dr inż. Adam Muszyński

Załącznik 1

AUTOREFERAT

dotyczący osiągnięć w pracy naukowo – badawczej, organizacyjnej i dydaktycznej

Warszawa, grudzień 2015 r.

1. Imię i nazwisko

ADAM MUSZYŃSKI

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

2001 stopień doktora nauk technicznych w zakresie inżynierii środowiska,
nadany uchwałą rady Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej,
tytuł pracy doktorskiej: „Biodegradacja zużytych chłodziw w procesie unieszkodliwiania ścieków z obróbki powierzchniowej metali",
promotor: prof. nzw. dr hab. Maria Łebkowska
recenzenci: dr hab. Ewa Klimiuk, prof. nzw. dr hab. Zbigniew Szperliński

1994 tytuł zawodowy magister inżynier biotechnologii w inżynierii środowiska,
uzyskany na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej,
tytuł pracy magisterskiej: „Biodegradacja paliwa Diesla w glebie przy użyciu immobilizowanych mikroorganizmów",
opiekun naukowy: dr hab. Maria Łebkowska

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

od 2002 adiunkt w Zakładzie Biologii Środowiska (obecnie: Zakład Biologii),
Wydział Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej

1994 – 2002 asystent w Zakładzie Biologii Środowiska,
Wydział 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

Jako osiągnięcie naukowe, stanowiące podstawę ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego, wskazuję wyniki badań opublikowane w monografii:

Adam Muszyński (2015):

Struktura zbiorowisk mikroorganizmów w osadzie czynnym oczyszczalni z podwyższonym usuwaniem biogenów

Prace Naukowe, Inżynieria Środowiska, z. 71

Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa

(ISSN 1234-4338, ISBN 978-83-7814-467-0)

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

Cel i zakres badań

Celem pracy było określenie wpływu warunków oczyszczania ścieków osadem czynnym na bioróżnorodność mikroorganizmów odpowiedzialnych za procesy podwyższonego usuwania biogenów – azotu i fosforu.

W pracy sformułowano tezę, że zróżnicowanie filogenetyczne mikroorganizmów odpowiedzialnych za efektywność eliminacji biogenów uwarunkowane jest przede wszystkim obecnością w ściekach określonych frakcji organicznych i nieorganicznych oraz preferencjami substratowymi drobnoustrojów. O strukturze zbiorowisk bakterii odpowiedzialnych za usuwanie biogenów w osadzie czynnym nie można wnioskować wyłącznie na podstawie wartości ogólnych wskaźników zanieczyszczeń organicznych w ściekach, takich jak BZT_5 i ChZT oraz obciążenia osadu ładunkiem zanieczyszczeń organicznych.

Cel naukowy osiągnięto poprzez zrealizowanie następujących zadań badawczych:

- określenie głównych typów i klas bakterii występujących w osadzie czynnym badanych oczyszczalni techniką qFISH (ang.: *quantitative Fluorescence In Situ Hybridization*),

- identyfikację i oznaczenie ilościowe bakterii odpowiedzialnych za usuwanie biogenów (lub powodujących problemy w tym procesie) w badanych oczyszczalniach techniką qFISH,
- analizę struktury populacji bakterii akumulujących fosfor w osadzie czynnym metodą PCR (ang.: *Polymerase Chain Reaction*),
- zbadanie korelacji pomiędzy wskaźnikami chemicznymi i parametrami technologicznymi a zawartością badanych grup mikroorganizmów i wytypowanie warunków wspomagających rozwój bakterii odpowiedzialnych za usuwanie biogenów.

Problematyka badań

Konwencjonalne systemy oczyszczania ścieków osadem czynnym z ciągłym napowietrzaniem, projektowane przede wszystkim do usuwania węgla organicznego, nie pozwalają na efektywną eliminację związków azotu i fosforu. Konieczność ograniczenia stężenia związków biogennych w ściekach oczyszczonych spowodowała rozwój technologii osadu czynnego z wydzielonymi strefami: anaerobową (beztlenową), anoksyczną i aerobową (tlenową). Umożliwia to prowadzenie procesów biologicznej defosfatacji oraz nitryfikacji i denitryfikacji.

Podwyższone biologiczne usuwanie fosforu wymaga naprzemiennej ekspozycji osadu czynnego w warunkach beztlenowych i tlenowych (bądź anoksycznych), stymulujących rozwój mikroorganizmów (PAO - ang.: *Polyphosphate Accumulating Organisms*), które zdolne są pobierać więcej fosforanów niż wynikałoby to ze stechiometrii zapotrzebowania komórkowego na wzrost. Ze względu na odmienne wymagania bakterii nitryfikacyjnych i denitryfikacyjnych, eliminacja azotu wymaga oczyszczania ścieków w oddzielnych reaktorach (lub fazach, odpowiednio aerobowej i anoksycznej), różniących się obciążeniem osadu ładunkiem związków organicznych i dostępnością akceptorów elektronów.

Wiedza na temat wymagań technologicznych dla efektywnego usuwania azotu i fosforu wyprzedzała zrozumienie mikrobiologicznych zasad rządzących procesem, głównie z powodu braku odpowiednich metod badawczych. Kolejne układy technologiczne, rozwijane wyłącznie na podstawie doświadczeń eksploatacyjnych, charakteryzowała niestabilność i podatność na łatwe załamanie procesu. Większość badań mikrobiologicznych prowadzono z wykorzystaniem technik hodowlanych, a wyizolowane szczepy zwykle nie odgrywały większej roli w procesach eliminacji azotu i fosforu.

Zastosowanie metod molekularnych zrewolucjonizowało pogląd na temat bioróżnorodności mikroorganizmów w osadzie czynnym. Techniki, takie jak FISH (ang.: *Fluorescence In Situ Hybridization*),, mikroautoradiografia (MAR – ang.: *MicroAutoRadiography*), czy PCR (ang.: *Polymerase Chain Reaction*), wykazały dużą różnorodność grup filogenetycznych bakterii w osadzie czynnym w układach z biologicznym usuwaniem biogenów i znaczne różnice w strukturze zbiorowisk bakterii pomiędzy nimi a układami klasycznymi. W szczególności dotyczy to bakterii PAO - „*Candidatus* Accumulibacter phosphatis" (z klasy *Betaproteobacteria*), rodzaju *Tetrasphaera* (należących do typu *Actinobacteria*) oraz „*Candidatus* Halomonas phosphatis" (rodzina *Halomonadaceae* z klasy *Gammaproteobacteria*), których liczebność w osadzie czynnym jest zdecydowanie wyższa w układach z podwyższonym biologicznym usuwaniem fosforu.

Ze względu na wysoką zawartość azotu amonowego w porównaniu do naturalnych zbiorników wodnych, w osadzie czynnym wykrywane są na ogół bakterie nitryfikacyjne I fazy (AOB – *ang.: Ammonia-Oxidizing Bacteria*) z rodzaju *Nitrosomonas* (w przeciwieństwie do *Nitrosospira,* które są lepiej przystosowane do niskich stężeń). Za drugą fazę nitryfikacji odpowiadają bakterie z rodzaju *Nitrospira*, choć przez wiele lat uważano, że kluczowymi mikroorganizmami utleniającymi azotany (III) (NOB – *ang.: Nitrite-Oxidizing Bacteria*) w układach do oczyszczania ścieków są mikroorganizmy z rodzaju *Nitrobacter*, które dosyć łatwo rosną w mineralnych podłożach mikrobiologicznych i w rezultacie mogą być wyhodowane niemal z każdego reaktora. Filogenetyczna bioróżnorodność AOB i NOB w układach do oczyszczania ścieków odzwierciedla adaptację do odmiennych warunków środowiskowych. Zróżnicowanie nisz ekologicznych, dostępnych dla nitryfikatorów, jest ściśle związane z typem i sposobem eksploatacji reaktora. Efektywność nitryfikacji zależna jest przede wszystkim od rozwoju właściwych grup AOB i NOB, zaś ich identyfikacja staje się kluczowa w utrzymaniu odpowiednich warunków sprzyjających wzrostowi tych drobnoustrojów.

Wyizolowane szczepy bakterii denitryfikacyjnych zwykle nie odgrywają większej roli w procesach eliminacji azotu. Dominującymi denitryfikatorami w komunalnych oczyszczalniach ścieków z usuwaniem biogenów są niehodowlane bakterie z rodzaju *Curvibacter, Thauera* i *Azoarcus,* podczas gdy w układach bez denitryfikacji mikroorganizmy te wykrywane są sporadycznie.

Układy osadu czynnego z podwyższoną eliminacją biogenów charakteryzuje specyfika, związana ze zmiennymi warunkami pracy, panującymi w kilku komorach (bądź

w czasie – w przypadku układów sekwencyjnych). Obecność lub brak różnych akceptorów elektronów odgrywa kluczową rolę w selekcji grup organizmów, odpowiedzialnych za eliminację ze ścieków węgla organicznego, azotu i fosforu. Liczebność bakterii, choć zależna od konfiguracji reaktora w skali technicznej, może być różna w osadach pracujących w oczyszczalniach o takich samych parametrach technologicznych. Brak stabilności usuwania związków azotu i fosforu wynika przede wszystkim z niepełnego zrozumienia biochemii tych procesów i niekompletnej znajomości mikroorganizmów biorących w nich udział. Po wprowadzeniu technik molekularnych okazało się, że uzyskane metodami hodowlanymi informacje na temat bakterii odpowiedzialnych za oczyszczanie ścieków są nie tylko niepełne, ale także fałszywe. Z tego powodu wiedza ta powinna być zweryfikowana, a dotyczy to szczególnie bakterii odpowiedzialnych za usuwanie biogenów.

Omówienie wyników

Do badań wytypowano 6 oczyszczalni ścieków z podwyższonym usuwaniem biogenów, różniących się konfiguracją reaktorów, głównymi parametrami technologicznymi oraz chemicznymi dopływających ścieków. Badania prowadzono w latach 2011-2013, próbki osadów i ścieków pobierano 2 razy w ciągu roku, wczesną wiosną i późną jesienią, aby uwzględnić zmienność sezonową bakterii osadu czynnego. W celu oceny zależności pomiędzy parametrami technologicznymi i chemicznymi a strukturą zbiorowisk bakterii odpowiedzialnych za usuwanie biogenów, analizie poddawano ścieki doprowadzane do reaktora biologicznego, po osadniku wstępnym (o ile był obecny w układzie technologicznym oczyszczalni).

Identyfikację i oznaczenia liczebności bakterii wykonywano metodą qFISH. Strukturę populacji *A. phosphatis* badano na podstawie filogenetycznej analizy genu kinazy polifosforanowej 1, którą przeprowadzono za pomocą badania PCR i elektroforezy żelowej. Wyniki badań opracowano zgodnie z analizą statystyczną cech mierzalnych (ilościowych) oraz cech niemierzalnych (jakościowych). Dla parametrów ilościowych (mierzalnych) wyznaczono podstawowe statystyki opisowe: średnią (M), medianę (Me), odchylenie standardowe (σ), wartości minimalną (Min) i maksymalną (Max). W celu weryfikacji związków pomiędzy parametrami technologicznymi a zawartością bakterii, zastosowano badanie korelacyjne rho Spearmana. Różnice pomiędzy poszczególnymi oczyszczalniami weryfikowano z użyciem statystyk opisowych i jednoczynnikowej analizy wariancji Anova. W celu zweryfikowania różnic w wynikach pomiędzy porami roku, przeprowadzono analizę testem U Manna-Whitneya.

Dominującym typem bakterii w osadzie czynnym badanych oczyszczalni ścieków były *Proteobacteria* (średnio 35% ogółu bakterii), pośród których najliczniejsze były *Betaproteobacteria* (średnio 22%). Duże znaczenie dla procesu oczyszczania ścieków miały również mikroorganizmy z typów *Actinobacteria* i *Chloroflexi* (średnia liczebność 14%). *Firmicutes* i bakterie z rodziny *Saprospiraceae* nie odgrywały znaczącej roli w badanych układach (liczebność odpowiednio poniżej 0,5% i 3%). Stwierdzono jednak istotne różnice w zawartości *Actinobacteria, Chloroflexi* oraz *Betaproteobacteria* w osadzie czynnym poszczególnych oczyszczalni ścieków. Wraz ze wzrostem ilości bakterii z typu *Chloroflexi* spadała liczebność *Alpha-* i *Betaproteobacteria* oraz *Actinobacteria*. Nie stwierdzono wyraźnych wspólnych korelacji pomiędzy zawartością tych drobnoustrojów w osadzie czynnym a ogólnymi wskaźnikami zanieczyszczeń w ściekach i parametrami technologicznymi procesu oczyszczania. Czynnikiem warunkującym wzajemne zależności pomiędzy głównymi grupami bakterii w osadzie czynnym były prawdopodobnie preferencje substratowe drobnoustrojów i zawartość poszczególnych składników w ściekach.

W pracy wykazano, że mikroorganizmy nitkowate stanowiły ważną grupę w osadzie czynnym (średnio 28% ogółu bakterii), która odpowiadała za hydrolizę polimerów zawartych w ściekach. Dominującą rolę w przemianach białek, wielocukrów i lipidów ogrywały odpowiednio *Chloroflexi*, *Haliscomenobacter hydrossis* i *Microthrix* spp.

Największe znaczenie dla biologicznej eliminacji fosforu miały PAO z rodzaju *Tetrasphaera* (głównie klady 2A i 1), niewielkie natomiast gatunek *H. phosphatis*. Rozwojowi PAO z rodzaju *Accumulibacter* sprzyjały obecność komory predenitryfikacji w układzie technologicznym oczyszczalni (zmniejszenie ryzyka przedostawania się azotanów (V) do komory beztlenowej) oraz fermentera (zwiększenie stężenia krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych w dopływie do reaktora).

Liczebność mikroorganizmów akumulujących glikogen (GAO - ang.: *Glycogen Accumulating Organisms*), do których należały głównie „*Candidatus* Competibacter phosphatis" oraz klastry 2 i 1 *Defluviicoccus vanus,* utrzymywała się na ogół na niskim poziomie. W badanych oczyszczalniach nie stwierdzono obecności bakterii akumulujących glikogen z klastra 3 *D. vanus*. Decydujące znaczenie dla współzawodnictwa PAO i GAO miał rodzaj ścieków doprowadzanych do reaktora. Stosunkowo wysoką zawartość *A. phosphatis* wykrywano w osadzie czynnym oczyszczalni zasilanych typowymi ściekami komunalnymi. Natomiast w układach ze znacznym udziałem ścieków przemysłowych oraz dowożonych taborem asenizacyjnym większe znaczenie miały PAO z rodzaju

Tetrasphaera oraz GAO, przy czym bardziej istotny był nie tyle ładunek ChZT ścieków, co ich rodzaj i substancje w nich zawarte. Wraz ze wzrostem biodegradowalnej frakcji organicznej w ściekach zmniejszało się znaczenie *A. phosphatis* w procesie biologicznej eliminacji fosforu (ujemne korelacje z BZT_5 oraz stosunkiem BZT_5/ChZT), rosła natomiast rola PAO z rodzaju *Tetrasphaera* oraz GAO z klastrów 2 i 1 *D. vanus* i *C. phosphatis* (korelacje dodatnie z BZT_5 oraz stosunkiem BZT_5/ChZT). Rozwojowi GAO sprzyjały ponadto niskie stężenia azotu i fosforu w stosunku do BZT_5 i ChZT w dopływie do reaktora (korelacje dodatnie ze stosunkami BZT_5/N, ChZT/N oraz BZT_5/P i ChZT/P). W osadzie czynnym o wysokiej zawartości GAO obserwowano zwiększoną ilość PAO z rodzaju *Tetrasphaera* i, pomimo jednoczesnego spadku liczebności *A. phosphatis,* nadmierny rozwój GAO nie wpływał na obniżenie efektywności eliminacji fosforu ze ścieków.

Istotną rolę w procesie nitryfikacji pełniły AOB z rodzaju *Nitrosomonas* oraz NOB z rodzaju *Nitrospira.* Wysoka liczebność *Nitrosomonas* spp. korelowała dodatnio z obciążeniem osadu ładunkiem azotu ogólnego. Zawracanie odcieków z odwadniania osadów przefermentowanych, zawierających wysokie stężenia azotu, do ciągu oczyszczania ścieków, wpływało na zwiększenie znaczenia *Nitrosomonas* spp. oraz zmniejszenie roli *Nitrospira* spp. odpowiednio w I i II fazie nitryfikacji. Niska liczebność bakterii z rodzajów *Nitrosospira* i *Nitrobacter* w osadzie czynnym wskazuje na ich małe znaczenie dla nitryfikacji w komunalnych oczyszczalniach ścieków.

Dominującymi denitryfikatorami w badanych układach były *Thauera* spp., *A. phosphatis* klad IA, *Azoarcus* spp. oraz część *C. phosphatis*. Wykazano dodatnią wzajemną korelację pomiędzy rodzajami *Azoarcus* i *Thauera.* Wraz ze spadkiem liczebności tych denitryfikatorów wzrastało natomiast znaczenie *C. phosphatis*, co zapewniało efektywne usuwanie azotu. Niska liczebność rodzajów *Curvibacter* i *Zoogloea* w osadzie czynnym wskazuje na niewielką rolę tych bakterii w procesie denitryfikacji. Nie wykazano istotnych różnic pomiędzy badanymi oczyszczalniami w odniesieniu do zawartości poszczególnych rodzajów bakterii denitryfikacyjnych, poza wysoką liczebnością *C. phosphatis* oraz okresowo *Azoarcus* spp. w oczyszczalni ze znacznym udziałem ścieków przemysłowych z zakładów przetwórstwa owocowo-warzywnego i cukrowni.

Analiza zmienności sezonowej grup bakterii wykazała dominację klasy *Betaoproteobacteria* w okresach wiosennych, a typu *Chloroflexi* jesienią. Liczebność głównych grup PAO (całego rodzaju *Accumulibacter* i *Tetrasphaera*) oraz GAO i nitryfikatorów z rodzajów *Nitrosomonas* i *Nitrobacter,* nie zależała od pory roku. Jednak

zawartość kladu IA *A. phosphatis* (wykazującego zdolność defosfatacji denitryfikacyjnej) oraz nitryfikatorów *Nitrosospira* spp. była wyższa na wiosnę, a kladu II *A. phosphatis* (niezdolnego do wykorzystywania azotanów jak akceptorów elektronów) oraz nitryfikatorów *Nitrospira* spp. – jesienią. Informacje te mogą być użyteczne na etapie projektowania i eksploatacji układów, w których uwzględnia się defosfatację denitryfikacyjną. Wykazano zmienność sezonową denitryfikatorów z rodzajów *Thauera*, *Azoarcus* oraz *Rhodobacter* i *Roseobacter* – zdecydowanie wyższą liczebność w osadzie czynnym bakterie te osiągały wiosną.

Wyniki badań potwierdziły tezę, że na podstawie ogólnych wskaźników zanieczyszczeń organicznych w ściekach takich jak BZT_5 i ChZT nie można wnioskować o strukturze populacji bakterii odpowiedzialnych za usuwanie biogenów. Udowodniono, że obecność w ściekach określonych frakcji organicznych i nieorganicznych jest jednym z decydujących czynników, kształtujących strukturę zespołów bakterii w osadzie czynnym. Potwierdzono występowanie istotnych różnic w bioróżnorodności mikroorganizmów pomiędzy oczyszczalniami ze znacznym udziałem ścieków przemysłowych a resztą badanych układów. Wykazano potrzebę przeprowadzenia szczegółowych badań bakterii nitkowatych w osadzie czynnym, ze względu na istotną rolę, jaką mikroorganizmy te pełnią w procesach hydrolizy i fermentacji polimerów organicznych zawartych w ściekach. Z porównania rezultatów uzyskanych w niniejszej pracy z danymi wcześniej opublikowanymi wynika, że o strukturze zbiorowisk bakterii w osadzie czynnym układów pełnoskalowych nie należy wnioskować na podstawie wyników eksperymentów prowadzonych w reaktorach laboratoryjnych zasilanych ściekami syntetycznymi, zawierającymi jedno źródło węgla organicznego.

Możliwość wykorzystania uzyskanych wyników

Niniejsza praca jest jednym z pierwszych w kraju opracowań dotyczących długoterminowych badań nad procesami biologicznej eliminacji azotu i fosforu w oczyszczalniach ścieków, z wykorzystaniem metod biologii molekularnej. Uzyskane wyniki znacznie rozszerzyły zakres wiedzy odnośnie bioróżnorodności mikroorganizmów i ich roli w efektywnej eliminacji biogenów. Informacje te mogą być wykorzystywane zarówno na etapie projektowania układów technologicznych oczyszczalni, jak również podczas ich eksploatacji, w celu właściwego doboru parametrów technologicznych, sprzyjających uzyskaniu konsorcjów mikroorganizmów o dużej bioróżnorodności PAO, nitryfikatorów i denitryfikatorów.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych

Moje prace naukowo-badawcze dotyczą 3 obszarów – biologicznej eliminacji zanieczyszczeń ropopochodnych z gleby i ścieków, mikroorganizmów stanowiących zanieczyszczenie powietrza i wody oraz bioróżnorodności mikroorganizmów biorących udział w usuwaniu biogenów ze ścieków.

Działalność naukową rozpocząłem na ostatnim roku studiów, kiedy zatrudniono mnie na stanowisku asystenta stażysty w Zakładzie Biologii Środowiska. Brałem udział w badaniach naukowych, dotyczących zastosowania mikroorganizmów do eliminacji zanieczyszczeń ropopochodnych z gleby. Efektem było zrealizowanie pracy magisterskiej pt. *„Biodegradacja paliwa Diesla w glebie przy użyciu immobilizowanych mikroorganizmów"*. Praca została zakwalifikowana w drodze konkursu przez Francuską Akademię Nauk do prezentacji na forum *„Ecologia Europaea: Environmental European Forum of Young Researchers"*, które odbyło się w Strasbourgu w 1997 roku (II.L.8).

Badania naukowe, dotyczące zastosowania mikroorganizmów do eliminacji zanieczyszczeń ropopochodnych, zaowocowały również współpracą z firmą Exbud-22 (obecnie Hydrogeotechnika) (III.Q.3). Dzięki opracowanej i wdrożonej technologii bioremediacji gruntów z produktów ropopochodnych oczyszczono ponad 100 tysięcy ton gleby zanieczyszczonej węglowodorami. W latach 2005-2008 byłem kierownikiem projektu europejskiego CLEANSOIL (6 PR UE INCO-CT-2005-013420: *„An innovate method for the on-site remediation of polluted soil under existing infrastructures"*), który dotyczył opracowania innowacyjnej metody oczyszczania gruntów *on-site* pod istniejącą infrastrukturą (II.J.7 i II.J.6). Metoda była testowana w trudnych warunkach polowych na Syberii, we współpracy z Moskiewskim Uniwersytetem im. Łomonosowa, uniwersytetem w Chanty-Mansyjsku i Rosyjską Akademią Nauk. Założenia technologii CLENSOIL, a także doświadczenia z jej testowania w warunkach polowych, zostały przedstawione 14 marca 2008 w Warszawie na seminarium *„Innowacyjna metoda remediacji zanieczyszczonych gruntów on-site pod istniejącą infrastrukturą (CLEANSOIL)"* (byłem członkiem komitetu organizacyjnego seminarium – III.C). Wyniki moich badań naukowych, dotyczących biologicznej eliminacji węglowodorów z gleby, zostały opublikowane w czasopiśmie z bazy JCR (II.A.6), czasopismach z listy MNiSW (część B) (II.E.17, II.E.18), a także zaprezentowane na konferencjach o zasięgu międzynarodowym (II.L.4., II.L.5, II.L.6, II.L.7,

II.L.8, III.B.6, III.B.7, w tym dwóch indeksowanych w bazie Web of Science – II.E.1 i II.E.2) i krajowym (II.L.11, II.L.16, III.B.10, III.B.11, III.B.12, III.B.15, III.B.16).

W latach 1998-2001 brałem udział w charakterze głównego wykonawcy w realizacji projektu badawczego KBN 3 T09C 057 15, który dotyczył opracowania biologicznej metody unieszkodliwiania ścieków zawierających emulsje wodno-olejowe (II.J.11). Efektem badań była praca doktorska pt. *„Biodegradacja zużytych chłodziw w procesie unieszkodliwiania ścieków z obróbki powierzchniowej metali"*, którą obroniłem z wyróżnieniem w 2001 roku na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej. Współpraca podjęta z Fabryką Łożysk Tocznych „Iskra S.A." w Kielcach (1998-2002) (III.Q.3) zaowocowała opracowaniem biotechnologicznej metody podczyszczania ścieków zawierających zużyte chłodziwa z obróbki powierzchniowej metali (II.B.1). W 2010 roku technologia została opatentowana jako *„Sposób biotechnologicznego unieszkodliwiania zużytych chłodziw emulsyjnych"*, Patent PL 204489B1 (jestem współtwórcą wynalazku) (II.C.1). Wyniki badań nad biologiczną metodą unieszkodliwiania ścieków emulsyjnych zostały opublikowane w czasopismach indeksowych w bazie JCR (II.A.8, I.A.9), w czasopiśmie spoza tej bazy (II.E.14), a także zaprezentowane na konferencjach o zasięgu krajowym (II.L.14, II.L.15, III.B.14).

W drugim obszarze mojej pracy naukowej, dotyczącym mikroorganizmów stanowiących zanieczyszczenie powietrza i wody, zajmuję się badaniami bioaerozoli w powietrzu pomieszczeń i atmosferycznym, występowaniem mikroorganizmów w układach wentylacji i klimatyzacji oraz badaniami przyczyn rozwoju mikroorganizmów w sieci wodociągowej i instalacjach przemysłowych. Efektem działalności naukowej w tej dziedzinie było zaprojektowanie i nadzór wykonania stanowiska do badań dezynfekcji powietrza metodami filtracji i promieniowania UV (III.I.19), za co w 1997 roku otrzymałem Nagrodę Zespołową J.M. Rektora Politechniki Warszawskiej Stopnia II (III.D.3). Ponadto jestem autorem i współautorem ponad 90 ekspertyz dotyczących jakości mikrobiologicznej powietrza pomieszczeń, czystości układów wentylacji i klimatyzacji oraz określenia przyczyn rozwoju mikroorganizmów w obiektach i instalacjach technicznych (II.F.12-II.F.101, III.M.1). Wykonałem też ponad 100 ekspertyz dotyczących jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (III.M.2). Wyniki nadań nad występowaniem mikroorganizmów w powietrzu i wodzie zostały opublikowane w rozdziałach monografii (II.E.10, II.E.11), czasopismach z listy MNiSW (część B) (II.E.13, II.E.16), a także zaprezentowane na konferencjach o zasięgu krajowym (II.L.12, II.L.13, III.B.13).

W trzecim obszarze mojej pracy naukowej, dotyczącym bioróżnorodności mikroorganizmów biorących udział w usuwaniu związków biogennych ze ścieków, zajmuję się badaniami dynamiki zmian populacji mikroorganizmów w osadzie czynnym metodami biologii molekularnej. Badania te służą do oceny zależności pomiędzy układem technologicznym, parametrami oczyszczania ścieków a strukturą zbiorowisk mikroorganizmów w osadzie czynnym, a także określeniu czynników wspomagających eliminację biogenów ze ścieków. W roku 2009 odbyłem staż na Uniwersytecie w Aalborgu (Section of Biotechnology, Department of Biotechnology, Chemistry and Environmental Engineering), w ramach którego zajmowałem się badaniem mikroorganizmów w osadzie czynnym metodami biologii molekularnej (III.L.1). Obecnie moja współpraca z tym ośrodkiem naukowym dotyczy projektu „*EBPR – Microbial Observatory*", w którym metodą sekwencjonowania amplikonu 16S rRNA badane są zbiorowiska mikroorganizmów w osadzie czynnym 30 oczyszczalni z 12 krajów na 5 kontynentach (III.E.1).

W latach 2006-2009 brałem udział w realizacji projektu badawczego MNiSW pt. „*Badania nad usuwaniem biogenów ze ścieków w procesie denitryfikacji defosfatacyjnej*" (N N207 0183/1002), którego celem była ocena możliwości wykorzystania procesu denitryfikacji defosfatacyjnej do zwiększenia efektywności zintegrowanego usuwania azotu i fosforu ze ścieków w reaktorach biologicznych (II.J.5). Mój wkład polegał na badaniu rozwoju mikroorganizmów, biorących udział w usuwaniu biogenów (w tym akumulujących fosfor z wykorzystaniem azotanów jako akceptorów elektronów), w zależności od różnych parametrów technologicznych, charakteryzujących pracę sekwencyjnego reaktora porcjowego (czasu trwania cyklu, czasu trwania warunków beztlenowych, stężenia tlenu rozpuszczonego, stosunku węgla organicznego do azotu i fosforu). Badania nad rolą mikroorganizmów w efektywnej eliminacji biogenów były kontynuowane pod moim kierownictwem w projekcie badawczym, finansowanym ze środków NCN, pt. „*Ocena zależności pomiędzy układem technologicznym a strukturą zbiorowisk mikroorganizmów w osadzie czynnym układów pełnoskalowych z podwyższoną eliminacją biogenów*" (N N523 736840) (II.J.1). Z wykorzystaniem narzędzi biologii molekularnej określono strukturę populacji głównych grup bakterii w osadzie czynnym oraz liczebność bakterii akumulujących polifosforany i glikogen, nitryfikatorów i denitryfikatorów. Zbadano wpływ składu chemicznego ścieków oraz wybranych parametrów technologicznych oczyszczania na mikroorganizmy odpowiedzialne za procesy podwyższonego usuwania biogenów. Przeanalizowano zależność liczebności mikroorganizmów od pory roku oraz zweryfikowano

różnice pomiędzy poszczególnymi oczyszczalniami, wynikające ze struktury populacji bakterii w osadzie czynnym. Ustalono korelacje pomiędzy wskaźnikami chemicznymi i parametrami technologicznymi a zawartością badanych grup mikroorganizmów, a także wytypowano warunki wspomagające rozwój bakterii odpowiedzialnych za usuwanie biogenów. Wykazano, że bakterie nitkowate stanowią ważną grupę w osadzie czynnym o liczebności średnio 28% ogółu mikroorganizmów. Podkreślono ich rolę w procesach biologicznej eliminacji fosforu i denitryfikacji, polegającą na rozkładzie polimerów i fermentowaniu substancji nie będących substratami dla PAO i denitryfikatorów. Uzyskane wyniki opublikowano w monografii habilitacyjnej pt. *„Struktura zbiorowisk mikroorganizmów w osadzie czynnym oczyszczalni z podwyższonym usuwaniem biogenów"* (I.A).

Efektem realizacji grantów i współpracy międzynarodowej, dotyczącej badań nad bioróżnorodnością mikroorganizmów w osadzie czynnym, są również publikacje naukowe w czasopismach indeksowanych w bazie JCR (II.A.1, II.A.2, II.A.3, II.A.4, II.A.5, II.A.7), 6 rozdziałach monografii (II.E.3, II.E.4, II.E.5, II.E.6, II.E.7, II.E.8), w czasopiśmie z listy MNiSW (część B) (II.E.12), oraz doniesienia na 8 konferencjach o zasięgu międzynarodowym (II.L.1, II.L.2, II.L.3, III.B.1, III.B.2, III.B.3, III.B.4, III.B.5) i krajowym (II.L.9, III.B.8, III.B.9).

W trakcie swojej pracy naukowej opublikowałem w sumie 26 prac, w tym 9 indeksowanych w bazie JCR z sumarycznym pięcioletnim IF=13,87, co daje sumaryczną liczbę punktów zgodnie z aktualną punktacją MNiSW równą 283 (261 zgodnie z rokiem publikacji) (II.G). Wyniki moich prac były prezentowane na 15 konferencyjnych o zasięgu międzynarodowym (w tym 2 indeksowanych w bazie Web of Science) i 17 konferencjach o zasięgu krajowym. Zgodnie z bazą WoS moje prace zacytowano ponad trzydziestokrotnie (II.H), co w efekcie przekłada się na indeks Hirscha H=4 (wg WoS, Scopus) lub H=5 (PoP, Google Scholar) (II.I). Recenzowałem 6 artykułów naukowych do 5 czasopism z bazy JCR (III.P). Uczestniczyłem w 11 projektach badawczych, w tym 1 międzynarodowym (II.J.7) i 2 krajowych MNiSW/NCN (II.J.1 i II.J.6), których byłem kierownikiem, oraz 2 KBN/MNiSW, w których byłem wykonawcą (II.J.5 i II.J.11). Za osiągnięcia naukowe otrzymałem w roku 2003 roku nagrodę indywidualną JM Rektora Politechniki Warszawskiej (II.K). Uczestniczyłem w 7 kursach zagranicznych i krajowych (III.Q.1), które podniosły moje kwalifikacje zawodowe i umożliwiły wprowadzenie do Zakładu Biologii nowych

metod badawczych. Zestawienie dorobku naukowo-badawczego przedstawiono w tabelach 1-3 poniżej.

Tabela 1. Zestawienie opublikowanych prac naukowo-badawczych.

Rodzaj pracy	**liczba**	**Punkty MNiSW**	**Sumaryczny IF_5**
Czasopisma w bazie JCR	9	200	13,87
Czasopisma inne wymienione w wykazie MNiSW	5	25	-
Czasopisma inne	2	-	-
Monografie	1	20	-
Rozdziały w monografiach	9	38	-
Konferencje w bazie Web of Science	2	20	-
Pozostałe konferencje o zasięgu międzynarodowym	13		-
Konferencje o zasięgu krajowym	17		-
Razem	**58**	**303**	**13,87**

Tabela 2. Wskaźniki oceny dorobku naukowego.

Wskaźnik	Web of Science	Scopus	Publish or Perish	Google Scholar
liczba publikacji	12	9	24	18
liczba cytowań	35	42	96	89
indeks Hirscha	4	4	5	5

Tabela 3. Udział w projektach badawczych.

Funkcja	Rodzaj projektu		
	EU	KBN/MNiSW/NCN	PW
kierownik	1	2	
główny wykonawca		1	5
wykonawca		1	1

Prowadzone prace naukowo-badawcze pozwoliły na realizację oryginalnych osiągnięć projektowych i technologicznych:

- udział w opracowaniu technologii bioremediacji gleb z produktów ropopochodnych (III.Q.3) – współpraca z Hydrogeotechnika Sp. z o.o. w Kielcach,
- opracowanie biotechnologicznej metody podczyszczania ścieków zawierających zużyte chłodziwa z obróbki powierzchniowej metali (II.B.1) – współpraca z FŁT „Iskra S.A." w Kielcach.

W latach 2014 i 2010 odbyłem staże w przedsiębiorstwie Ecotech Polska w Warszawie, w ramach których realizowano projekty innowacyjne *„Unieszkodliwianie osadów zawierających metale ciężkie, powstających w procesach unieszkodliwiania ścieków przemysłowych metodą biosorpcji"* (III.F.1) i *„Określenie toksyczności odpadów stabilizowanych w technologii EnviroMix®"* (III.F.2). Celem staży był wzrost wykorzystania infrastruktury badawczej i kapitału ludzkiego jednostek naukowych na rzecz przepływu wiedzy między nauką i warszawskim biznesem.

6. Informacje o działalności dydaktycznej i organizacyjnej

Do moich najważniejszych osiągnięć dydaktycznych należy redagowanie i współredagowanie 2 skryptów (III.I.1 i III.I.2) oraz opracowanie materiałów dydaktycznych w języku angielskim do ćwiczeń laboratoryjnych i wykładów prowadzonych na Uniwersytecie Hamburg Harburg (Technische Universität Hamburg Harburg - TUHH) (III.I.3, III.I.4) i Wydziale Inżynierii Środowiska PW (III.I.5). Ponadto brałem udział w przygotowaniu materiałów dydaktycznych do wykładów i zajęć laboratoryjnych w języku polskim, prowadzonych na kilku kierunkach i specjalnościach na Wydziale Inżynierii Środowiska PW (III.I.6-III.I.11). Jestem współautorem programów dydaktycznych w języku polskim do 6 ćwiczeń laboratoryjnych (III.I.12-III.I.17).

Od 2009 roku prowadzę regularnie wykłady i zajęcia laboratoryjne w języku angielskim dla studentów kursów międzynarodowych na TUHH (Niemcy) oraz na Wydziale IŚ PW (III.I.20, III.I.21). W swojej pracy dydaktycznej prowadziłem wykłady z 4 przedmiotów i ponad 10 różnych zajęć laboratoryjnych dla kilku kierunków i specjalności w języku polskim (III.I.22, III.I.23). Byłem promotorem 26 prac magisterskich, 5 inżynierskich i 3 licencjackich w językach polskim i angielskim (III.J). Uczestniczyłem w

programach europejskich LLP-Erasmus "Individual Teaching Programme For Teaching Staff Mobility" i Erasmus+ "Staff Mobility For Teaching And Training Activities" (III.A.1) oraz LLP-Grundtvig „Check! Do you really live health, safely and ecologically?" (III.A.4), w ramach którego prowadziłem wykład i zajęcia laboratoryjne dla uczestników z Bułgarii, Łotwy, Rumunii, Słowenii, Turcji, Węgier i Włoch (III.I.20, III.I.21). W 2012 roku brałem udział w pracach nad modyfikacją programów nauczania na kierunku Inżynieria Środowiska i kierunku Ochrona Środowiska na Wydziale IŚ w ramach Programu Rozwojowego Politechniki Warszawskiej (Europejski Fundusz Społeczny - Program Operacyjny „Kapitał Ludzki" – III.A.3). Uczestniczyłem w projektowaniu i wykonaniu stanowisk badawczych do badań techniką fluorescencyjnej hybrydyzacji in situ (III.I.18) i badań dezynfekcji powietrza metodą filtracji i promieniowania UV (III.I.19). Regularnie biorę udział w promocji oferty edukacyjnej Wydziału IŚ podczas Dni Otwartych Politechniki Warszawskiej, a także podczas zawodów długodystansowych sztafet (III.I.24). Aktywnie uczestniczę w pozyskiwaniu środków na wyposażenie laboratoriów, dzięki mojemu zaangażowaniu zasoby aparaturowe Zakładu Biologii wzbogaciły się m.in. o analizator zawartości węgla organicznego i nieorganicznego, spektrofotometr, respirometryczne układy pomiarowe BZT i komorę głębokiego zamrażania, o łącznej wartości ponad 220 tys. zł. Za działalność dydaktyczną przyznano mi 3 nagrody JM Rektora Politechniki Warszawskiej (III.D).

Zdobyte przeze mnie doświadczenia naukowe staram się wykorzystywać we współpracy z podmiotami gospodarczymi. Jako uczestnik projektów „TEKLA PLUS" w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego - Program Operacyjny „Kapitał Ludzki" brałem udział w transferze wiedzy i innowacji pomiędzy uczelnią a przedsiębiorstwem w celu wzmocnienia powiązań sfery B+R z mikro-, małymi i średnimi przedsiębiorstwami (III.A.1, III.A.5). Pracowałem w Zespole Ekspertów Instytutu Badań Stosowanych Politechniki Warszawskiej (III.N.1), utworzonym w celu lepszego wykorzystania potencjału intelektualnego i technicznego uczelni oraz transferu wyników prac naukowych do gospodarki. W ramach szkolenia dla pracowników Sotralentz Sp. z o. o. wygłosiłem wykład zamawiany pt. *„Badania organizmów biorących udział w procesach oczyszczania ścieków metodą osadu czynnego"* (III.Q.2). W latach 2002-2008 brałem udział w pracach Komisji Rektorskiej PW ds. Nauki i Aparatury Naukowo-Badawczej (III.N.2).