

AUTOREFERAT
dotyczący osiągnięć w pracy naukowo - badawczej

Warszawa, kwiecień 2014 r.

1. Imię i nazwisko

Monika Żubrowska-Sudoł

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe - z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

1999 tytuł zawodowy magister inżynier biotechnologii środowiska, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska, tytuł pracy magisterskiej: „Analiza efektywności usuwania kwasów humusowych w złożach węglowych (BAF_w) na podstawie literatury i badań własnych”, opiekuni naukowci: doc. dr inż. Małgorzata Perchuć, prof. dr hab. Anna Grabińska- Łoniewska.

2003 stopień doktora nauk technicznych, dyscyplina - inżynieria środowiska, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska, tytuł pracy doktorskiej: „Efektywność usuwania związków węgla, azotu i fosforu w reaktorze porcjowym ze złożem zawieszonym”, promotor: prof. dr hab. inż. Zbigniew Heidrich.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

1999 - 2003 doktorantka na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej

od 2004 adiunkt w Zakładzie Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej

4. Osiągnięcie wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)

a) Autor, rok wydania, tytuł publikacji, nazwa wydawnictwa

Monika Żubrowska-Sudoł 2013: *Mechaniczna dezintegracja osadów ściekowych jako metoda pozyskiwania związków organicznych dla intensyfikacji procesu denitryfikacji*, Prace Naukowe, Inżynieria Środowiska, z. 67, Oficyna Wydawnicza PW, ISSN 1234-4338, ISBN 978-83-7814-226-3.

b) Omówienie celu naukowego ww. pracy i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Celem pracy była ocena możliwości wykorzystania procesu mechanicznej dezintegracji nadmiernych osadów ściekowych jako metody pozwalającej na uzyskanie alternatywnego źródła węgla organicznego dla intensyfikacji procesu denitryfikacji.

W procesie dezintegracji osadów ściekowych następuje uwolnienie do cieczy osadowej związków węgla organicznego oraz związków mineralnych znajdujących się na zewnątrz i wewnątrz komórek mikroorganizmów tworzących kłaczkę osadu czynnego. Z doniesień literaturowych jednoznacznie wynika, że proces ten pozwala na znaczące zwiększenie w cieczy osadowej stężenia rozpuszczalnych związków organicznych, w tym lotnych kwasów tłuszczowych. Dotychczas zostało to z powodzeniem wykorzystane do intensyfikacji procesu beztlenowej stabilizacji osadów.

O ile korzystny wpływ procesu dezintegracji osadu na proces fermentacji beztlenowej jest bezsporny, o tyle nadal nie zostało wyjaśnione zagadnienie wykorzystania zdeintegrowanego osadu w procesie biologicznego usuwania ze ścieków związków biogenych. Wynika to między innymi z faktu, że podczas procesu dezintegracji osadu w cieczy osadowej zwiększa się nie tylko stężenie związków węgla organicznego, ale również stężenie związków azotu, których ładunek dodatkowo obciążałby reaktor biologiczny. Było to powodem podjęcia badań, ukierunkowanych na weryfikację tezy, iż proces mechanicznej dezintegracji recykulowanych/nadmiernych osadów ściekowych, przy odpowiednio dobranych parametrach procesowych zapewniających uwolnienie do cieczy osadowej relatywnie wysokich ilości łatwo przyswajalnych związków organicznych w stosunku do uwalnianych związków biogenych, stanowi alternatywną i konkurencyjną metodę intensyfikacji procesu denitryfikacji, przyczyniając się do zwiększenia efektywności usuwania azotu ze ścieków. Ich realizację zaplanowano w 3. etapach, w których zdefiniowano następujące cele cząstkowe: 1) wstępna analiza efektywności uwalniania do cieczy osadowej związków organicznych w procesie dezintegracji zagęszczonych osadów nadmiernych prowadzonym przy wykorzystaniu dwóch mechanicznych dezintegratorów: bębnowego i tarczowego, 2) analiza uwalniania do cieczy osadowej związków organicznych oraz związków azotu i fosforu w zależności od ilości energii zużytej w procesie dezintegracji, 3) analiza szybkości i całkowitej wydajności procesu denitryfikacji przebiegającego z wykorzystaniem jako źródło węgla organicznego związków organicznych uwolnionych do cieczy osadowej w wyniku procesu dezintegracji zagęszczonych osadów nadmiernych.

W I etapie badawczym prowadzono porcjowe testy dezintegracji, polegające na obserwacji zmian stopnia dezintegracji oraz stężenia rozpuszczonych związków organicznych wyrażonych ChZT, jakie wystąpiły w wyniku mechanicznej dezintegracji osadów nadmiernych prowadzonej przy wykorzystaniu dwóch urządzeń: bębnowego i tarczowego, przy równoczesnym uwzględnieniu różnych nakładów energetycznych wyrażonych jako gęstość energii (ilość energii wprowadzona do 1 litra dezintegrowanych osadów). Jego efektem był wybór urządzenia (dezintegrator tarczowy) oraz określenie zakresu gęstości energii (70 - 350 kJ/l), wykorzystanych w fazie badań właściwych. Realizacja drugiego etapu badawczego, również polegała na przeprowadzeniu porcjowych testów dezintegracji, jednak ich zakres rozszerzono o obserwacje zmian stężenia lotnych kwasów tłuszczowych (LKT), różnych form azotu (azot amonowy, azot azotanowy (III), azot azotanowy (V), azot ogólny), ortofosforanów, a w wybranych testach stężenia jonów Mg^{2+} . Istotnym zagadnieniem wchodzącym w zakres II etapu badawczego była analiza wydajności pozyskiwania związków organicznych (wyrażonych ChZT) i generowania LKT - parametrów ilustrujących ilość „wyprodukowanych” w procesie dezintegracji odpowiednio związków organicznych i LKT w odniesieniu do energii włożonej w proces dezintegracji. W przeprowadzonych badaniach udokumentowano, że wartości tych parametrów zależą od gęstości energii (E_1) przy jakiej prowadzony jest proces dezintegracji. Najwyższe wydajności uwalniania do cieczy osadowej związków organicznych wyrażonych ChZT (28,85 - 60,46 mg ChZT/kJ) oraz lotnych kwasów tłuszczowych (3,54 - 6,13 mg LKT/kJ) uzyskiwano dla E_1 wynoszących 140 i 210 kJ/l. Dezintegracja osadów nadmiernych prowadzona przy innych poziomach gęstości energii prowadziła do mniejszej produkcji związków organicznych w przeliczeniu na 1 kJ zużytej energii, co wiązało się ze zwiększeniem kosztów pozyskiwania związków organicznych. Porównując wartości ChZT oraz stężenie LKT cieczy osadowej stwierdzono, że największy udział lotnych kwasów tłuszczowych w uwalnianych do cieczy osadowej związkach organicznych (ChZT:LKT w zakresie 6,57 - 9,39) wystąpił, gdy stopień dezintegracji pozostawał w zakresie 9 - 17 %, co uzyskiwano prowadząc proces dezintegracji przy $E_1 = 140$ kJ/l. Zwiększanie gęstości energii przyczyniało się do dalszego uwalniania z kłaczków osadu czynnego związków organicznych, nie wpływało jednak na intensyfikację procesu acydyfikacji (takim terminem określono proces generowania LKT), o czym świadczył wzrost wartości ilorazu ChZT:LKT. W przeprowadzonych badaniach wyznaczono również relacje pomiędzy ilością uwolnionych związków organicznych i odpowiednio związków biogennych (ChZT:N i ChZT:P). Stwierdzono, że przy $E_1 \geq 140$ kJ/l i stopniu dezintegracji wyższym od 7 %, wartości ChZT:N

cieczy osadowej były większe od 8 (wartość powszechnie przyjmowana za minimalną dla uzyskania wysoko sprawnej denitryfikacji), co wskazywało, że część uwolnionych w procesie dezintegracji związków organicznych może zostać wykorzystana jako źródło węgla organicznego dla intensyfikacji usuwania ze ścieków związków azotu. W większości analizowanych prób nie udało się natomiast osiągnąć wartości ChZT:P wyższych od 40 (wartość powszechnie przyjmowana za minimalną dla uzyskania wysoko sprawnej biologicznej defosfatacji), co dawało podstawę do założenia, że teoretyczne zapotrzebowanie na związki organiczne niezbędne do usunięcia uwolnionych do cieczy osadowej ortofosforanów było zazwyczaj wyższe od tego, jakie mogły zapewnić wytworzone w procesie dezintegracji związki organiczne. Dzięki określeniu stężenia poszczególnych form azotu w cieczy osadowej zaobserwowano, że dominującą formą azotu uwalnianą z kłaczków osadu czynnego do cieczy osadowej był azot organiczny, a jego stężenie i procentowy udział w azocie ogólnym rosły wraz ze zwiększeniem gęstości energii. Odnosząc stężenie azotu ogólnego w cieczy osadowej do stopnia dezintegracji sformułowano wniosek, że najbardziej intensywne uwalnianie związków azotu wystąpiło dla stopnia dezintegracji mniejszego od 20 %.

Trzeci etap badawczy ukierunkowano na analizę procesu denitryfikacji przebiegającego z wykorzystaniem zdeintegrowanych osadów jako źródła węgla organicznego. Jego zakres obejmował przeprowadzenie porcjowych testów szybkości denitryfikacji (NUR) oraz testów wydajności denitryfikacji. Testy NUR wykazały, że pozyskane w procesie mechanicznej dezintegracji związki organiczne stanowią odpowiedni substrat dla bakterii denitryfikacyjnych, przy czym najwyższą szybkość dysymilacyjnej redukcji azotanów (V) uzyskano dla związków organicznych uwalnianych do cieczy osadowej w procesie dezintegracji prowadzonym przy gęstości energii wynoszącej 140 kJ/l. Wyniki testów NUR prowadzonych dla związków organicznych pozyskanych przy E_l 70 i 210 kJ/l były porównywalne i, co warto podkreślić, pozostawały na porównywalnym poziomie do określonego dla kwasu octowego. Jednoznaczną odpowiedź, czy sformułowana teza badawcza jest słuszna, pozwoliły uzyskać wyniki porcjowych testów wydajności denitryfikacji. Na ich podstawie stwierdzono, że ilość $N-NO_x$ ($N-NO_3^- + N-NO_2^-$), jaką można usunąć ze ścieków przy wykorzystaniu zdeintegrowanych osadów jako źródła węgla organicznego znacząco przewyższa ładunek azotu, jaki zostałby wprowadzony do reaktora biologicznego ze strumieniem zdeintegrowanych osadów. Wykazano również, że istotnym czynnikiem determinującym właściwości pozyskanych w procesie dezintegracji związków organicznych pod kątem wykorzystania ich w celu intensyfikacji procesu denitryfikacji jest

gęstość energii jaką dostarcza się w procesie dezintegracji. Wartość tego parametru procesowego wpływała na wydajność denitryfikacji, jednostkowe zapotrzebowanie na związki organiczne, jednostkową objętość zdeintegrowanych osadów, a także na jednostkowy koszt usuwania azotu. Maksymalne wartości wydajności denitryfikacji i zarazem minimalne wartości jednostkowego zapotrzebowania na związki organiczne osiągnięto dla zagęszczonego osadu nadmiernego poddanego procesowi mechanicznej dezintegracji przy $E_1 = 70$ kJ/l. Spostrzeżenie to dokumentuje, że pozyskane wówczas związki organiczne były najbardziej „efektywnym” źródłem węgla organicznego dla bakterii denitryfikacyjnych. W przypadku jednostkowej objętości zdeintegrowanych osadów, najniższe wartości tego parametru wyznaczono dla gęstości energii na poziomie 210 kJ/l, co w głównej mierze było konsekwencją wysokiej zawartości związków organicznych w jednostce objętości zdeintegrowanych osadów ściekowych. Średnia wartość jednostkowej objętości zdeintegrowanych osadów wynosiła $0,54 \cdot 10^{-3}$ m³/g N i była porównywalna do uzyskanej dla osadów dezintegrowanych przy gęstości energii 140 kJ/l ($0,62 \cdot 10^{-3}$ m³/g N) i trzykrotnie niższa od określonej dla osadów dezintegrowanych przy gęstości energii 70 kJ/l ($1,65 \cdot 10^{-3}$ m³/g N). Najbardziej uzasadnione ekonomicznie okazało się pozyskiwanie węgla organicznego w wyniku dezintegracji zagęszczonych osadów nadmiernych prowadzonej przy gęstości energii wynoszącej 140 kJ/l. Określony dla tego poziomu E_1 jednostkowy koszt usuwania azotu był o ok. 25 % niższy od wyznaczonego dla E_1 równych 70 i 210 kJ/l. Porównując wysokość jednostkowych kosztów usuwania azotu, jakie poniosłaby oczyszczalnia przy wykorzystaniu jako źródło węgla organicznego zdeintegrowanych osadów z kosztami zakupu konwencjonalnych zewnętrznych źródeł związków organicznych, takich jak metanol, etanol i kwas octowy stwierdzono, że zastosowanie zdeintegrowanych osadów generuje porównywalne koszty, jak zastosowanie etanolu i kwasu octowego. Jest natomiast zdecydowanie droższe od wykorzystania metanolu. Niewątpliwą zaletą zdeintegrowanych osadów w stosunku do konwencjonalnych źródeł węgla organicznego (nawet takich, które generują mniejsze koszty) jest recykling odpadów powstających w oczyszczalni ścieków, co jest zgodne z obecnymi priorytetami polityki ekologicznej Unii Europejskiej oraz z zasadami zrównoważonego rozwoju.

W monografii przedstawiłam również koncepcję doboru parametrów pracy dezintegratora, wykorzystywanego do pozyskiwania z zagęszczonych osadów nadmiernych związków organicznych, które z kolei pozwolą na intensyfikację procesu denitryfikacji. Zakłada ona trzy etapy: 1) doświadczalny dobór gęstości energii, przy jakiej prowadzony będzie proces dezintegracji osadów, 2) określenie dobowej objętości zdeintegrowanych

osadów niezbędnej do usunięcia ze ścieków zakładanej ilości azotu, 3) określenie wymaganej ilości urządzeń. Praktycznym aspektem uwzględnionym w pracy jest również omówienie różnych wariantów rozwiązań technicznych, umożliwiających włączenie dezintegracji osadu w układ technologiczny oczyszczalni ścieków. Wzięto przy tym pod uwagę: konieczność wstępnego zagęszczenia osadów recyrkulowanych/nadmiernych do wartości suchej masy na poziomie 4 - 5 %, zapewnienie dezintegracji odpowiedniej ilości zagęszczonych osadów przy założonym poziomie gęstości energii oraz możliwość elastycznego doboru parametrów pracy dezintegratora przez operatora oczyszczalni w zależności od bieżących potrzeb. Proponując miejsca wprowadzenia zdeintegrowanych osadów do reaktora biologicznego rozważyłam: różne warianty w odniesieniu do przykładowych przepływowych i sekwencyjnych rozwiązań technologicznych zapewniających usuwanie C, N i P na drodze biologicznej oraz różne sposoby prowadzenia denitryfikacji (wstępna, kaskadowa, symultaniczna, naprzemienna).

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych

Moja działalność naukowa rozpoczęła się na trzecim roku studiów magisterskich (październik 1996). Jako studentka kierunku Biotechnologia na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej, pod opieką naukową prof. dr hab. Anny Grabińskiej-Łoniewskiej prowadziłam studia literaturowe dotyczące budowy, właściwości fizyczno-chemicznych, znaczenia ekologicznego oraz biotransformacji kwasów humusowych. W 1998 roku odbyłam miesięczną praktykę pod kierunkiem prof. dr hab. Aliny Kusińskiej w Katedrze Gleboznawstwa SGGW w Warszawie (III.L.4). Jej celem było opracowanie metodyki oznaczania kwasów humusowych z wyróżnieniem frakcji kwasów huminowych i fulwowych w wodzie (opracowanie w archiwum Zakładu Biologii Środowiska PW). W tym samym roku, pod kierunkiem prof. dr hab. Anny Grabińskiej-Łoniewskiej i doc. dr inż. Małgorzaty Perchuć, prowadziłam badania nad sprawnością usuwania kwasów humusowych z wody. W swoim zakresie obejmowały one próby technologiczne przeprowadzone w warunkach statycznych i dynamicznych oraz badania mikrobiologiczne. Podstawowymi celami eksperymentu były: ocena wydajności różnych rodzajów węgla aktywnego, określenie efektywności usuwania kwasów humusowych w zależności od czasu kontaktu oraz oznaczenie składu biocenozy biofilmu utworzonego na filtrach węglowych i mikroorganizmów pozostających w wodzie odprowadzanej z filtrów węglowych.

Na podstawie uzyskanych wyników przygotowano pracę magisterską oraz trzy publikacje, w tym dwie oparte na badaniach własnych (II.E.34, III.B.12), a jedną na podstawie studiów literaturowych (II.E.32). Moja praca dyplomowa pt. *„Analiza efektywności usuwania kwasów humusowych w złożach węglowych (BAF_w) na podstawie literatury i badań własnych”* została wyróżniona w konkursie „Nauka na rzecz ochrony środowiska i przyrody” na najlepsze prace magisterskie i licencjackie przygotowane w polskich i ukraińskich szkołach wyższych w 1999 roku (II.K.7).

W roku 1999 rozpoczęłam studia doktoranckie na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej. Moim opiekunem naukowym był prof. dr hab. inż. Zbigniew Heidrich. W roku 2000 w ramach Grantu Dziekańskiego pt.: *„Badania przebiegu oczyszczania ścieków w reaktorze biologicznym typu SBR z wypełnieniem fluidalnym”* (II.J.8), przeprowadziłam wstępne prace eksperymentalne nad przebiegiem oczyszczania ścieków w sekwencyjnym reaktorze porcjowym ze złożem ruchomym (reaktor MBSBBR). W odróżnieniu od nielicznych jeszcze wówczas doniesień literaturowych dotyczących wykorzystania technologii złoża ruchomego w oczyszczaniu ścieków, podjęto prace badawcze nad układem hybrydowym, który łączył biologię osadu czynnego i błony biologicznej. Celem przeprowadzonych doświadczeń była analiza efektywności oczyszczania ścieków przy zastosowaniu reaktora MBSBBR oraz określenie, jakie przemiany biochemiczne odpowiedzialne są za obserwowany ubytek związków azotu i fosforu. Wyniki tych prac opisano w następujących publikacjach (II.E.30, II.E.31, II.E.33). Pozwoliły one również na sprecyzowanie zakresu dalszych badań. W latach 2001-2003 kontynuowano je w ramach projektu badawczego pt.: *„Ocena efektywności usuwania związków węgla, azotu i fosforu w sekwencyjnych reaktorach porcjowych ze złożem zawieszonym (MBSBBR)”* finansowanego przez KBN (II.J.7). Podstawowymi zagadnieniami podjętymi w pracach eksperymentalnych były: 1) porównanie efektywności pracy konwencjonalnego reaktora SBR z reaktorem ze złożem ruchomym, 2) określenie wpływu objętości ruchomego wypełnienia na efektywność oczyszczania ścieków, 3) określenie wpływu stężenia tlenu rozpuszczonego na jakościową i ilościową charakterystykę procesów usuwania C, N i P, 4) określenie wpływu wartości stosunków ChZT : N i ChZT : P na sprawność usuwania związków biogenych. Na podstawie przeprowadzonych badań przygotowano rozprawę doktorską pt. *„Efektywność usuwania związków węgla, azotu i fosforu w reaktorze porcjowym ze złożem zawieszonym”*, obronioną w 2003 roku na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej. Ich efekty zaprezentowano również w czterech artykułach (II.E.23, II.E.26-II.E.28)

oraz w ośmiu referatach (II.L.7-II.L.13, III.B.11) wygłoszonych na konferencjach i seminariach o zasięgu ogólnopolskim.

Od stycznia 2004 roku pracuję na stanowisku adiunkta w Zakładzie Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków PW. Wiodącym kierunkiem moich zainteresowań naukowych jest usuwanie ze ścieków komunalnych związków azotu i fosforu, a przewodnim celem realizowanych prac badawczych poszukiwanie rozwiązań technologicznych, które z założenia powinny się przyczynić do osiągnięcia przez oczyszczalnie ścieków nie tylko korzyści procesowych, ale także ekonomicznych.

Jedno z zagadnień cząstkowych, które rozwijam w ramach prac badawczych oraz koncepcyjnych dotyczy wykorzystania technologii złoża ruchomego w biologicznym oczyszczaniu ścieków komunalnych, co stanowi kontynuację moich wcześniejszych zainteresowań naukowych. W roku 2006 wspólnie z prof. nzw. dr hab. inż. Jolantą Podedworną przeprowadziłam eksperymenty mające na celu ocenę możliwości wykorzystania nowego typu złoża ruchomego (Newfloat) jako nośnika błony biologicznej. Dowiodły one, że w przypadku stosowanego wypełnienia znaczący wpływ na wykształcanie się na jego powierzchni błony biologicznej ma intensywność mieszania. Zbyt duża turbulencja ścieków w reaktorze wręcz uniemożliwia rozwój mikroorganizmów na kształtkach, co wynika z ich kształtu, który sprawia, że praktycznie cała powierzchnia nośników narażona jest na siły ścinające występujące w reaktorze podczas mieszania oraz na ścieranie, wynikające z mechanicznych uderzeń poszczególnych elementów złoża. Zakres doświadczeń obejmował również obserwacje wzrostu w błonie biologicznej bakterii nitryfikacyjnych i ocenę efektywności usuwania azotu w zależności od wieku osadu oraz obciążenia reaktora ładunkiem zanieczyszczeń organicznych. Efekty tych prac przedstawiono w następujących artykułach (II.A.6, II.E.16) oraz zaprezentowano na seminarium naukowym (III.B.6). Badania nad zasiedlaniem przez bakterie nitryfikacyjne ruchomych nośników oraz wpływu tego naturalnego sposobu immobilizacji biomasy na efektywność utleniania azotu amonowego przy zmiennych parametrach pracy reaktora biologicznego prowadzono również na obiektach technicznych. Pozwoliły one na sformułowanie wniosku, iż biomasa rozwinięta w postaci błony biologicznej dawała możliwość uzyskania dużo wyższych szybkości procesu nitryfikacji w porównaniu z biomasą osadu czynnego, a jednym z czynników determinujących to zjawisko były relacje ilościowe pomiędzy bakteriami heterotroficznymi a bakteriami nitryfikacyjnymi zasiedlającymi oba biotopy. Niniejszą tematykę poruszono w artykule opublikowanym w czasopiśmie *Gaz Woda i Technika Sanitarna* (II.E.24). Kolejnym zagadnieniem, wchodzącym w obszar wykorzystania metody złoża ruchomego,

którym się zajmuje jest możliwość ograniczenia wymaganej pojemności reaktora biologicznego dzięki wykorzystaniu wspomnianej technologii. Tę istotną z punktu widzenia praktycznego zaletę metody złoża ruchomego dyskutowano w wielu artykułach (II.A.1, II.E.12, II.E.13, II.E.18, II.E.25) i referatach (III.B.8, III.B.9).

Zdobyte przez zespół naukowy, którego jestem członkiem, doświadczenia naukowe związane z wykorzystaniem złoża ruchomego w technologii oczyszczania ścieków zostały zauważone przez przedsiębiorstwa komercyjne, na których zlecenie przygotowano wytyczne technologiczne do wdrożenia hybrydowej przydomowej oczyszczalni ścieków typu MBSBBR (I.B.1). Staram się również być w ciągłym kontakcie z polskimi podmiotami gospodarczymi eksploatującymi komunalne oczyszczalnie ścieków wykorzystujące metodę złoża ruchomego, zbierając na bieżąco dane dotyczące efektywności oczyszczania ścieków oraz informacje na temat zalet i wad tej technologii.

Występujący w wielu oczyszczalniach problem zbyt niskiego ładunku związków organicznych w ściekach, w stosunku do zapotrzebowania związanego z usuwaniem azotu i fosforu, stał się powodem mojego zainteresowania procesem denitryfikacji defosfatacyjnej. Tematyką tą zaczęłam się zajmować w roku 2006, kiedy, jako jeden z członków zespołu badawczego rozpoczęłam realizację projektu pt. *„Badania nad usuwaniem biogenów ze ścieków w procesie denitryfikacji defosfatacyjnej”* (II.J.5). Jego celem naukowym była ocena możliwości wykorzystania procesu denitryfikacji defosfatacyjnej do zwiększenia efektywności zintegrowanego usuwania azotu i fosforu ze ścieków w reaktorach biologicznych, w warunkach ograniczonej podaży związków węgla organicznego. Badania, prowadzone przy współpracy z pracownikami Zakładu Biologii Środowiska Politechniki Warszawskiej, ukierunkowano na określenie wpływu różnych parametrów technologicznych charakteryzujących pracę sekwencyjnego reaktora porcjowego (czasu trwania cyklu, czasu trwania warunków beztlenowych, stężenia tlenu rozpuszczonego, wartości ChZT:N i ChZT:P oczyszczanych ściekach) na wzrost w biomacie bakterii zdolnych do usuwania fosforu w warunkach anoksycznych (BAP_{den}) oraz udział procesu denitryfikacji defosfatacyjnej w całkowitym usuwaniu ze ścieków związków N i P. Wyniki uzyskane podczas realizacji projektu przedstawiono w następujących publikacjach naukowych (I.A.2, I.A.3, I.A.5, II.E.2, II.E.4, II.E.6, II.E.7, II.E.15) oraz zaprezentowano na konferencjach naukowych (II.L.3-II.L.6, III.B.3, III.B.5, III.B.7). Badania dowiodły, że wysoki udział BAP_{den} w całej populacji bakterii zdolnych do nadmiarowej akumulacji ortofosforanów (BAP) świadczy o warunkach pracy osadu czynnego promujących wzrost tej grupy mikroorganizmów, nie jest jednak równoznaczny z wysoką wydajnością synergicznego usuwania azotu i fosforu ze ścieków

w procesie denitryfikacji defosfatacyjnej. Najwyższy udział BAP_{den} w BAP oraz najwyższą efektywność usuwania azotu i fosforu z najwyższym udziałem denitryfikacji defosfatacyjnej uzyskano przy 14-godzinnym czasie zatrzymania z sekwencją warunków beztlenowo-anoksydacyjno-tlenowych, co w przypadku reaktorów typu SBR wymaga włączenia do układu oczyszczania drugiego reaktora, z którego ścieki po procesie nitrifikacji będą przepompowywane do reaktora głównego bezpośrednio po zakończeniu w nim fazy beztlenowej. Przeprowadzone badania wykazały zasadność dalszego poszukiwania takiego układu technologicznego SBR, który z wytworzonym odpowiednio wysokim udziałem BAP_{den} w BAP umożliwi równoczesne usuwanie obu biogenów. Zadanie to podjęłam jako współwykonawca projektu pt. „*Analiza możliwości wykorzystania reaktora typu MBSBBR do usuwania biogenów ze ścieków z dominującym udziałem procesu denitryfikacji defosfatacyjnej*” (II.J.1), którego realizacja rozpoczęła się w 2011 roku, a zakończenie planowane jest na maj 2014 roku. W ramach realizacji tego projektu podjęto współpracę z zespołem Katedry Biotechnologii Politechniki Śląskiej, dzięki czemu warsztat technologiczny rozszerzono o badania z zakresu biologii molekularnej, co znacząco poszerzyło możliwości poznawcze prowadzonych prac. Obecnie wspólnie z innymi członkami zespołu przygotowuję publikacje, w których zaprezentowane zostaną efekty przeprowadzonych eksperymentów oraz wniosek patentowy dotyczący termicznej hydrolizy związków wielocząsteczkowych.

Kolejnym zagadnieniem wpisującym się w moje zainteresowania intensyfikacją usuwania ze ścieków związków biogenych jest wykorzystanie w tym celu procesu beztlenowego utleniania amoniaku (Anammox). W ramach 6-miesięcznego stażu naukowego (listopad 2009 - maj 2010) w Department of Land and Water Resources Engineering, Royal Institute of Technology (KTH) w Sztokholmie (III.L.3), jako członek zespołu kierowanego przez prof. dr inż. Elżbietę Płazę, przeprowadziłam badania statyczne nad wpływem różnych strategii napowietrzania na przebieg i efektywność jednostopniowej deamonifikacji (opartej na częściowej nitrifikacji i procesie Anammox). Strategia definiowana była stężeniem tlenu rozpuszczonego w fazach z napowietrzaniem oraz ilorazem czasu trwania warunków bez i z napowietrzaniem (w eksperymentach uwzględniono metodę ciągłego i naprzemiennego napowietrzania). Na podstawie uzyskanych wyników przeprowadzono bilans form azotu w kolejnych fazach oczyszczania, co umożliwiło analizę przebiegu i efektywności procesu deamonifikacji. Efekty tych prac opisano w artykule opublikowanym w *Water Science and Technology* (II.A.4). Zachęcające wyniki eksperymentów statycznych były podstawą do podjęcia badań w skali półtechnicznej. Realizowano je w ramach

wspomnianego powyżej stażu naukowego oraz w ramach kolejnego 2-miesięcznego stypendium, ufundowanego przez Politechnikę Sztokholmską (III.L.2), a ich wyniki zaprezentowano na prestiżowej międzynarodowej konferencji nt. *“Nutrient Recovery and Management”* (III.Q.1) oraz na Warsztatach Metodologicznych Centrum Studiów Zaawansowanych PW (II.L.1). Doświadczenia zdobyte w obszarze wykorzystania procesu deamonifikacji do usuwania z wód osadowych związków azotu pozwoliły również na przygotowanie pracy skierowanej do polskich inżynierów i eksploatorów oczyszczalni ścieków, którą opublikowano w czasopiśmie *Gaz Woda i Technika Sanitarna* (II.E.14). Moja współpraca z zespołem Politechniki Sztokholmskiej nie skończyła się na odbytych dwóch stażach naukowych, jest nadal kontynuowana. Obecnie pracujemy nad publikacją zbierającą wyniki blisko dwu letnich doświadczeń nad wpływem różnych strategii napowietrzania na przebieg i efektywność usuwania azotu na drodze deamonifikacji. Dodatkowym efektem tej naukowej kooperacji było podpisanie umowy o współpracy w ramach programu Erasmus pomiędzy Wydziałem Inżynierii Środowiska PW a Department of Land and Water Resources Engineering, Royal Institute of Technology (KTH).

Istotnym elementem mojego rozwoju naukowego był udział w projekcie naukowym pt. *„Technologia dezintegracji osadów ściekowych z wykorzystaniem mechanicznych wytwornic kawitacji w warunkach polskich oczyszczalni ścieków”*, realizowanym w ramach programu Inicjatywy Technologicznej I (NCBiR) w latach 2008-2010 w Uczelnianym Centrum Badawczym Energetyki i Ochrony Środowiska Politechniki Warszawskiej (II.J.4). Podjęte doświadczenia miały charakter wielokierunkowy i obejmowały analizę wpływu dezintegracji osadów nadmiernych na efektywności odpowiednio fermentacji metanowej, usuwania związków biogenych ze ścieków oraz odwadniania osadów. Samodzielnie prowadziłam eksperymenty mające na celu ocenę możliwości wykorzystania zdeintegrowanych osadów jako źródła węgla organicznego dla intensyfikacji procesu denitryfikacji, a ich efektem jest moja monografia habilitacyjna (I.A). Miałam również znaczący udział w realizacji zadania, którego przedmiotem była analiza wpływu dezintegracji osadu nadmiernego na efektywność procesu fermentacji metanowej i przygotowanie wytycznych technologicznych do wdrożenia badanego urządzenia. Przeprowadzone doświadczenia obejmowały w swoim zakresie: 1) porcjowe testy dezintegracji, których głównym celem była analiza wpływu parametrów procesowych (stężenie suchej masy osadów poddawanych procesowi dezintegracji, szybkość przepływu strumienia osadu przez urządzenie, ilość zużytej energii) na efektywność procesu dezintegracji określanej na podstawie zmian stężenia związków organicznych w cieczy osadowej oraz 2) obserwacje

wpływu dezintegracji części lub całości strumienia osadów nadmiernych kierowanych do komór fermentacyjnych w obiektach technicznych. Uzyskane rezultaty opisano w następujących publikacjach (II.E.3, II.E.5, II.E.9, II.E.11) oraz zaprezentowano na konferencjach naukowych (II.L.2, III.B.4). Obecnie przedsiębiorstwo *MVA Green Energy S.A.*, z którym współpracuję, prowadzi starania zmierzające do zastosowania badanego urządzenia w polskich oczyszczalniach ścieków.

W roku 2011 uzyskałam grant badawczy pt. *„Dezintegracja osadów ściekowych jako metoda pozwalająca na uzyskanie alternatywnego źródła węgla organicznego dla procesów biologicznego usuwania ze ścieków związków biogennych”* (II.J.2), który umożliwił mi kontynuację badań nad zastosowaniem zdeintegrowanych osadów do intensyfikacji procesu denitryfikacji i biologicznej defosfatacji. Zdefiniowano w nim dwa cele cząstkowe: 1) analiza stopnia dezaktywacji zdeintegrowanych osadów w zależności od nakładów energetycznych przy równoczesnym uwzględnieniu wydajności uwalniania do cieczy osadowej związków organicznych i biogennych, 2) analiza możliwość wykorzystania związków organicznych uwolnionych do fazy ciekłej w wyniku procesu dezintegracji osadu do zwiększenia efektywności eliminacji związków biogennych ze ścieków charakteryzujących się niekorzystnym stosunkiem ChZT:N i ChZT:P. Przeprowadzone badania dowiodły, że przy odpowiednio dobranej gęstości energii (E_1) proces hydrodynamicznej dezintegracji osadów nadmiernych pozwala na uwolnienie z kłaczków osadu czynnego związków organicznych, nie prowadząc jednocześnie do znaczącej dezaktywacji mikroorganizmów odpowiedzialnych za usuwanie ze ścieków związków N i P ($E_1 \leq 140$ kJ/l), a przy niskich gęstościach energii prowadzi nawet do wzrostu aktywności mikroorganizmów ($E_1 \leq 70$ kJ/l). Zauważono również, że dezaktywacja bakterii nitryfikacyjnych, denitryfikacyjnych i defosfatacyjnych występowała przy różnych wartościach stopnia dezintegracji, co połączono z zasiedlaniem przez wymienione grupy mikroorganizmów różnych stref kłaczków osadu czynnego. Najbardziej „odpornymi” na działanie sił powodujących destrukcję kłaczków osadu czynnego okazały się bakterie denitryfikacyjne, a najmniej bakterie defosfatacyjne. Ważnym pod względem poznawczym i aplikacyjnym osiągnięciem zakończonego w grudniu 2013 projektu badawczego było wyjaśnienie zagadnienia potencjalnego pogorszenia efektywności oczyszczania ścieków, gdy jako dodatkowe źródło węgla organicznego wykorzystuje się zdeintegrowane osady. Uzyskane rezultaty opisano w publikacji (II.E.10) i zaprezentowano na warsztatach naukowych (III.B.1), były one również podstawą do przygotowania czterech artykułów, które zamierza się opublikować w czasopismach wymienionych w bazie Journal Citation Report (JCR). Efektem tych prac jest

także referat, który zostanie wygłoszony w kwietniu br. na IV Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej nt. „Aktualne potrzeby i tendencje w oczyszczaniu ścieków i zagospodarowaniu osadów ściekowych”.

Moja aktywność w zakresie pracy naukowej została doceniona jedną indywidualną i czterema zespołowymi Nagrodami J.M. Rektora Politechniki Warszawskiej (II.K.1-II.K.4, II.K.6). W roku akademickim 1998/1999, jeszcze jako studentka studiów magisterskich, otrzymałam Stypendium Ministra Edukacji Narodowej za wysokie wyniki w nauce i szczególne osiągnięcia w pracy naukowej (II.K.8).

Zdobywane przeze mnie doświadczenia naukowe staram się wykorzystywać we współpracy z podmiotami gospodarczymi. Obecnie wspólnie z prof. nzw. dr hab. inż. Jolantą Podedworną, biorę udział w pracach zmierzających do wdrożenia przydomowej oczyszczalni ścieków opartej na hybrydowym sekwencyjnym reaktorze porcjowym ze złożem ruchomym, prowadzonych przez przedsiębiorstwa *Sotralentz Sp. z o. o.* i *Sapling Sp. z o.o.* (II.B.1). Razem z wymienionymi podmiotami gospodarczymi oraz z zespołem naukowym Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie przygotowujemy wniosek aplikacyjny do konkursu w ramach programu GEKON II – Generator Koncepcji Ekologicznych. Podjęłam również współpracę z firmami *Expert F Sp. z o.o.* z Warszawy i *MVA Green Energy S.A.* z Warszawy. W latach ubiegłych wykonywałam indywidualnie lub w zespole ekspertyzy i opracowania dla następujących podmiotów: *PP-EKO Sp. z o.o.* z Warszawy, *Purator Polska Ekotechnika Sp. z o.o.* z Warszawy, *Akcelerator Innowacji NOT* z Warszawy i *MZWik* w Kole (II.B.2, II.B.3, III.M.1-III.M.3). Od 2004 roku współpracuję również z *Fundacją TERAZ POLSKA*, jako koordynator opiniowanych przez pracowników Zakładu Zaopatrzenia w Wodę i Odprowadzania Ścieków PW wniosków w konkursach organizowanych przez fundację. Jestem również jednym z ekspertów oceniających wnioski dotyczące produktów, usług i innowacji w konkursie TERAZ POLSKA (III.M.4).

Swoją pracę naukową staram się uzupełniać działalnością popularyzatorską. Jestem współautorką czterech artykułów w takich periodykach jak: *Forum Eksploatatora* (II.E.35-II.E.37) i *Ekotechnika* (II.E.38). W latach 2006-2007 brałam czynny udział w prezentacji dotyczącej biologicznego oczyszczania ścieków w ramach Pikników Naukowych organizowanych w Warszawie przez Radio Zet.

W trakcie swojej pracy naukowej opublikowałam 8 prac wyróżnionych przez bazę Web of Science, w tym 6 prac posiadających Impact Factor w roku publikacji. Jestem autorką 4. i współautorką 23. publikacji zamieszczonych w innych czasopismach recenzowanych wymienionych na liście MNiSW. Opublikowałam jedną monografię i jestem

współautorką 7. rozdziałów w monografiach, w tym 2. anglojęzycznych. Jestem autorką lub współautorką 26. referatów prezentowanych na konferencjach i sympozjach naukowych, w tym 4. międzynarodowych (część z tych referatów została opublikowana jako rozdziały w monografiach). Łącznie uczestniczyłam w 8. projektach badawczych, w dwóch z nich pełniąc rolę kierownika, a w pozostałych głównego wykonawcy (projekty zakończone). Obecnie jestem współwykonawcą jednego projektu własnego MNiSW. Zrealizowałam 24 opracowania na zlecenie podmiotów gospodarczych lub fundacji. Jestem ponadto współautorem 7. dokumentacji prac badawczych.

Moja działalność naukowa obejmuje również przygotowanie recenzji publikacji naukowych. Zrealizowałam 17 takich opracowań dla następujących periodyków wyróżnionych w bazie JCR: *Bioresource Technology* (11), *International Journal of Environmental Science and Technology* (4), *Chemosphere* (1) i *Polish Journal of Environmental Studies* (1) oraz 8 dla takich czasopism jak: *Gaz Woda i Technika Sanitarna* (6) i *Instal* (2).

Mój sumaryczny Impact Factor wynosi 5,394. Index Hirsha wg bazy Web of Science wynosi 2, wg bazy Scopus - 3, a wg Google Scholar - 5. Liczba cytowań wg bazy Web of Science to 9, wg bazy Scopus - 17, a wg Google Scholar - 77. Liczba punktów MNiSW uzyskana za publikacje naukowe zgodna z rokiem wydania i uwzględniająca mój procentowy udział w powstaniu prac wynosi 189 (sumaryczna liczba punktów MNiSW to 334).

M. Sudar