającej się z HAOPs. Analizowana DM charakteryzowała się bardzo dobrymi własnościami transportowymi i separacyjnymi (nie powodowała ograniczenia wydajności hydraulicznej membran). Taka membrana skutecznie chroniła membranę pierwotną przed niekorzystnym zjawiskiem towarzyszącym filtracji tj. *foulingiem*. Opracowany przeze mnie proces: „A new method for using micron-sized adsorbent particles to improve membrane performance” stanowił podstawę zgłoszenia do UW Center for Commercialization, UW reference number: 46348 (zgłoszenie patentowe).

Byłam również kierownikiem oraz wykonawcą w projekcie: *Transport rurowy wysokozagęszczonych mieszanin* (N N523 755340 Narodowe Centrum Nauki, 2011). Projekt poświęcony był określeniu oporów przepływu z wykorzystaniem parametrów reologicznych jako podstawy do projektowania instalacji pompowo - rurowych ciągów technologicznych Moim zadaniem było określenie możliwości redukcji oporów podczas przepływu mieszanin dwufazowych.

Dodatkowo byłam też kierownikiem projektu dotyczącego „Prognozowania przemieszczania się zanieczyszczeń wraz z rumowiskiem” (2009) oraz kierownikiem grantu „Uwarunkowania środowiskowe rozwoju energetyki odnawialnej na Dolnym Śląsku na przykładzie rzeki Bóbr” (2008). Projekty te finansowane były przez Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu i były one poświęcone określeniu stopnia zamulania zbiorników wodnych oraz opracowaniu metod ochrony budowli hydrotechnicznych poprzez odpowiednią zabudowę przeciwrumowiskową zlewni lub zastosowanie rozwiązań technicznych ograniczających doływ ciał stałych. Przeprowadziłam również analizę uwarunkowań geograficznych oraz możliwości rozwoju energetyki odnawialnej, a w szczególności małych elektrowni wodnych, na Dolnym Śląsku.

Szeroko pojęta gospodarka wodna wymaga tworzenia magazynów wody, będących źródłem wody pitnej bądź też stanowiących rezerwar dla potrzeb energetycznych.

Byłam również wykonawcą w projekcie realizowanym w ramach Sektorowego Programu Operacyjnego „Rybołówstwo i przetwórstwo ryb 2004-2006” pt. *Badania skuteczności urządzeń do kierowania zachowaniem się ryb na wlotach do ujść wody i przepławek w ramach działania: „Działania innowacyjne i inne”*. W ramach tego projektu analizowano możliwości zastosowania barier elektryczno-elektronicznych wchodzących w skład elektronicznego systemu odstraszenia ryb w celu ich ochrony przed negatywnym działaniem urządzeń hydrotechnicznych. Moim zadaniem była analiza hydrauliczna budowli hydrotechnicznych oraz określenie ich wpływu na środowisko. Dodatkowo zdefiniowana została możliwość wykorzystania energetycznego wód powierzchniowych z uwzględnieniem ochrony ichtiofauny.

Obecnie jestem jednym z wykonawców projektu pt. *„Innowacyjne technologie ograniczenia migracji zasolonych wód podziemnych do wód powierzchniowych w rejonie Obiektu Unieszkodliwiania Odpadów Wydobywczych „Żelazny Most”*”. Projekt ma na celu wdrożenie innowacyjnych metod ograniczania wpływu wód zasolonych z Obiektu Unieszkodliwiania Odpadów Wydobywczych (OUOW) Żelazny Most na wody podziemne i powierzchniowe. Moim zadaniem jest ocena źródła zanieczyszczeń wód powierzchniowych i podziemnych oraz przygotowanie danych do opracowania modelu migracji zanieczyszczeń obejmujący zasięgiem strefę zmian hydrodynamicznych i hydrochemicznych OUOW „Żelazny Most”.

Oprócz wymienionych projektów badawczych wykazywałam aktywność w opracowaniu projektów które nie otrzymały dofinansowania.

Byłam również wykonawcą w projektach dla gospodarki narodowej, w tym na zamówienie organów państwowych, w zakresie inżynierii i gospodarki wodnej, a w szczególności określenia stanu, zabudowy i zagrożenia powodziowego dolin rzecznych oraz zasad projektowania i eksploatacji budowli wodnych (m.in. „Badania modelowe urządzeń zrzutowych zbiornika Chwalimierz na Średzkiej Wodzie” oraz „Studium ochrony przed powodzią rzeki Górnego Bobru”). Brałam czynny udział w projektach dotyczących określenia hydrauliki przepływów mieszanin dwufazowych (mieszanek popiołowych) oraz uczestniczyłam w projektach mających na celu ocenę oddziaływania na środowisko OUOW Żelazny Most.

## 7. Staże naukowe i współpraca z zagranicznymi ośrodkami badawczymi

Zdefiniowanie zainteresowań naukowych i nowych kierunków badań ułatwiła mi zdobyta wiedza będąca efektem realizacji projektów w jednostce macierzystej, jak również podczas staży i wyjazdów naukowo-badawczych (**tab. 5**).

**Tabela 5.** Zestawienie staży naukowych

<b>1</b>	Minzu University of China, Chiny	1.10.2011-30.11.2011 <b>(2miesiące)</b>
<b>2</b>	University of Washington, Civil and Environmental Engineering, Seattle, USA	7.04.2011- 7.07.2011 <b>(3miesiące)</b>
<b>3</b>	University of Washington, Civil and Environmental Engineering, Seattle, USA Stypendysta Fundacji Kościuszkowskiej	31.05.2012 - 15.11.2012 <b>(5 miesięcy)</b>
<b>4</b>	University of Washington, Civil and Environmental Engineering, Seattle, USA Postdoc	2013 – 2015 <b>(24 miesiące)</b>
<b>5</b>	University of Toronto, Faculty of Applied Science & Engineering, Faculty of Applied Science & Engineering, Toronto, Kanada	23.10.2019- 28.02.2020 <b>(5 miesięcy)</b>
<b>6</b>	University of Toronto, Faculty of Applied Science & Engineering, Faculty of Applied Science & Engineering, Toronto, Kanada	1.10.2020-28.02.2021 <b>(5 miesięcy)</b>
<b>7</b>	University of Toronto, Faculty of Applied Science & Engineering, Faculty of Applied Science & Engineering, Toronto, Kanada	1.10.2021-28.02.2022 <b>(5 miesięcy)</b>

Biorąc pod uwagę wysoki stopień umiędzynarodowienia realizowanych badań, jestem osobiście zaangażowana we współpracę z następującymi ośrodkami zagranicznymi:

- współpraca z Uniwersytetem w Toronto (Chemical Engineering & Applied Chemistry). Współpraca z prof. Raminem Farnoodem nad wytwarzaniem membran i ich charakterystyką oraz dalszą aplikacją w procesach separacyjnych. W grupie badawczej prof. Farnooda, nauczyłam się zasad przygotowywania polimerów i wytwarzania z nich membran z wykorzystaniem techniki elektroprzędzenia. Prowadziłam badania nad rozwojem membran polimerowych oraz zastosowaniem techniki przędzenia elektrowłókien do stworzenia absorpcyjnych membran mających zastosowanie w technologii oczyszczania wód. Analizowałam też wpływ modyfikacji nanowłókien na ich zdolności adsorpcyjne. Obecnie współpracuję również z dr Jay Werberem nad

stworzeniem membran kompozytowych mających dobre właściwości permeacyjne oraz wysoką selektywność w usuwaniu zanieczyszczeń. Jego grupa badawcza skupia się na uzdatnianiu wody, odsalaniu i selektywnej separacji jonów, czyli na dziedzinach, które bardzo potrzebują innowacji technicznych i mają duże zastosowanie w przemyśle górniczym i metalurgicznym.

- W latach 20018-2020 współpracowałam z prof. Peterem Huckiem z University of Waterloo w Kanadzie (*Water Treatment in the Department of Civil and Environmental Engineering at the University of Waterloo*) nad skutecznością usuwania związków organicznych za pomocą biofiltracji: *Direct Biofiltration as a Pretreatment to Control Reverse Osmosis Fouling in Drinking Water Treatment*. Celem proponowanych badań było przeprowadzenie kompleksowej oceny wpływu biofiltracji i parametrów operacyjnych na działanie odwróconej osmozy (RO) przeznaczonej do odsalania wody morskiej. Oprócz oceny i optymalizacji procesu, w zakresie badań znajdowała się analiza tego procesu pod kątem jego ogólnej ekonomiczności i wpływu na środowisko.
- Współpraca z Instytutem badawczym w Norwegii (*Water and Wastewater Technology at the Faculty of Sciences and Technology, Norwegian University of Life Sciences*) oraz Instytutem badawczym Aqua-COWI, który testuje obecnie stację pilotową z wykorzystaniem HAOPs. Wspólnie z przedstawicielami Politechniki Poznańskiej opracowaliśmy projekt badawczy i złożyliśmy również wnioski o finansowanie badań do Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach Funduszy Norweskich *Facilitating the use of Heated Aluminium Oxide Particles (HAOPS) to remove NOM from water* (2019).
- Współpraca z prof. Pierre Bérubé z University of British Columbia w Kanadzie (*The Department of Civil Engineering at the University of British Columbia*) nad projektem dotyczącym starzenia membran: *Membrane ageing control mechanism* (2015). W projekcie tym badano zmiany czynników wydajnościowych oraz właściwości chemicznych membran ultrafiltracyjnych PVDF. Zaobserwowano, że od początku ich eksploatacji nie nastąpiły znaczące zmiany w ich działaniu i charakterystyce chemicznej, natomiast z czasem istotne znaczenie ma zastosowany środek do czyszczenia oraz czas ekspozycji na niego.
- Współpraca z Philippe Corvini oraz Thomas Wintgens z University of Applied Sciences w Szwajcarii (*School of Life Sciences, University of Applied Sciences Northwestern Switzerland*) nad projektem „*Reaktor membranowy oparty o mikro- i nanoosiłki służący do oczyszczania ścieków o dużej koncentracji*”. Głównym celem projektu było opracowanie platformy technologicznej umożliwiającej oczyszczanie ścieków zawierających duże ładunki związków organicznych (2010).

W wyniku współpracy z zagranicznymi ośrodkami badawczymi powstał szereg projektów badawczych oraz publikacje w czasopiśmie z listy JCR.

## 8. Działalność dydaktyczna i organizacyjna

Moja działalność dydaktyczna koncentrowała się i koncentruje się na zagadnieniach związanych z analizą ruchu płynów z uwzględnieniem ich własności oraz rodzaju przepływu. W trakcie mojej pracy zawodowej prowadziłam zajęcia w formie ćwiczeń audytoryjnych, projektów oraz laboratoriów z 11 przedmiotów (mechaniki płynów, hydrauliki i hydrologii, chemii, modelowania i monitoringu zanieczyszczeń, termodynamiki, podstaw wykorzystania energii odnawialnych, regulacji rzek, hydrotechnicznych konstrukcji stalowych, elektrowni wodnych, dynamiki koryt rzecznych, budownictwa wodnego).

Brałam udział w kształceniu na studiach stacjonarnych oraz niestacjonarnych na kierunkach inżynieria środowiska, inżynieria bezpieczeństwa, inżynieria i gospodarka wodna oraz budownictwo.

Pod moim kierunkiem zostało wykonanych 26 prac dyplomowych (magisterskich i inżynierskich). Wykonałam również ponad 43 recenzje prac dyplomowych.

Prowadzę zajęcia dydaktyczne w języku angielskim ze studentami studiów zagranicznych ERASMUS.

Byłam odpowiedzialna za opiekę nad studentami zagranicznymi, realizującymi prace badawcze w Instytucie Inżynierii Środowiska.

Pracowałam jako instruktor w studium podyplomowym na Wydziale Inżynierii Kształtowania Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Certyfikat Energetyczny Budynków (2010).

### Działalność organizacyjna

Poza działalnością naukową i dydaktyczną, rozwijam umiejętności organizacyjne biorąc udział w organizacji konferencji naukowych. Byłam członkiem szeregu komitetów organizacyjnych w tym pięciu komitetów organizujących międzynarodowe konferencje:

- *14th Conference 23-27 June 2008, Saint Petersburg, Russia,*
- *15th Conference 6-9 September 2011, Wrocław, Poland,*
- *16th Conference 18-23 September 2013, Rostock, Germany,*
- *17th Conference 22-25 September 2015, Delft, The Netherlands,*
- *18th Conference 11-15 September 2017, Prague, Czech Republic,*
- *19th Conference 24-27 September 2019, Cape Town, South Africa.*

jak również konferencji „Ochrona ichtiofauny przed szkodliwym działaniem budowli hydrotechnicznych”, 14-16 maja, 2008, Wrocław-Dychów, Polska

### **Działalność popularyzatorska**

W ramach promocji Wydziału prowadziłam zajęcia laboratoryjne dla szkół ponadgimnazjalnych w tematyce oczyszczania wody z wykorzystaniem technik membranowych.

Współpracuję z Uniwersytetem Dzieci, prowadząc zajęcia o tematyce „Dlaczego woda płynie w kranie?”.

### **Szkolenia:**

- Ukończyłam szkolenia przygotowujące do sporządzania świadectwa charakterystyki energetycznej organizowane przez Katedrę Klimatyzacji i ciepłownictwa Politechniki Wrocławskiej (01.12-2008-12.12.2008). Szkolenie zakończone było egzaminem.
- Uczestniczyłam w kursie organizowanym przez StatSoft Poland na temat: Chemometria i analiza danych – 18-19.10.2006. Szkolenie to bazowało na wykorzystaniu metod komputerowych, statystycznych, matematycznych oraz symbolicznych w analizowaniu danych.
- Brałam udział w szkoleniu dotyczącym roli polimerów w oczyszczaniu wody „*Role of Polymer science in water purification membranes*”, organizowanym przez ACS Division of Polymer Chemistry, 05.05.2022. Szkolenie to omawiało rozwój nauki o polimerach stosowanych do wytwarzania membran do oczyszczania wody.
- Uczestniczyłam w kongresie International Water Research Summit, *Environmental Surveillance of COVID-19 indicators in Sewer sheds*, April 27, 2020.
- Brałam udział w szkoleniu zatytułowanym: ABC Małych elektrowni wodnych 05.03.2010-07.03.2010, Towarzystwo Rozwoju małych elektrowni wodnych.
- Uczestniczyłam w Webinarium/szkoleniu: *How can water and wastewater utilities in Africa help meet the SDGs?* IWA, 16.11.2021.
- Brałam udział w szkoleniu: *The Future of Organic Synthesis is in Water: From Chemo- to Bio-catalysis*, ACS Webinars October 3, 2019.
- *Water Safety Planning: tools for development and implementation* 7.11.2022, IWA, szkolenie poświęcone opracowaniu kompleksowego podejścia do oceny ryzyka i zarządzania ryzykiem w zarządzaniu dostawami wody.

### **Przynależność do towarzystw naukowych i popularno-naukowych**

Swoje zainteresowania inżynierią środowiska rozwijam również z będąc członkiem:

- Polskiego Towarzystwa Inżynierii Ekologicznej (2004),
- Polskiego Zrzeszenia Inżynierów Sanitarnych (2009),
- Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Wodnych i Melioracyjnych, SITWM (2009),
- Klubu Stypendystów Fundacji Kościuszkowskiej (2013)



## 9. Nagrody i wyróżnienia

Otrzymałam 4 nagrody Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu za działalność naukową. Za twórcze osiągnięcia naukowe otrzymałam indywidualną nagrodę JM Rektora macierzystej uczelni w 2009 roku oraz nagrodę zespołową 2011. Natomiast w 2016 roku otrzymałam zespołową nagrodę JM Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu w dziedzinie organizacyjnej. W 2022 otrzymałam również Nagrodę Rektora dla nauczycieli akademickich za osiągnięcia naukowe.

## 10. Podsumowanie dorobku

Przedstawiony jako rozprawa habilitacyjna cykl publikacji pod wspólnym tytułem „**Optymalizacja mechanizmów usuwania naturalnych substancji organicznych z wody w procesach membranowych**” dotyczy ważnego problemu oczyszczania wód powierzchniowych. Omawiane zagadnienie przedstawia rozwiązania poprawiające skuteczność usuwania NOM z wody powierzchniowej, przy jednoczesnym zapobieganiu intensywnemu blokowaniu membran, co w konsekwencji poprawia jakość wody i wydajność membran.

Po uzyskaniu stopnia doktora w latach 2008-2022 opublikowałam w czasopismach naukowych **45** prac, w tym 1 monografię. Z czego 14 prac jest indeksowanych w bazie Web of Science, a 13 publikacji posiada współczynnik Impact Factor (IF) o sumarycznej wartości **31.411**. Przed uzyskaniem stopnia doktora opublikowałam 9 prac, żadna z tych prac nie jest indeksowana w Web of Science. Publikacje przed uzyskaniem stopnia doktora nie posiadają IF.

Łącznie uczestniczyłam w **38** konferencjach w tym **33** konferencjach uczestniczyłam po uzyskaniu stopnia doktora, a w **5** przed uzyskaniem stopnia doktora

Sumaryczna liczba punktów MNiSW, MEiN, KBN zgodna z rokiem opublikowania poszczególnych prac oraz obowiązującą w danym roku punktacją, wynosi **692** punktów po uzyskaniu stopnia doktora. Natomiast przed uzyskaniem stopnia doktora opublikowałam **5** punktowanych publikacji, co daje **16** punktów.

Po uzyskaniu stopnia doktora byłam członkiem kilku komitetów organizacyjnych konferencji, w tym pięciu międzynarodowych konferencji International Conference of Transport and Sedimentation of Solid Particles.

Moja praca naukowa została doceniona przez władze rektorskie uczelni nagrodą JM Rektora. Otrzymałam 4 nagrody Rektora Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, w tym 3 za działalność naukową oraz 1 za działalność organizacyjną.

Otrzymałam stypendium Fundacji Kościuszkowskiej na realizację badań w Stanach Zjednoczonych.

Realizowałam również badania w dwóch projektach badawczych krajowych i jednym zagranicznym finansowanych przez MNiSzW i NCN (Polska) oraz Grant N00014-12-1-0129 from



the Office of Naval Research and Grant BES-0504420 from the National Science Foundation (USA). Byłam kierownikiem i głównym wykonawcą projektu badawczego finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju zatytułowanego „Transport rurowy wysokozagęszczonych mieszanin” (N N523 755340 Narodowe Centrum Nauki). Byłam również wykonawcą w projekcie realizowanym w ramach Sektorowego Programu Operacyjnego „Rybołówstwo i przetwórstwo ryb 2004-2006” pt. *Badania skuteczności urządzeń do kierowania zachowaniem się ryb na wlotach do ujść wody i przepławek w ramach działania: „Działania innowacyjne i inne”*.

Po uzyskaniu stopnia doktora recenzowałam **18** prac naukowych dla międzynarodowych i polskich czasopism m. in. Chemosphere, Journal of Membrane Science, Water Research (Elsevier), Industrial & Engineering Chemistry Research (ASC publication), Water, Applied science (MDPI), Journal of Water and Land Development (PAN), Gaz Woda i Technika sanitarna (Miesięcznik Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych).

Jestem osobiście zaangażowana we współpracę z doktorem Jay Werberem z University of Toronto (Chemical Engineering & Applied Chemistry) nad stworzeniem membran kompozytowych mających dobre właściwości permeacyjne oraz wysoką selektywność usuwania zanieczyszczeń w przemyśle górniczym i metalurgicznym. Współpracuję również z profesorem Markiem Benjaminem z University of Washington, założycielem start-up'u technologicznego MicroHAOPs, Inc. (USA) oraz z Norweskim Instytutem Badawczym Aquateam COWI SA. Obecnie również współpracuję

Szczegółowe informacje na temat mojego dorobku naukowo-badawczego oraz pozostałych osiągnięć w zakresie działalności dydaktycznej, organizacyjnej i popularyzującej naukę oraz zestawienie prac zastosowanych w praktyce przedstawiono w załączniku 4. Skumulowaną liczbę cytowań publikacji i indeks Hirscha prezentuje tabela 6.

Tabela 6. Wskaźniki oceny dorobku naukowego

	Web of Science	Scoopus
Ogólna liczba cytowań (*bez samocytowań)	59 (*50)	78 (*63)
Indeks Hirscha	4	4

  
(podpis wnioskodawcy)