

Wrocław, 24.04.2019

# Załącznik 2

## Autoreferat

Dr inż. Marek Mołczan  
Politechnika Wrocławska  
Wydział Inżynierii Środowiska  
Katedra Technologii Oczyszczania Wody i Ścieków

## **I. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej**

Jestem absolwentem XIV Liceum Ogólnokształcącego im. Polonii Belgijskiej we Wrocławiu. W 1986 roku, po zdaniu matury, podjąłem studia stacjonarne na Wydziale Inżynierii Sanitarnej Politechniki Wrocławskiej. W 1992 roku, z wynikiem bardzo dobrym, ukończyłem studia magisterskie w specjalności „Zaopatrzenie w wodę i unieszkodliwianie ścieków i odpadów”, obroniłem pracę dyplomową pt. „*Oczyszczanie wody podziemnej zawierającej azot amonowy, żelazo i mangan*”, otrzymując tytuł magistra inżyniera inżynierii sanitarnej.

Przewód doktorski realizowałem na Wydziale Inżynierii Środowiska (początkowo pod nazwą Wydziału Inżynierii Sanitarnej) Politechniki Wrocławskiej pod opieką naukową prof. Wojciecha Adamskiego. Rozprawę doktorską pt. „*Kinetyka procesu adsorpcji-biodegradacji na węglu aktywnym w układach technologicznych uzdatniania wody*”, realizowaną w ramach grantu promotorskiego Komitetu Badań Naukowych, obroniłem z wyróżnieniem w 2000 roku. Recenzentami rozprawy byli: prof. Apolinary L. Kowal i prof. Jerzy Choma.

## **II. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych**

W 1992 roku objąłem stanowisko asystenta na Wydziale Inżynierii Sanitarnej Politechniki Wrocławskiej. W 2001 roku zostałem mianowany na stanowisko adiunkta naukowo-dydaktycznego na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Wrocławskiej, które sprawuję obecnie. Pełniłem funkcje członka z wyboru Rady Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska (kadencja 2003-2005) oraz członka z wyboru Rady Wydziału Inżynierii Środowiska (kadencja 2005-2008). Wchodziłem w skład Wydziałowej Komisji Wyborczej (kadencja 2005-2008). W latach 2008-2009 kierowałem Zespołem Dydaktycznym Technologii Wody, Ścieków i Odpadów.

Od 2014 roku jestem również pracownikiem Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji S.A. we Wrocławiu w ramach Centrum Nowych Technologii, które jest jednostką badawczo-rozwojową przedsiębiorstwa, odpowiedzialną m.in. za realizację projektów badawczych.

## **III. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki**

Tytuł:

*Parametry procesu wymiany anionowej na proszkowych adsorbentach magnetycznych jako narzędzie kontroli usuwania naturalnych substancji organicznych z wody*

Autor:

Marek Mołczan

Wydawnictwo:

Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2019

Recenzenci wydawniczy:

prof. dr hab. inż. Katarzyna Majewska-Nowak  
prof. dr hab. inż. Zbigniew Heidrich

Opis pracy:

Wymiana anionowa na proszkowych adsorbentach magnetycznych stanowi znaczący postęp w technologii usuwania naturalnych substancji organicznych (NMO) z wody, który był możliwy dzięki:

- wykorzystaniu adsorbentu o drobnych ziarnach, który cechują duże szybkości reakcji wymiany jonów (w tym makroanionów NMO),
- wielokrotnemu wykorzystaniu adsorbentu, dzięki jego skutecznej separacji magnetycznej oraz regeneracji chemicznej prowadzonej na miejscu,
- ciągłemu charakterowi procesu bez przerw związanych z regeneracją,
- możliwości zastosowania procesu adsorpcji na początku układu technologicznego, co poprawia warunki eksploatacji kolejnych procesów.

W pracy zaproponowano sposób kontroli procesu oparty na koncepcji grupy parametrów charakteryzujących działanie metody w odniesieniu do warunków stanu ustalonego. Przydatność proponowanego rozwiązania potwierdzono dla dwóch odmian reaktorów: dwustopniowego (DS) oraz jednostopniowego (HR). Za cele opracowania uznano:

- zdefiniowanie parametrów procesu kluczowych dla jego kontroli,
- scharakteryzowanie możliwości wykorzystania tych parametrów w prowadzeniu procesu.

Sformułowano ogólne kryteria użyteczności parametrów, co pozwoliło na wyróżnienie dwóch grup parametrów procesu: pierwotnych i wtórnych. Do grupy parametrów pierwotnych zaliczono:

- zawartość (dawkę) adsorbentu w reaktorze ( $D_z$ ),
- czas kontaktu wody z adsorbentem w reaktorze ( $t_p$ ),
- stopień regeneracji (R) lub wartość strumienia regeneracji ( $Q_{zw}$ )
- rozproszenie adsorbentu w reaktorze,
- koncentrację adsorbentu zregenerowanego ( $D_{zr}$ ),
- koncentrację adsorbentu w strumieniu recyrkulacji ( $D_{zw}$ ).

Parametry pierwotne służą bezpośredniemu oddziaływaniu na proces, zaś rolą parametrów wtórnych jest tworzenie obrazu procesu, który ułatwi jego rozumienie, określi współzależności między parametrami oraz wskaże dodatkowe możliwości wykorzystania parametrów pierwotnych do osiągnięcia celów technologicznych. Do grupy parametrów wtórnych zaliczono:

- krotność wymiany objętości żywicy (BV),
- dawkę równoważną (ERD),
- wiek żywicy ( $t_{pż}$ ),
- wskaźniki bazujące na analizie krzywej kinetycznej (w tym: szybkość reakcji, dawkę skuteczną, zakres stosowalności, wzajemną „zastępowalność” dawki adsorbentu i czasu kontaktu).

Prezentowany w opracowaniu zespół parametrów procesowych wraz z wykazanymi relacjami matematycznymi, które je wiążą, stanowi doskonałe narzędzie opisu stanu ustalonego procesu lub zakresu stanów ustalonych charakterystycznych dla danego zastosowania. Pozwala także na dokonywanie zmiany jednego stanu ustalonego na inny wraz z wyznaczeniem wszystkich niezbędnych ku temu danych.

Szersza perspektywa stosowania procesu scharakteryzowana została również poprzez:

- procedury (w tym procedury regeneracji oraz kontroli procesu),
- uwarunkowania stosowania procesu (obiektywne – np. właściwości oczyszczanego roztworu i ich zmienność, subiektywne – np. warunki mieszania zawartości reaktora),
- sposoby optymalizacji procesu.

Wiele uwagi poświęcono zagadnieniu regeneracji, analizując zarówno możliwości użycia różnych czynników regenerujących, sposoby prowadzenia regeneracji, jak również unieszkodliwiania powstających roztworów odpadowych. Zwrócono uwagę na szereg właściwości NMO wpływających na separację anionowymienną (obecność grup funkcyjnych, wielkość cząsteczki, gęstość ładunku, absorbcję właściwą) oraz cechy samego roztworu (pH, temperaturę, siłę jonową) i konkurencyjne oddziaływania anionów roztworu. Analizując warunki mieszania adsorbentu dostrzeżono nie tylko czynnik intensywności mieszania, ale również sposoby jego realizacji, bazujące na ruchu stymulowanym czynnikami hydraulicznymi, mechanicznymi i magnetycznymi.

Poza obszerną charakterystyką parametrów procesowych, praca zawiera także opis właściwości adsorbentu MIEX®DOC oraz charakterystyki wybranych proszkowych adsorbentów magnetycznych mogących stanowić jego alternatywę, prezentację metod badawczych i opis budowy reaktorów procesu, omówienie współdziałania nowego procesu z innymi procesami tworzącymi ciąg technologiczne oczyszczania wody oraz ocenę perspektyw rozwoju metody.

Do oryginalnego dorobku w monografii zaliczam:

1. Kompleksowe przedstawienie i usystematyzowanie metod badawczych procesu.  
W pracy zwrócono uwagę na czynniki kluczowe dla poprawności metodycznej i porównywalności wyników różnych badań. Podkreślono elementy metodyczne (reguły przygotowania wody i adsorbentu, reguły prowadzenia testów i interpretacji ich wyników, zasady odmierzania dawki adsorbentu i potrzebę uwzględnienia jego pęcznienia), które decydują o poprawności i jednoznaczności wyznaczanych wartości parametrów procesowych. Bez ich uwzględnienia proponowany system kontroli procesu byłby niespójny i obciążony ryzykiem generowania mylących komunikatów.
2. Skompletowanie polskojęzycznej terminologii związanej z procesem.  
W pracy uformowano system pojęć służących charakterystyce procesu. W tym celu uporządkowano dostępny w literaturze i ugruntowany system pojęć i definicji, a także proponowano nowe służące wypełnieniu luk w opisie metody. Nowe pojęcia i definicje obejmują min.: nazwę procesu (wymiana anionowa na proszkowych adsorbentach magnetycznych), główne strumienie objętości adsorbentu w formie zsedymetowanej ( $Q_{\dot{z}}$ ,  $Q_{\dot{z}w}$ ,  $Q_{\dot{z}r}$ ) i w suspensji wodnej ( $Q_{s\dot{z}w}$ ,  $Q_{s\dot{z}r}$ ,  $Q_{s\dot{z}p}$ ), czas osiągnięcia równowagi adsorpcji ( $t_R$ ). Propozycje polskich odpowiedników to m.in.: dawka równoważna, wiek adsorbentu, stopień regeneracji, test jednokrotny, reaktor jednostopniowy i dwustopniowy.
3. Wyróżnienie grup parametrów (parametry pierwotne i wtórne) o odmiennych funkcjach w systemie kontroli procesu.  
W zaproponowanym sposobie kontroli procesu poprzez jego parametry to rozróżnienie ma kluczowe znaczenie. Dzięki niemu operator dysponuje pełnym zakresem narzędzi bezpośredniego oddziaływania na proces (parametry pierwotne) i ma świadomość, że nie będą one pomocne w ocenie stanu procesu oraz określaniu potrzebnych zmian tego stanu, czemu służą parametry wtórne.
4. Wykazanie kluczowych relacji pomiędzy parametrami procesowymi, w szczególności zaś pomiędzy parametrami pierwotnymi i wtórnymi.

Użyteczność systemu kontroli budowano poprzez precyzyjne definiowanie roli poszczególnych parametrów oraz powiązań pomiędzy nimi. Dzięki temu komunikaty generowane przez wartości parametrów o znaczeniu interpretacyjnym mogą być przekształcone do nastaw procesowych. W odwrotnym działaniu, zastosowane wartości parametrów pierwotnych mogą być przekształcone do wskaźników umożliwiających przewidywanie zmian efektów procesu. Jako przykłady można wskazać zależności:

$$BV = \frac{1}{R \cdot D_z} \quad (1)$$

$$ERD = \frac{1}{BV} \quad (2)$$

$$t_p \cdot D_z = t_{pż} \cdot ERD \quad (3)$$

które pozostają w związkach ze skutecznością procesu. Zarówno wartość iloczynu ( $t_p \cdot D_z$ ) jak i wartość dawki równoważnej ( $ERD$ ), a tym samym odwrotność krotności wymiany ( $1/BV$ ), są proporcjonalne do skuteczności procesu, co zostało potwierdzone zarówno na gruncie teoretycznym, jak i w praktyce. W wypadku wieku żywicy ( $t_{pż}$ ) należałoby wskazać na relację odwrotną, ponieważ mały wiek oznacza częstą regenerację, a tym samym większą skuteczność adsorbentu.

5. Zdefiniowanie warunków stanu ustalonego procesu.

W monografii opisano trzy poziomy warunków ustalonych, a najważniejszy z nich odniesiono do równowagi procesu związanej z wzajemnymi relacjami przepływu oczyszczanej wody oraz obiegu adsorbentu (równowaga pomiędzy strumieniami adsorpcji i regeneracji), opisane parametrami wtórnymi i wprowadzanymi w życie za pomocą parametrów pierwotnych. Kontrola równowagi procesu polega z jednej strony na utrzymywaniu założonych warunków stanu ustalonego, z drugiej zaś na przeprowadzaniu kontrolowanych zmian jednego stanu ustalonego na inny.

6. Wykazanie spójności interpretacyjnej zaproponowanego opisu procesu niezależnie od konstrukcji reaktora (typ DS lub HR).

W pracy ukazano fundamentalny obraz procesu, złożony z kontaktu dwóch strumieni: wody i adsorbentu, którego pojemność adsorpcyjna jest odtwarzana w ustalonym tempie za pomocą regeneracji. Takie ujęcie odwołuje się bezpośrednio do mechanizmu procesu, przez co nie różnicuje opisu metody w różnych systemach reaktorowych.

7. Zwrócenie uwagi na rolę kinetyki reakcji wymiany w opisie procesu i jego eksploatacji.

Niemal wszystkie dotychczasowe analizy procesu bazują na ocenie równowagi adsorpcji i pojemności adsorpcyjnej ignorując aspekt kinetyki i szybkości reakcji. W pracy zademonstrowano, że analiza krzywych kinetycznych adsorpcji dostarcza informacje niedostępne w obserwacji pracy reaktora, przez co uzupełnia dane pochodzące z eksploatacji. Informacje te mają znaczenie strategiczne, ponieważ pozwalają optymalizować warianty technologiczne procesu. Bliskie powiązanie parametrów krzywej kinetycznej z działaniem reaktora stanowi ważny obszar przyszłych eksploracji badawczych.

8. Wskazanie na możliwość wykorzystania sił zewnętrznego pola magnetycznego w rozpraszaniu adsorbentu magnetycznego w reaktorze.

Wykazano, że zastosowanie zewnętrznego pola magnetycznego nie wpływa na szybkość adsorpcji. Zabieg ten może natomiast działać pozytywnie, m.in. poprzez zmniejszenie strat adsorbentu oraz umożliwienie większej kontroli nad jego rozmieszczeniem w reaktorze,

zwłaszcza w warunkach zmiennego lub osiagajacego duze wartosci obciazenia hydraulicznego.

9. Usystematyzowanie procedur i uwarunkowan regeneracji magnetycznych zywic anionowymiennych.

W obszernym rozdziale 7.10 omowiono wszystkie istotne aspekty zabiegow zwiazanych z przywracaniem pojemnosci magnetycznego adsorbentu anionowymiennego. Uwzględniono zarowno rozwiazania stosowane jak i posiadajace potencjal aplikacyjny, jak np. oryginalna koncepcje ciaglej regeneracji. W dostepnej literaturze nie ma drugiego przykladu tak pelnego obrazu regeneracji w procesie wymiany anionowej na proszkowych adsorbentach magnetycznych.

#### IV. Omowienie pozostalych osiagniec naukowo-badawczych

Mój dorobek naukowy (w nawiasach podano liczby pozycji, ktore odnosza sie do pierwszej afiliacji: Politechnika Wroclawska + MPWiK S.A.) obejmuje laczenie 99 (84+15) pozycji, w tym: 1 (1+0) samodzielna monografie, 8 (6+2) rozdzialow w ksiazkach i monografiach, 47 (46+1) artykulow (w tym 21 (20+1) indeksowanych w bazie Web of Science, 13 (12+1) z IF), 23 (21+2) referaty, komunikaty i postery konferencyjne (w tym 3 (3+0) indeksowane w bazie Web of Science oraz 14 (12+2) opublikowanych rownolegle jako artykuly lub rozdzialy w ksiazkach i monografiach), 3 (3+0) recenzje ksiazek zamieszczone w czasopiśmie oraz 31 (19+12) raportow z prac badawczych (serie: SPR, PRE (rozprawa doktorska), DC i CNT). Ponadto w moim dorobku znajduje sie 5 (2+3) referatow (załącznik 4, poz. L7-L11) oraz 8 (4+4) ekspertyz i opinii (załącznik 4, poz. M1-M8), ktorych nie obejmuje dokumentacja biblioteczna Politechniki Wroclawskiej oraz MPWiK S.A.

W załączniku nr 4 pt. „Wykaz opublikowanych prac naukowych oraz informacja o osiagnieciach dydaktycznych, wspolpracy naukowej i popularyzacji nauki” podalem opis bibliograficzny moich prac obejmujacy 99 pozycji (w tym 25 prac wykonanych indywidualnie i 74 zespolowo) oraz 13 pozycji spoza dokumentacji bibliotecznej (w tym 10 samodzielnych i 3 zespolowe).

W okresie przed uzyskaniem stopnia doktora (1992–2000) w dorobku zgromadzilem laczenie 19 prac (12 indywidualnych i 7 zespolowych). Spozród nich opublikowalem 10 prac, w tym:

- 6 artykulow w czasopismach naukowych (w tym 2 referaty konferencyjne),
- 1 referat opublikowany w materialach konferencyjnych,
- 3 recenzje ksiazek zamieszczone w czasopiśmie.

Po uzyskaniu stopnia doktora (2000–2019) zgromadzilem w dorobku laczenie 80 prac (w tym 13 indywidualnych i 67 zespolowych). Spozród nich opublikowalem 58, w tym:

- 1 monografie (stanowiacą osiagniecie naukowe wymienione w pkt III)
- 8 rozdzialow w ksiazkach lub monografiach (wszystkie zespolowe),
- 13 artykulow w czasopismach naukowych z IF, w tym 1 samodzielny,
- 28 artykulow w czasopismach naukowych bez IF, w tym 7 samodzielnych (spozród ogólnej liczby 28 artykulow bez IF 25 stanowily artykuly punktowane, w tym 6 prac samodzielnych),
- 3 referaty konferencyjne indeksowane w bezie Web of Science (wszystkie zespolowe)

- 5 pozostałych referatów opublikowanych w materiałach konferencyjnych, w tym 1 samodzielny.

W tabeli 1 przedstawiłem strukturę i liczbowe zestawienie mojego dorobku z podziałem na okresy: przed uzyskaniem stopnia doktora i po uzyskaniu stopnia doktora. Tabela 2 stanowi uzupełnienie dorobku o prace spoza dokumentacji biblioteczej.

Tabela 1. Zbiorcze zestawienie dorobku

Rodzaj prac	Przed uzyskaniem stopnia doktora			Po uzyskaniu stopnia doktora			Łącznie		
	Ind.	Zesp.	Suma	Ind.	Zesp.	Suma	Ind.	Zesp.	Suma
Monografie	0	0	0	1	0	1	1	0	1
Rozdziały <sup>1)</sup>	0	0	0	0	8	8	0	8	8
Artykuły z IF	0	0	0	1	12	13	1	12	13
Artykuły WoS bez IF <sup>2)</sup>	0	0	0	4	4	8	4	4	8
Artykuły bez IF <sup>3)</sup>	3	3	6	3	17	20	6	20	26
Referaty WoS	0	0	0	0	3	3	0	3	3
Inne referaty <sup>4)</sup>	1	0	1	1	4	5	2	4	6
Recenzje w czasop. <sup>5)</sup>	3	0	3	0	0	0	3	0	3
Raporty SPR/PRE <sup>6)</sup>	5	4	9	0	10	10	5	14	19
Raporty MPWiK S.A. <sup>7)</sup>	0	0	0	3	9	12	3	9	12
Suma	12	7	19	12	67	80	25	74	99

1) Rozdziały w książkach lub monografiach  
2) Artykuły bez IF indeksowane w bazie Web of Science (WoS)  
3) Pozostałe artykuły bez IF  
4) Referaty zamieszczone w materiałach konferencyjnych, których nie opublikowano jako rozdział w książce, monografii lub jako referat Web of Science  
5) Recenzje książek zamieszczone w czasopiśmie  
6) Raporty afiliowane przy Politechnice Wrocławskiej  
7) Raporty afiliowane przy MPWiK S.A. we Wrocławiu

Tabela 2. Zbiorcze zestawienie dorobku spoza dokumentacji biblioteczej (po uzyskaniu stopnia doktora)

Rodzaj prac	Politechnika Wrocławska			MPWiK S.A. we Wrocławiu			Łącznie		
	Ind.	Zesp.	Suma	Ind.	Zesp.	Suma	Ind.	Zesp.	Suma
Ekspertyzy i opinie	3	1	4	3	1	4	6	2	8
Referaty	2	0	2	2	1	3	4	1	5
Suma	5	1	6	5	2	7	10	3	13

Całkowity dorobek punktowy moich publikacji wynosi 484 punkty, a po odliczeniu udziału współautorów 228,05 punktów (w tym odpowiednio 222 i 79,3 punktów przypada na artykuły w czasopismach z IF). Sumaryczny IF wynosi 12,274, w tym 4,009 stanowi udział własny. Cały dorobek punktowy oraz IF przypada na okres po uzyskaniu stopnia doktora.

Wskaźniki bibliometryczne (liczba prac, liczba cytowań, indeks Hirscha) mojego dorobku naukowego, w zależności od bazy, wynoszą:

- Web of Science: liczba prac: 24, liczba cytowań: 81, indeks Hirscha: 5.
- Scopus: liczba prac: 18, liczba cytowań: 84, indeks Hirscha: 5.
- Google Scholar: liczba prac: 44, liczba cytowań: 292, indeks Hirscha: 9.

Niżej przedstawiłem moje zainteresowania i osiągnięcia naukowe, z odwołaniami do podanego w załączniku nr 4 wykazu dorobku naukowego.

## **Okres przed uzyskaniem stopnia doktora (1992–2000)**

W okresie przed uzyskaniem stopnia doktora moje zainteresowania naukowe obejmowały następujące zagadnienia:

1. wykorzystanie metod biologicznych w procesach oczyszczania wód podziemnych i powierzchniowych,
2. wykorzystanie metod adsorpcyjnych w procesach oczyszczania wody,
3. znaczenie usuwania związków organicznych dla przebiegu dezynfekcji wody.

**Ad. 1.** W swoich pierwszych pracach badawczych zajmowałem się kontrolą procesów wykorzystujących aktywność biologiczną w celu stymulowania zjawisk służących usuwaniu zanieczyszczeń z wody. Pierwszym z procesów była filtracja sucha, stosowana w celu odżelaziania i odmanganiania wody podziemnej zawierającej azot amonowy. Wyniki badań były publikowane w formie artykułu (załącznik 4, pozycja E9) oraz prezentowane podczas konferencji (referat L1). Drugim procesem była filtracja biologiczna, w której aktywność mikroorganizmów służy wspomaganie usuwania związków organicznych w złożach granulowanych węgla aktywnych (GWA). Ta tematyka stanowiła podstawę projektu badawczego (raport J3) oraz rozprawy doktorskiej (J9), którą realizowałem w ramach grantu promotorskiego. W ramach tych prac wysunąłem tezy pomocne przy selekcji adsorbentu-nośnika biomasy i optymalizacji warunków procesu, wyznaczyłem praktyczną wydajność biodegradacji i stworzyłem model procesu łączący efekty adsorpcji i biodegradacji. Rezultaty prac udokumentowałem w raportach (J2, J4-J6) i artykułach (E12, E13).

**Ad. 2.** Zainteresowanie adsorpcją związków organicznych z wody wynikało z prac badawczych prowadzonych na potrzeby rozprawy doktorskiej (J9). Analiza adsorpcji jako procesu samodzielnego stanowiła podstawę do opisu procesu filtracji biologicznej (raporty: J2-J6; artykuły: E12, E13).

**Ad. 3.** Na przełomie XX i XXI wieku wiele uwagi poświęcano tworzeniu ubocznych produktów dezynfekcji (UPD), głównie trójhalometanów (THM). Badania wskazywały na potrzebę usuwania prekursorów UPD, zmniejszania dawki środka dezynfekcyjnego (przeważnie chloru) lub zastąpienia go środkiem generującym mniejsze ryzyko zdrowotne (np. dwutlenkiem chloru). Podjęcie tego tematu zaowocowało zaproponowaniem zależności zapotrzebowania wody na dwutlenek chloru od zawartości związków organicznych w wodzie. Umożliwiła ona określenie wymagań usuwania związków organicznych z wody przed jej dezynfekcją. Wyniki badań zostały zaprezentowane na konferencji (referat E14) oraz w artykule (E14).

## **Okres po uzyskaniu stopnia doktora (2000–2019)**

Po uzyskaniu stopnia doktora nadal zajmowały mnie podjęte wcześniej tematy badawcze (w szczególności 2-3), a także nowe zagadnienia obejmujące (4-10):

4. kierunki rozwoju technologii oczyszczania wody,
5. charakterystykę naturalnych substancji organicznych w wodach,
6. oczyszczanie wody w procesie koagulacji,
7. ochronę i rekultywację gleby,
8. osuwanie substancji organicznych z wody w procesie adsorpcji jonowymiennej,
9. oczyszczanie wody w procesach membranowych,



10. współzależności pomiędzy procesami tworzącymi ciąg technologiczny oczyszczania wody i ocenę funkcjonowania całego systemu oczyszczania wody.

**Ad. 1.** W latach 2001-2006 opisałem podstawy modelowania procesu adsorpcji-biodegradacji (w tym warunki samoodtwarzania biomasy i główne koncepcje profilu stężeń w warstwie granicznej) (artykuł E23), a także scharakteryzowałem kryteria jego stosowania (zarówno te nawiązujące do kinetyki biodegradacji jak i ekonomiki procesu) oraz główne parametry metody (referat L7), co zamykało okres mojego zainteresowania tym tematem. W późniejszych latach nawiązanie do tej tematyki stanowiła praca analizująca warunki stabilności (w tym biologicznej) wody wprowadzanej do sieci wodociągowej (artykuł A6).

**Ad. 2.** W badaniach adsorpcji szczególnie interesowało mnie wykorzystanie innowacyjnych adsorbentów. Badałem m.in. adsorpcję NMO przy użyciu eksperymentalnego adsorbentu AGL, o kulistym kształcie ziaren. Wskazałem na jego oryginalne cechy, jak np. zdolność do głębokiej adsorpcji (artykuł: E15). Ten sam produkt wykorzystano także w badaniach ukierunkowanych na ocenę zdrowotnej jakości wody do spożycia, gdzie m.in. wskazano na możliwość jej wtórnego zanieczyszczenia substancjami genotoksycznymi w zaawansowanej fazie eksploatacji złoża (referat L3). Badania pilotowe adsorpcji NMO udokumentowano m.in. w artykułach A11, E7 i E8. W pracy E8 badano m.in. wpływ ozonowania na skuteczność adsorpcji związków organicznych w złożu węgla aktywnego. Stwierdzono, że nawet kilkuprocentowy wzrost skuteczności pozwala na wydłużenie cyklu pracy złoża o 1/3.

**Ad. 3.** Analizy problematyki dezynfekcji wody prowadziłem zawsze w powiązaniu z zagadnieniem usuwania NMO z wody. Dotyczyły one głównie oceny wpływu sposobu i warunków usuwania NMO na wartość dawki środka dezynfekującego oraz tworzenie UPD (artykuły A7, A13, E45, raport J16). W pracy A7 wykazano, że adsorbent MIEX®Gold lepiej zabezpiecza badaną wodę przed tworzeniem THM niż żywica MIEX®DOC, pomimo mniejszego usuwania rozpuszczonego węgla organicznego (RWO). W pracy A13 potwierdzono, że wartości dawki środków dezynfekcyjnych ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{ClO}_2$ ) zależą niemal wyłącznie od zawartości RWO w dezynfekowanej wodzie.

**Ad. 4.** Szczególnym przedsięwzięciem była przeprowadzona pod moim kierunkiem w latach 2004-2005 technologiczna diagnoza polskiej branży wodociągowej, w której uczestniczyło 215 przedsiębiorstw. Jej wyniki wskazujące na pilną potrzebę wprowadzenia procesów zdolnych do efektywnego usuwania związków organicznych oraz metod bezpiecznego utleniania opublikowano w cyklu trzech artykułów z lat 2007-2008 (E32-E34).

**Ad. 5.** Usuwanie związków organicznych z wody jest znacząco powiązane z właściwościami NMO. Dwie z moich prac przeglądowych (artykuły: E19 i A8) analizowały dostępne metody i wskaźniki charakterystyki NMO. Niektóre z nich były wykorzystane w kolejnych pracach badawczych (np. A1, E1, E2, E8, E18, E24, E25, E30, E35, E43). W moich badaniach szczególne znaczenie miały wskaźniki: zawartości NMO (ogólnego i rozpuszczonego węgla organicznego – OWO i RWO), absorbancji przy 254 nm ( $\text{UV}_{254}$ ), absorbancji właściwej (SUVA), barwy i barwy właściwej (SCOA), współczynnika nachylenia absorbancji (ASI) oraz rozkład mas cząsteczkowych uzyskany metodą chromatografii wykluczenia (SEC). Tych zagadnień dotyka też temat rozprawy doktorskiej, w której pełnię rolę promotora pomocniczego (załącznik 4, pozycja III K).

**Ad. 6.** Wiele z moich prac dotyczyło różnych aspektów wykorzystania koagulacji, w tym: porównań działania soli glinu oraz wstępnie hydrolizowanych chlorków poliglinu (artykuły: E36 i E37), selekcji koagulantów i oceny kosztów ich stosowania (artykuły: A10, A12, E6,

E42), integracji koagulacji z procesami ciągu technologicznego (artykuły: E25, E27, E38) i zarządzania procesem koagulacji z wykorzystaniem badań pilotowych (referat L6). Wspólną tezę tych prac jest wskazanie potrzeby zindywidualizowanego doboru koagulantu i warunków jego stosowania w każdej aplikacji.

**Ad. 7.** W latach 2012-2014, we współpracy z Uniwersytetem Przyrodniczym we Wrocławiu wykonywałem analizy zawartości związków organicznych w wyciągach wodnych gleb zanieczyszczonych metalami, co dokumentują publikacje (artykuły: A9, E40, E41).

**Ad. 8.** Usuwanie NMO w procesie adsorpcji anionowymiennej z wykorzystaniem proszkowych adsorbentów magnetycznych stanowiło główny obszar moich zainteresowań badawczych od 2005 r., który obejmował szereg szczegółowych zagadnień:

- charakterystykę procesu i jego zastosowań (artykuły: E20, E21, E26);
- implementacje i modyfikacje metod badawczych procesu w testach porcjowych i przepływowych, naczyniowych i pilotowych, jedno- i wieloetapowych; z uwzględnieniem zarówno aspektu doświadczalnego jak i analitycznego (artykuły: E16, E17, E22, E29, E35);
- ocenę kinetyki i statyki adsorpcji, w tym rozwijanie modelu kinetyki z oceną szybkości reakcji usuwania NMO oraz doskonalenie badań statyki w celu oceny pojemności adsorbentów (artykuły: A2, E1, E18, E22, E28, E29);
- weryfikację wpływu czynników procesowych, w tym: właściwości roztworu (RWO, barwa, SUVA, wielkość cząsteczek NMO, zawartość anionów) i warunków eksploatacji (sposób i intensywność mieszania) na skuteczność procesu (artykuły: A4, E3, E17, E24, E27, E28, E30, E31, E35, E39);
- ocenę specyfiki separacyjnej odmian adsorbentu magnetycznego (artykuł A7);
- optymalizacje regeneracji (prowadzono w ramach badań częściowo zaprezentowanych w artykule E17);
- weryfikacje miejsca procesu w układzie technologicznym oraz ocenę interakcji z innymi procesami (koagulacją, adsorpcją GWA, separacją membranową, utlenianiem) (artykuły: A1, A4, E1, E2, E25, E27, E28, E30, E38).

Do najważniejszych osiągnięć tych prac zaliczam: stworzenie modelu kinetyki procesu wraz jego rozwiniętą strukturą interpretacyjną (artykuły: E18, E22, E28, E29), zobrazowanie znaczenia szybkości reakcji w konfrontacji z pojemnością adsorbentu, jako zróżnicowanych narzędzi kontroli procesu (artykuły: E18, E28, E39), dokonanie oceny roli wartości wskaźnika SUVA w przebiegu procesu (artykuły: E18, E30, E35), dostrzeżenie roli pęcznienia anionitu w kontroli jego dawki (artykuł A3).

Prace te stworzyły podstawy do budowy kompleksowej charakterystyki procesu wymiany anionowej na proszkowych adsorbentach magnetycznych zawartej w monografii habilitacyjnej.

**Ad. 9-10.** Włączenie procesów separacji membranowej do typowego układu technologicznego oczyszczania wody powierzchniowej oraz analizy funkcjonowania ciągu technologicznego w różnych konfiguracjach procesowych, tworzą perspektywiczne zagadnienia badawcze podjęte wraz z realizacją projektu badawczego WODTECH (2014-2019). Pierwsza z planowanych publikacji o tematyce membranowej odnosiła się do zagadnień metodyki badań (rozdział w monografii E4). Publikacje analizujące funkcjonowanie ciągu technologicznego skupiły się głównie na kwestii usuwania NMO (A11, A13, E5, E7, E8, E43-E45), roli procesu adsorpcji (A11, A13, E5, E7, E8, E43-E45) oraz ocenie możliwości tworzenia UPD (A13, E5, E45). Kluczowe tezy zrealizowanych badań dopiero będą publikowane.

Poza aktywnością *stricte* naukową pozostawałem w ścisłych związkach z praktyką inżynierską. Jeszcze przed uzyskaniem stopnia doktora uczestniczyłem w opracowaniu technologii dla modernizowanej oczyszczalni ścieków przemysłowych (raport J1) oraz w badaniach służących przyszłej modernizacji zakładu oczyszczania wody (raporty: J7, J8, J10). Kolejne prace aplikacyjne obejmowały m.in. zagadnienia migracji RWO z rur z tworzyw sztucznych (raporty: M1-M3), ocenę procesów technologicznych oczyszczania wody (raporty: J11, J15, J17) oraz analizę systemu wody chłodzącej w suszarni osadów ściekowych (ekspertyza: M4). Pracując w MPWiK S.A. we Wrocławiu, w latach 2014-2019, wykonałem szereg prac o charakterze ekspertyz lub opinii (raporty: J20-J31, opinie: M5-M8), o szerokim zakresie tematycznym: od bilansowania strat wody, przez analizy eksploatacyjne dla koagulacji i złóż węgla aktywnego, po dezynfekcję ścieków oczyszczonych.

W latach 1997-1998 byłem redaktorem naczelnym kwartalnika „*EkoTechnika*”. Od 2000 r. byłem promotorem 48 prac dyplomowych. Uczestniczyłem w tworzeniu programów wielu kursów dydaktycznych dla kierunków studiów Inżynieria Środowiska i Ochrona Środowiska. Zrecenzowałem 24 manuskrypty publikacji, w tym 20 w języku polskim i 4 w angielskim. Jestem laureatem nagrody „*Aquarina*” z 1999 r. i współtwórcą Stacji Badawczej „Mokry Dwór” (załącznik 4, pozycja B1).

