

AUTOREFERAT

**dotyczący osiągnięć w pracy naukowo – badawczej,
organizacyjnej i dydaktycznej**

1. Imię i nazwisko

Marcin Zieliński

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

- 1999 tytuł zawodowy magister inżynier ochrony środowiska, specjalność technologia wody i ścieków, Akademia Rolniczo-Techniczna w Olsztynie, Wydział Ochrony Środowiska i Rybactwa, tytuł pracy magisterskiej: „*Ocena stanu troficznego Jeziora Wulpińskiego w latach 1997 – 1999*”, opiekun naukowy dr hab. inż. Czesław Mientki, prof. UWM.
- 2003 stopień doktora nauk technicznych, dyscyplina – inżynieria środowiska, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Środowiska, tytuł pracy doktorskiej: „*Wpływ promieniowania mikrofalowego na efektywność oczyszczania ścieków w reaktorze z błoną biologiczną*”, promotor prof. dr hab. inż. Mirosław Krzemieniewski.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

- 1999 - 2003 doktorant na Wydziale Ochrony Środowiska i Rybactwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie.
- 2003 - 2004 asystent w Katedrze Inżynierii Ochrony Środowiska Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie.
- 2005 - 2012 adiunkt w Katedrze Inżynierii Ochrony Środowiska Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie.
- od 2012 adiunkt w Katedrze Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie.

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

Marcin Zieliński, 2013, *Wpływ mikrofalowego promieniowania elektromagnetycznego na proces fermentacji metanowej*, Rozprawy i Monografie 178, Wydawnictwo UWM, Olsztyn.

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

W pracy podjęto się określenia wpływu promieniowania mikrofalowego o częstotliwości 2,45 GHz na efektywność procesu anaerobowego rozkładu zanieczyszczeń. W przypadku promieniowania mikrofalowego, z uwagi na niewielką energię kwantów, oddziaływanie z ciałami zachodzi na poziomie molekularnym i opiera się przede wszystkim na interakcji pomiędzy polem elektromagnetycznym a cząsteczkami. Materiały można podzielić na trzy grupy zależnie od oddziaływania z mikrofalami: przewodniki (promieniowanie odbija się od nich), izolatory (przepuszczalne dla mikrofal, które przenikają i nie są pochłaniane) i absorbery (materiały, które pochłaniają promieniowanie mikrofalowe). Gdy współczynnik strat dielektrycznych materiału jest bardzo duży, głębokość penetracji mikrofal zmierza do zera. Materiały o niskiej wartości współczynnika strat dielektrycznych (izolatory) cechuje duża głębokość penetracji. W rezultacie tego bardzo mało energii jest pochłaniane w materiale, a dane ciało jest przepuszczalne dla mikrofal. Mikrofałe dostarczają najefektywniej energię do ciał, których środowisko dielektryczne znajduje się pomiędzy tymi granicami (absorbery). Należy zwrócić uwagę, iż konwekcyjny sposób przekazywania energii działa najsprawniej dla materiałów o dużej przewodności. Z uwagi na te właściwości zastosowanie mikrofal charakteryzuje selektywność, co oznacza, że w wyniku ich bezpośredniego oddziaływania ogrzaniu ulegną jedynie ciała o odpowiednich właściwościach dielektrycznych. Kolejną cechą mikrofal jest ich objętościowy charakter. Ogrzewaniu ulega jednocześnie cały napromieniowywany obiekt do głębokości wnikania mikrofal w przeciwieństwie do konwekcyjnego ogrzewania, gdzie zewnętrzne cieplejsze warstwy przekazują energię do głębszych chłodniejszych stref. Dzięki temu ogrzewanie mikrofalowe

jest szybsze, a jednocześnie bardziej precyzyjne. Wyłączenie generatora natychmiast przerywa ogrzewanie.

Efekty oddziaływania energii elektromagnetycznej na organizmy żywe są dzielone na dwie grupy – efekty termiczne i efekty atermiczne. Oddziaływanie energii elektromagnetycznej zawsze zawiera w sobie przekazywanie energii i w przypadku mikrofal prowadzi do podnoszenia temperatury. Dzieje się to przede wszystkim w wyniku drgań dipoli (głównie wody w polu elektromagnetycznym). Prowadzi to do zamiany energii mikrofal na energię cieplną układu biologicznego, co objawia się wzrostem temperatury. Poprzez atermiczne właściwości mikrofal rozumie się szereg zjawisk, które pojawiają się w ogrzewanych ciałach, a których obecność bądź intensywność nie może być wyjaśniona jedynie samym podgrzaniem. Natura tych zjawisk nie jest do końca rozpoznana. Wskazuje się na sposób oddziaływania mikrofal poprzez relaksację, czyli drganie cząstek w polu elektromagnetycznym, jako potencjalne źródło atermicznych zachowań.

Celem prezentowanych badań było określenie wpływu promieniowania mikrofalowego na proces beztlenowego rozkładu zanieczyszczeń organicznych. Szczególnie istotnym aspektem badawczym było potwierdzenie bądź odrzucenie tezy o występowaniu efektów atermicznych wynikających z oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego o częstotliwości 2,45 GHz na anaerobowy układ biologiczny do oczyszczania ścieków. Badania zmierzały do określenia efektywności procesu fermentacji metanowej w hybrydowym reaktorze beztlenowym ogrzewanym promieniowaniem mikrofalowym oraz w reaktorze kontrolnym, ogrzewanym płaszczem wodnym na zasadzie konwekcji. Podstawą do podjęcia prac nad zastosowaniem promieniowania mikrofalowego do ogrzewania reaktora beztlenowego były moje wcześniejsze badania. Zastosowanie mikrofal do kształtowania warunków termicznych podczas tlenowego oczyszczania ścieków wskazywało, iż procesy silniej uzależnione od temperatury (o wyższej wartości współczynnika temperaturowego), takie jak autotroficzna nityfikacja, są znacząco bardziej efektywne dzięki zastosowaniu ogrzewania mikrofalowego. Było to podstawą do podjęcia prac nad wykorzystaniem promieniowania mikrofalowego jako czynnika wspierającego anaerobowy rozkład materii organicznej, którego wydajność w znacznym stopniu zależy od warunków termicznych.

Układ badawczy składał się z dwóch hybrydowych beztlenowych reaktorów biologicznych, pracujących w skali ułamkowo-technicznej. Każdy z reaktorów składał się z sekcji dolnej z zawieszonym osadem beztlenowym oraz sekcji górnej z beztlenowym

złożem ociekowym. Sekcje przedzielone były łapaczem osadu, który pozwalał na klarowanie ścieków przed odprowadzeniem poza reaktor. W pierwszym reaktorze, ogrzewanym za pomocą mikrofal, układ sterujący uruchamiał generator promieniowania na podstawie wskazań czujnika temperaturowego we wnętrzu reaktora. W drugim reaktorze układ sterujący, na podstawie wskazań identycznie umieszczonego czujnika, uruchamiał pompę obiegową dostarczającą gorącą wodę do płaszcza grzejnego. Badania przeprowadzono w warunkach mezofilowych (35°C) i termofilowych (55°C). Efektywność procesu fermentacji metanowej badano z wykorzystaniem modelowych ścieków mleczarskich, stosując w kolejnych seriach obciążenia ładunkiem związków organicznych 1 kg ChZT·m⁻³·d⁻¹, 2 kg ChZT·m⁻³·d⁻¹ i 4 kg ChZT·m⁻³·d⁻¹. Hydrauliczny czas zatrzymania utrzymywano na poziomie 1,0 doby, odpowiednio zwiększając stężenie związków organicznych w ściekach surowych. Efektywność procesu fermentacji metanowej analizowano na podstawie zmian stężenia wartości ChZT i BZT₅ w oczyszczanych ściekach. Analizowano również stężenia węgla całkowitego, organicznego i nieorganicznego. Stale monitorowano w reaktorach odczyn oraz ilość powstającego biogazu, a także jego skład jakościowy. Pozwoliło to na wyznaczenie współczynników produkcji biogazu oraz przyrostu biomasy, a także czasu zatrzymania biomasy w reaktorze. Biomase pozyskiwaną z reaktorów poddawano testom respirometrycznym, co pozwoliło określić wpływ sposobu ogrzewania na jej aktywność w produkcji biogazu.

Zastosowany sposób ogrzewania wpływał na efektywność technologiczną beztlenowego reaktora hybrydowego. W reaktorze z ogrzewaniem mikrofalowym obserwowano wyższą efektywność usuwania związków organicznych, biorąc pod uwagę wszystkie analizowane wskaźniki (ChZT, BZT₅, TOC), w porównaniu do reaktora ogrzewanego konwekcyjnie. Efekt oddziaływania mikrofal silniej zaznaczał się, gdy reaktory pracowały przy wyższych wartościach obciążeń ładunkiem zanieczyszczeń. Przykładowo, w warunkach mezofilowych w reaktorze ogrzewanym mikrofalowo stwierdzano spadek wartości ChZT średnio o 5% większy w porównaniu do reaktora kontrolnego, gdy obciążenie było na poziomie 4 kg ChZT·m⁻³·d⁻¹. Gdy obciążenie wynosiło 1 kg ChZT·m⁻³·d⁻¹, różnica w sprawności wynosiła 3% na korzyść ogrzewania mikrofalowego. Można więc powiedzieć, że dostarczanie energii mikrofalowej spowodowało większą odporność biomasy anaerobowej na niekorzystne warunki technologiczne. Potwierdzają to również pomiary wartości odczynu, które wskazują, że dzięki ogrzewaniu mikrofalowemu załamanie procesu fermentacji

metanowej przy przeciążeniu reaktora ładunkiem $4 \text{ kg ChZT} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ nastąpiło po około 10 dniach, podczas gdy w reaktorze kontrolnym miało to miejsce już po 5 dniach pracy.

Stwierdzono, że głównym czynnikiem determinującym zarówno skład, jak i wydajność produkcji biogazu było głównie zastosowane obciążenie układu ładunkiem związków organicznych. Udowodniono również istotne statystycznie znaczenie zastosowania sposobu ogrzewania systemu doświadczalnego. Analiza porównawcza wykazała wyższą skuteczność produkcji biogazu oraz większy udział metanu w układzie badawczym, gdzie warunki temperaturowe stymulowane były poprzez zastosowanie elektromagnetycznego promieniowania mikrofalowego we wszystkich testowanych wariantach eksperymentu. Największe różnice w ilości produkowanego biogazu w przeliczeniu na usuniętą ilość związków organicznych obserwowano, gdy w reaktorach panowały warunki termofilowe, szczególnie w przypadku najwyższego obciążenia ładunkiem zanieczyszczeń ($Y_{Bg} = 155 \text{ ml} \cdot \text{g}^{-1}$ us ChZT – reaktor ogrzewany mikrofalowo, $Y_{Bg} = 114 \text{ ml} \cdot \text{g}^{-1}$ us ChZT – reaktor ogrzewany konwekcyjnie). Oznacza to, że energia mikrofalowa pozytywnie wpływała na aktywność konsorcjum mikroorganizmów fermentacji metanowej, przy czym skład biogazu istotnie zależał jedynie od stosowanego obciążenia reaktorów ładunkiem zanieczyszczeń, a nie sposobu ogrzewania. Analiza wartości współczynnika przyrostu biomasy Y_{Pb} wskazuje, że nie było statystycznie istotnych różnic w wielkości przyrostu mikroorganizmów w reaktorze ogrzewanym mikrofalowo i w reaktorze kontrolnym. Mikrofalowy system ogrzewania nie stanowił ograniczenia dla namnażania mikroorganizmów.

Promieniowanie mikrofalowe wpłynęło na aktywność metaboliczną mikroorganizmów anaerobowych. Wskazują na to wyniki pomiarów respirometrycznych i znacząco wyższe szybkości produkcji biogazu wyznaczone dla osadu pochodzącego z reaktora ogrzewanego mikrofalowo. Przykładowo, szybkość produkcji biogazu w warunkach pomiaru respirometrycznego wynosiła $7,28 \text{ cm}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, gdy osad był wcześniej napromieniowywany, oraz $5,64 \text{ cm}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ dla biomasy z reaktora ogrzewanego konwekcyjnie.

Biorąc pod uwagę efekty technologiczne funkcjonowania reaktorów hybrydowych ogrzewanych mikrofalowo oraz konwekcyjnie należy stwierdzić, iż zaobserwowane różnice miały charakter atermiczny. Pomiaru jednorodności temperatury we wnętrzu reaktorów nie wykazały istotnych statystycznie różnic, a gradienty temperatur były zbliżone. Oznacza to, iż

mikrofałe oddziaływały atermicznie, kształtując aktywność anaerobowego konsorcjum mikroorganizmów.

Bardzo istotnym efektem oddziaływania mikrofal na biomasę oczyszczającą ścieki okazała się zmiana bioróżnorodności. W wyniku oddziaływania promieniowania mikrofalowego zwiększyła się różnorodność gatunkowa, dzięki czemu układ stał się bardziej odporny na zmienne warunki środowiskowe. W przypadku występowania różnych mikroorganizmów, które realizują podobne szlaki metaboliczne, zmiana warunków oczyszczania ścieków może doprowadzić do rozwoju jednej grupy organizmów kosztem innych bez zmniejszenia efektywności całego procesu.

Zalety zastosowania mikrofal do wspomagania oczyszczania ścieków w skali laboratoryjnej są przyczynkiem do rozważań nad możliwością ich wykorzystania w skali technicznej. Oprócz pozytywnego wpływu na sam proces oczyszczania ścieków związany z oddziaływaniem na układ biologiczny, ogrzewanie mikrofalowe ma dodatkowe zalety związane z samą naturą zjawiska. Są to przede wszystkim selektywność i objętościowy charakter oddziaływania oraz możliwość szybkiego uruchomienia i zatrzymania grzania. Z drugiej strony, podstawowym ograniczeniem w stosowaniu ogrzewania mikrofalowego na dużą skalę jest efektywność generatorów mikrofalowych. Najbardziej rozpowszechniony magnetron, wytwarzający fale elektromagnetyczne o częstotliwości 2,45 GHz, ma sprawność ok. 50-52%. Oznacza to, iż przy zastosowaniu magnetronu o mocy elektrycznej 1,8 kW uzyska się około 0,9 kW mocy mikrofal. W przypadku typowych grzałek elektrycznych z drutem oporowym prąd elektryczny jest zamieniany w ciepło ze sprawnością ok. 85-90%. Różnica w efektywności bezpośrednio skutkuje wyższym kosztem funkcjonowania systemu z ogrzewaniem mikrofalowym. Moim zdaniem nie oznacza to jednak, że systemy ogrzewania mikrofalowego nie powinny być stosowane w reaktorach do oczyszczania ścieków. Zastosowanie ogrzewania mikrofalowego w reaktorach do anaerobowego oczyszczania ścieków jest możliwe w różnych wariantach. Proponowane są następujące rozwiązania:

Rozwiązanie 1:

Gdy oczyszczane są ścieki o niskiej temperaturze, osiągnięcie warunków mezofilowych dowolną metodą wymagałoby dużych nakładów energetycznych. W takim przypadku możliwe jest wykorzystanie ociekowego beztlenowego złoża biologicznego. Rozwiązanie takie opiera się na wykorzystaniu selektywności mikrofal oraz możliwości szybkiego uruchomienia bądź zatrzymania ogrzewania. Ścieki należy wprowadzać

sekwencyjnie, a bezpośrednio przed wprowadzeniem nowej porcji ścieków należy podgrzać błonę biologiczną. W takim układzie zimne ścieki trafiają na aktywną ciepłą (podgrzaną) błonę biologiczną. Energia kierowana jest bezpośrednio do miejsca, gdzie jest to najbardziej potrzebne. Przed kolejnym wprowadzeniem ścieków ponownie uruchamiane są generatory mikrofal, powodując podgrzanie błony biologicznej. Rozwiązanie takie ograniczy zużycie energii, zmniejszając koszty zastosowania mikrofal. Dzięki zastosowaniu mikrofal unika się ogrzewania całej objętości oczyszczanych ścieków. Konstrukcyjnie w skali technicznej można zastosować rozwiązanie zraszacza z dwoma ramionami znane ze złóż tlenowych. Wypływ ścieków powoduje obrót zraszacza, a umieszczone na obwodzie reaktora generatory uruchamiają się z odpowiednim wyprzedzeniem. Włącznik/wyłącznik mikrofal należy w tym przypadku zsynchronizować z pracą zraszacza.

Rozwiązanie 2:

Rozwiązanie to przewiduje zastosowanie mikrofal w przypadku, gdy oczyszczane są ścieki o wysokiej temperaturze. W takim rozwiązaniu zastosowanie mikrofal ma służyć przede wszystkim osiągnięciu efektu w postaci zmian w strukturze biocenozy reaktora biologicznego. W przypadku, gdy ilość wprowadzanej energii nie jest bardzo duża, zastosowanie droższego ogrzewania mikrofalowego nie będzie znaczącym kosztem w stosunku do możliwych korzyści. Przede wszystkim długotrwałe przebywanie biomasy w strefie oddziaływania elektromagnetycznego pola mikrofalowego powinno wpłynąć na zwiększenie bioróżnorodności biocenozy, czyniąc ją bardziej wydajną, a jednocześnie mniej wrażliwą na zmiany środowiskowe. W większości rozwiązań technicznych obecnie stosowanych reaktorów do beztlenowego oczyszczania ścieków obserwuje się bardzo długi czas zatrzymania biomasy w reaktorze. W takich warunkach niewielkie, ale długotrwałe oddziaływanie mikrofal, będzie wpływać na mikroorganizmy. Dodatkowo, dzięki ogrzewaniu mikrofalowemu można uniknąć efektu przyściennego, czyli bardzo silnego nagrzewania medium w bezpośredniej bliskości grzałki, co jest niebezpieczne szczególnie w przypadku niedokładnie mieszanych reaktorów. Precyzyjne sterowanie mikrofalowe pozwala również zabezpieczyć ogrzewane medium przed przegrzaniem. W prostych układach wyłączniki temperaturowe odcinają zasilanie od grzałki po przekroczeniu zadanej temperatury. Przy dużej bezwładności zwykłych grzałek może dochodzić do znacznego, szczególnie punktowego, przekroczenia temperatury.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

Studia rozpocząłem na Wydziale Ochrony Wód i Rybactwa Śródlądowego Akademii Rolniczo -Technicznej w Olsztynie w 1994 roku. W trakcie studiów aktywnie uczestniczyłem w pracach Studenckiego Koła Naukowego „Oikos”, które w tym okresie koncentrowały się na badaniach prowadzonych na terenie Górznieńsko-Lidzbarskiego Parku Krajobrazowego oraz Welskiego Parku Krajobrazowego. Efektem realizowanych prac badawczych była między innymi ocena jakości wód rzeki Wel opracowana na podstawie składu fauny makrobentosu. Pracę magisterską pt.: *Ocena stanu troficznego Jeziora Wulpińskiego w latach 1997 – 1999* realizowałem pod opieką naukową dr hab. inż. Czesława Mientkiego, prof. UWM. Prowadzone badania zmierzały do określenia stanu czystości wody Jeziora Wulpińskiego, były to pierwsze od wielu lat analizy stanu jeziora poddawanego coraz silniejszej presji antropogenicznej. Na zakończenie studiów otrzymałem wyróżnienie przyznane przez Radę Wydziału Ochrony Środowiska i Rybactwa, Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie za ukończenie edukacji w gronie 10 najlepszych absolwentów rocznika 1994/1999.

W roku 1999 rozpocząłem studia doktoranckie na Wydziale Ochrony Środowiska i Rybactwa UWM w Olsztynie. Moim opiekunem naukowym był prof. dr hab. inż. Mirosław Krzemieniewski. Od początku mojej pracy naukowej koncentrowałem się na zagadnieniach związanych z poszukiwaniem rozwiązań technologicznych wpływających na poprawienie efektywności procesów oczyszczania ścieków poprzez jednoczesne wykorzystanie czynników biologicznych, fizycznych i chemicznych. Jedną z pierwszych badanych przeze mnie technologii było zastosowanie pogłębionego utleniania zanieczyszczeń za pomocą odczynnika Fentona z wykorzystaniem stałego pola magnetycznego. Wyniki pierwszych doświadczeń, prowadzonych szczególnie z wykorzystaniem ścieków mleczarskich, opisano w następujących publikacjach (II.E.56, II.E.55)*. Zagadnienia związane z zastosowaniem technologii pogłębionego utleniania odczynnikiem Fentona rozwijałem również w badaniach nad unieszkodliwianiem osadów ściekowych (II.E. 37) czy ścieków poubojowych o dużej zawartości krwi (II.E.49). Zdobyta wiedza i doświadczenia w zakresie zastosowania reakcji Fentona wspomaganiej oddziaływaniem stałego pola magnetycznego pozwoliły na opracowanie i uzyskanie patentu (II.C.1). Co istotne, rozwiązanie oparte na zastosowaniu reakcji pogłębionego utleniania wspomaganiej stałym polem magnetycznym zostało również zastosowane w skali przemysłowej w zakładzie pralniczym „Unipral” (II.B.1). Ta nowatorska

*pozycje oznaczone zgodnie z numeracją z załącznika 2

instalacja oraz efekty jej funkcjonowania zostały zaprezentowane w artykułach naukowych (II. A.24, II.E.54, II.E.44) oraz w doniesieniach konferencyjnych (III.B.44). Tematyka związana z zastosowaniem procesów pogłębionego utleniania stale pozostaje w sferze moich zainteresowań, stanowiąc uzupełnienie głównego nurtu badawczego. Byłem między innymi współwykonawcą grantu Wojewódzkiego Funduszu Ochrony Środowiska w Olsztynie (III.F.1), w ramach którego badano możliwość wykorzystania magnetycznie wspomaganą reakcji Fentona do ograniczenia uciążliwości zapachowej sieci kanalizacyjnej (II.A.26). Efekty tych badań oraz koncepcję technologii przedstawiono w czasopiśmie branżowym Gaz Woda i Technika Sanitarna (III.F.40), co spotkało się z dużym zainteresowaniem ze strony przedsiębiorstw komunalnych. Doprowadziło to do zastosowania opracowanego rozwiązania na terenie miasta Iława podczas realizowanego przeze mnie w roku 2005 stażu wdrożeniowego odbytego w Iławskich Wodociągach Sp. z o. o. w ramach projektu „Regionalny transfer wiedzy UWM – staże pracowników i absolwentów w firmach” Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego Działania 2.6 Regionalne Strategie Innowacyjne i Transfer Wiedzy (III.F.1). Interesowałem się również zagadnieniami połączenia reakcji Fentona z metodami biologicznego oczyszczania ścieków (II.A.7., II.E.53) czy symultanicznym wykorzystaniem różnych metod pogłębionego utleniania (II.E.27, II.E.28, II.E.30).

Podstawowym zagadnieniem, które rozwijam w ramach prac badawczych, jest zjawisko wykorzystania promieniowania mikrofalowego do poprawy efektywności procesów biologicznych stosowanych w oczyszczaniu ścieków. Wstępem do zastosowania promieniowania mikrofalowego były prace badawcze, w których wykorzystywałem złoża biologiczne z wypełnieniem o regulowanej temperaturze. Badania wykonane w ramach Grantu KBN dla młodych naukowców (II.J.1.) wykazały, iż bezpośrednie dostarczanie energii cieplnej do błony biologicznej znacznie podnosi efektywność procesów tlenowego oczyszczania ścieków szczególnie w przypadku procesu nitryfikacji. Wyniki tych prac opublikowanych w czasopiśmie *Environmental Technology* (II.A. 31), jak i w innych czasopismach (II.E.48, II.E.50), doprowadziły do poszukiwania dostępnych metod przekazywania energii do układu biologicznego w celu podniesienia efektywności jego funkcjonowania. Prowadzone wspólnie z promotorem mojej pracy doktorskiej prof. dr hab. Mirosławem Krzemieniemskim prace koncepcyjne doprowadziły do podjęcia badań nad wykorzystaniem promieniowania mikrofalowego. Uzyskałem grant promotorski KBN (II.J.2),

w ramach którego badałem zastosowanie mikrofal do ogrzewania tlenowych złóż ociekowych. Wyniki tych prac posłużyły do przygotowania rozprawy doktorskiej pt.: *Wpływ promieniowania mikrofalowego na efektywność oczyszczania ścieków w reaktorze z błoną biologiczną*”, obronionej w 2003 roku na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej. Uzyskane wyniki wskazywały, iż przy równomiernym dostarczaniu stosunkowo niewielkich ilości energii mikrofalowej możliwe jest istotne poprawienie efektywności oczyszczania ścieków w warunkach tlenowych. Pozytywne efekty obserwowano zarówno w zakresie usuwania związków organicznych, jak również przemian biochemicznych prowadzących do usunięcia azotu. Wyniki tych prac zostały opublikowane w szeregu artykułów (II.A.29, III.E.33, III.E.47, III.E.51, III.E.52), a zebrane doświadczenia pozwoliły na przygotowanie wniosków patentowych rozwiązań wykorzystujących promieniowanie mikrofalowe w oczyszczaniu ścieków i unieszkodliwianiu odpadów (II.C.2, II.C.3).

Szczególnie zachęcające wyniki badań nad usuwaniem azotu ze ścieków w reaktorach ogrzewanych mikrofalowo były podstawą do podjęcia szczegółowych analiz dotyczących wpływu termicznych i atermicznych właściwości mikrofal na przebieg przemian azotowych w błonie biologicznej. Zostały one zrealizowane w ramach projektu badawczego KBN, którego byłem kierownikiem (III.J.4). W ramach tych badań analizowano między innymi wpływ ciągłego oraz sekwencyjnego dozowania promieniowania na efekty technologiczne, a zdobyte informacje posłużyły do konstrukcji reaktorów pracujących w skali ułamkowo-technicznej. Wyniki badań nad zastosowaniem mikrofal do kształtowania warunków termicznych podczas tlenowego oczyszczania ścieków wskazywały, iż procesy silniej uzależnione od temperatury (o wyższej wartości współczynnika temperaturowego), takie jak autotroficzna nitryfikacja, w znaczącym stopniu poprawiają swoją efektywność dzięki zastosowaniu ogrzewania mikrofalowego. Uzyskane wyniki zostały opublikowane między innymi w czasopiśmie *Bioresource Technology* (II.A.1). W celu poszerzenia warsztatu badawczego oraz możliwości poznawczych nawiązałem współpracę z pracownikami Katedry Biotechnologii w Ochronie Środowiska UWM. Pozwoliło to na rozwinięcie badań technologicznych nad wpływem mikrofal na procesy tlenowego oczyszczania ścieków o warsztat biologii molekularnej. Stwierdzono znaczący wzrost bioróżnorodności populacji mikroorganizmów występujących w błonie biologicznej poddawanej oddziaływaniu promieniowania mikrofalowego. Wyniki badań opublikowano w znaczących czasopismach

zagranicznych *Process Biochemistry* (II.A.28) oraz *Canadian Journal of Civil Engineering* (II.A.16).

Przeprowadzone obserwacje w warunkach tlenowych wskazały na celowość podjęcia prac nad wykorzystaniem promieniowania mikrofalowego jako czynnika wspierającego anaerobowy rozkład materii organicznej, którego wydajność w znacznym stopniu zależy od warunków termicznych. Już pierwsze eksperymenty przeprowadzone przy wykorzystaniu beztlenowych złóż ociekowych i zatapianych wykazały celowość przyjętych założeń, a wyniki tych prac opublikowano między innymi w czasopiśmie *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology* (II.A.3). Szeroka analiza zagadnienia wpływu promieniowania mikrofalowego na proces fermentacji metanowej możliwa była dzięki grantowi MNiSW, który uzyskał w 2009 roku kierowany przez mnie zespół naukowców. Opracowana przeze mnie konstrukcja reaktora i założenia eksperymentalne umożliwiły badanie występowania efektów atermalnych. Dzięki stale rozwijanej współpracy z naukowcami z Katedry Biotechnologii w Ochronie Środowiska możliwe było połączenie mojej wiedzy i doświadczeń z zakresu budowy, eksploatacji i funkcjonowania reaktorów do beztlenowego oczyszczania ścieków z warsztatem biotechnologicznym. Efektem tych prac jest między innymi artykuł opublikowany w czasopiśmie *Bioresource Technology* przedstawiający wpływ mikrofal na kompleks mikroorganizmów fermentacji metanowej (II.A.2), a przede wszystkim moja monografia habilitacyjna (I.A.1).

Zagadnienia związane z wpływem mikrofal na procesy biologicznego oczyszczania ścieków stale pozostają w sferze moich zainteresowań. Obecnie prowadzę badania będące kontynuacją i rozwinięciem problematyki przedstawionej w monografii habilitacyjnej w ramach projektu Strategicznego NCBiR pt.: *„Zaawansowane technologie pozyskiwania energii, zadanie 4 - Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych, Blok tematyczny – Układ produkcji paliw gazowych i płynnych metodami konwersji biologicznej biomasy”*. Jestem kierownikiem zadania 4.2.E pt.: *„Opracowanie układu technologicznego beztlenowych złóż biologicznych z mikrofalowym wspomaganie fermentacji”* (Załącznik 2, kod: B.8.11.). W ramach prowadzonych prac wytworzono działający w skali ułamkowo-technicznej hybrydowy reaktor beztlenowy o modułowej konstrukcji, w którym może być prowadzony proces fermentacji metanowej zarówno substratów ciekłych (np. serwatka) jak i stałych (kiszonki). Dotychczas uzyskane wyniki badań zostały przedstawione w dwóch publikacjach (II.E.14, II.E.15) oraz

zaprezentowane na trzech międzynarodowych (III.B.5, III.B.17, II.L.10,) i jednej krajowej konferencji naukowej (II.L.4).

Uzyskane doświadczenia nad możliwościami wykorzystania promieniowania mikrofalowego do ogrzewania reaktorów służących beztlenowemu oczyszczaniu ścieków pozwoliły za złożenie i uzyskanie kolejnych zastrzeżeń patentowych (II.C.4, II.C.5). Nowatorskie autorskie rozwiązanie reaktora beztlenowego zostało zgłoszone do programu „Innowator” Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej w roku 2008 r. i zostało zakwalifikowane do finałowego etapu konkursu (III.Q.4).

W roku 2006 wraz z zespołem rozpocząłem realizację projektu badawczego własnego nr 1 T09D 069 30 pt.: „*Proces biodegradacji odpadów poubojowych w warunkach beztlenowych*” (II.J.5). Celem naukowym projektu było określenie wpływu ogrzewania mikrofalowego, a także sposobów kondycjonowania odpadów poubojowych z wykorzystaniem homogenizacji, hydrotermalnej depolimeryzacji, sonifikacji, na uzyskiwane efekty technologiczne związane z biodegradacją materii organicznej oraz ilością i składem wytwarzanego biogazu. Wyniki badań zaprezentowano w następujących publikacjach (II.A.18, II.A.19, II.A.21, II.E.25, II.E.26) oraz konferencjach naukowych (II.L.20, III.B.32, III.B.33).

Zdobyte przez zespół naukowy, którego jestem członkiem, doświadczenia naukowe związane z możliwością symultanicznego zastosowania czynników fizycznych oraz układów biologicznych w procesach degradacji zanieczyszczeń pozwoliły na opracowanie oryginalnych rozwiązań technologicznych opartych na integrowaniu wielu elementów wpływających na efekty oczyszczania ścieków. Prototypowe reaktory beztlenowe zostały skonstruowane między innymi w ramach realizacji projektu badawczego zamawianego nr 8/0-PBZ-MNiSW-1/3/2006 pt.: „*Badania technologiczne nowej konstrukcji reaktora beztlenowego o wysokiej gęstości /HDB/ z przepływem poziomym wykorzystywanego do konwersji zanieczyszczeń organicznych na paliwa gazowe /biometan/*” (II.J.7).

Bezettlenowe technologie oczyszczania ścieków rozwijane były w ramach realizacji projektu badawczego zamawianego nr PW-004/ITE/06/2006 pt.: „*Opracowanie technologii wytwarzania aktywnych wypełnień reaktorów beztlenowych powstałych na bazie surowców z odpadowych tworzyw sztucznych*” (II.J.6). Wyniki uzyskane podczas realizacji projektu przedstawiono w następujących publikacjach naukowych (II.E.1, II.E.2, II.E.3, II.E.7) oraz zaprezentowano na konferencjach (II.L.19, III.B.34, III.B.35). Badania dowiodły, że

zastosowanie opracowanego wypełnienia (zgłoszenie patentowe nr P. 385558) zapewnia poprawę efektywności usuwania ze ścieków substancji węglowych, fosforu i zawiesin, dodatkowo umożliwia szybsze wpracowanie reaktorów i uzyskanie docelowej sprawności technologicznej. Wypełnienie aktywne zostało zastosowane w stacji pilotującej zlokalizowanej na terenie Zakładu Mleczarskiego grupy „Lacpol” w Łaszczowie. Doskonalenie konstrukcji wypełnień aktywnych stosowanych w reaktorach beztlenowych kontynuuję obecnie w ramach realizacji Projektu Strategicznego nr POIG.01.01.02-14-034/09 pt.: *„Innowacyjne systemy wspomagania technicznego zrównoważonego rozwoju gospodarki, zadanie IV.5.2. Katalityczne wypełnienia bioreaktorów dla technologii oczyszczania ścieków przemysłowych”*.

Moja aktywność w zakresie pracy naukowej została doceniona w roku 2007 Nagrodą Zespołową II stopnia Rektora UWM w Olsztynie za osiągnięcia w dziedzinie naukowej (II.K.1). W roku akademickim 2008/2009 otrzymywałem dodatkowo stypendium naukowe Rektora UWM w Olsztynie dla pracowników wyróżniających się w pracy naukowej.

Kierunkiem rozwoju naukowego, który został podjęty i rozwijany w kolejnych latach mojej pracy, była tematyka związana z możliwością wykorzystania zanieczyszczeń zawartych w ściekach przemysłowych oraz odpadach o różnej charakterystyce jako cennego źródła energii. W realizowanych doświadczeniach koncentrowałem się nad zastosowaniem procesów fermentacji metanowej do biodegradacji zanieczyszczeń z jednoczesnym pozyskiwaniem biogazu. Z szeregu przeprowadzonych w tym zakresie prac szczególnie cenne i istotne były badania dotyczące podatności ścieków mleczarskich z różnych gałęzi produkcji na biologiczny rozkład. Wyniki tych badań zostały opublikowane między innymi w czasopiśmie *Bioresource Technology* (II.A.23). Duże znaczenie dla realizacji badań z tego zakresu miała wdrożona przez mnie metoda respirometrycznego pomiaru aktywności biomasy w zależności od rodzaju zastosowanej pożywki (II.A.30). W ramach badań nad procesami beztlenowego oczyszczania ścieków prowadziłem badania nie tylko z wykorzystaniem pomiarów respirometrycznych czy instalacji laboratoryjnych, ale również korzystając z obiektów w skali ułamkowo-technicznej czy technicznej. Uzyskane rezultaty opisano w następujących publikacjach (II.A.5, II.E.31, II.E.34, II.E.42, II.E.44, II.E.44, II.E.45, II.E.46).

Zdobywane przez mnie doświadczenia naukowe staram się wykorzystywać we współpracy z podmiotami gospodarczymi. Wielokrotnie wykonywałem ekspertyzy oraz opracowywałem koncepcje modernizacji systemów technologicznych oczyszczania ścieków,

głównie z przemysłu spożywczego. Byłem bezpośrednio zaangażowany w realizację projektów technologicznych opartych na systemach tlenowych i beztlenowych, między innymi dla Indykpol S.A., Zakładu Mleczarskiego w Raciążu „Polmlek Raciąż” Sp. z o. o., Proszkowni Mleka w Piotrkowie Kujawskim Sp. z o. o., Delicpol S.A. w Kamyku, Spółdzielni Mleczarskiej w Nowym Targu, Zakładu Mleczarskiego w Ostrowi Mazowieckiej, Zakładu Produkcji Mleczarskiej Mlekpól w Mrągowie, Spółdzielni Mleczarskiej w Krasnymstawie (III.M.18, III.M.22, III.M.23, III.M.26, III.M.28, III.M.40, III.M.46, III.M.53). W okresie 2006 – 2008 byłem zatrudniony w Przedsiębiorstwie Tewes-Bis Sp. z o. o. w Barczewie, specjalizującym się w kompleksowej obsłudze linii produkcyjnych stosowanych w zakładach mleczarskich, na stanowisku specjalisty – konsultanta ds. projektowania systemów oczyszczania ścieków. W zakresie realizacji projektów związanych z gospodarką wodno – ściekową współpracowałem między innymi z przedsiębiorstwami takimi jak PP Eko sp. z o. o. z Warszawy, Mostostal Warszawa S.A., Polimat sp. z o. o. z Torunia, Ekofinn – Pol sp. z o. o. z Gdańska, Metromex S.A. z Olsztyna, Nijhuis Water Polska sp. z o. o. z Piastowa, Ekoventus sp. j. z Zielonej Góry. Szczególnie istotna dla mojego rozwoju była wieloletnia współpraca z Warmińsko-Mazurską Spółką „Ochrona Środowiska”. Realizacja licznych opracowań środowiskowych i technologicznych była dla mnie, jako młodego naukowca, doskonałym sposobem na zdobywanie doświadczeń i umiejętności praktycznych. W tym zakresie mojej działalności największym wyzwaniem było przygotowanie dokumentacji operatu wodnoprawnego na odprowadzanie wód deszczowych z terenu Portu Lotniczego im. Chopina w Warszawie. Owocem półtorarocznych prac, poza uzyskaniem pozwolenia, była koncepcja retencji wód deszczowych na terenie lotniska. Została ona zrealizowana i wdrożona w oparciu o wytyczne i założenia przedstawione przez zespół, którego byłem członkiem. Dodatkowo efekty badań wód deszczowych na terenie Okęcia przedstawiono w publikacjach naukowych (II.E.36, II.E.38).

Z uwagi na rosnące zainteresowanie odnawialnymi oraz niekonwencjonalnymi źródłami energii, moje zainteresowania naukowe oraz realizowane prace badawcze ewoluowały w kierunku zastosowania procesów beztlenowych w procesie fermentacji biomasy o różnej charakterystyce i właściwościach. Wiedza na temat energetycznego przetwarzania biomasy do biogazu poszerzana była podczas prowadzenia prac wynikających z założeń zawartych w wielu projektach badawczych, w których byłem i jestem obecnie bezpośrednio zaangażowany. Pierwsze projekty zmierzały do opracowania technologii

intensyfikacji procesu wytwarzania biogazu z typowych energetycznych substratów organicznych, a mianowicie odpadów poubojowych oraz kiszonki kukurydzy.

W latach 2007 – 2009 realizowano projekt badawczy nr 2333/B/P01/2008/35 pt.: *„Efektywność technologiczna biogazowania kiszonki kukurydzy z zanieczyszczeniami z toalet chemicznych”* (II.J.8). Celem projektu było określenie szybkości i wydajności beztlenowej biodegradacji zanieczyszczeń pochodzących z toalet zlokalizowanych na jachtach oraz możliwości wykorzystania tego typu odpadów jako kosubstratu w biogazowni zasilanej kiszonką z kukurydzy. Wyniki badań zaprezentowano w następujących publikacjach (II.A.10, II.E.10) oraz konferencjach naukowych (III.B.2, III.B.8, III.B.27, III.B.28).

Zagadnienia związane z intensyfikacją oraz usprawnieniem procesów fermentacji metanowej poprzez opracowanie oryginalnych technologii wstępnego przygotowania substratu są obecnie zgłębiane w ramach realizacji Projektu Kluczowego nr POIG.01.01.02-00-016/08 pt.: *„Modelowe kompleksy agroenergetyczne jako przykład kogeneracji rozproszonej opartej na lokalnych i odnawialnych źródłach energii”*, zadanie 1.5. *„Kondycjonowanie wsadu biomasy do zgazowania w optymalizacji technologii produkcji metanu i wodoru w procesie fermentacyjnym”*. Uzyskane dotychczas wyniki zaprezentowano w publikacjach (II.A.11, II.A.13, II.E.16, II.E.17, II.E.18) oraz na konferencjach naukowych o zasięgu krajowym (II.L.2, II.L.5, II.L.6, II.L.8, II.L.11, II.L.12, II.L.14, II.L.17, III.B.7, III.B.16, III.B.17, III.B.18) i międzynarodowym (II.L.3, II.A.12, III.B.8, III.B.9, III.B.20, III.B.21). W trakcie dotychczasowych prac badawczych prowadzonych w ramach realizacji zadania opracowano wiele własnych, oryginalnych rozwiązań technologicznych i konstrukcyjnych reaktorów fermentacji metanowej oraz urządzeń towarzyszących. Do najważniejszych zaliczyć należy jednosekcyjny i wielosekcyjny reaktor beztlenowy z mieszałem klatkowym (Patent P. 391339) oraz prototypowe urządzenia do wstępnego przygotowania substratów organicznych kierowanych do procesu fermentacji metanowej (udzielone Patenty P. 391338, P. 391337, P. 391340, P. 391477). Finalnym osiągnięciem tego zadania jest budowa, według autorskich założeń zespołu, w którym uczestniczę, modelowej biogazowni rolniczej o mocy 20 kW zlokalizowanej na terenie Stacji Dydaktyczno – Badawczej UWM w Bałdach. Zrealizowana koncepcja mikrobiogazowni spotkała się z zainteresowaniem na rynku, a obecnie uczestniczę w pracach nad wybudowaniem kolejnego ulepszanego obiektu na zlecenie jednostki gospodarczej (zrealizowano już projekt technologiczny III.M.1).

W latach 2009 – 2011 byłem współwykonawcą projektu badawczego nr 4555/B/T02/2009/36 pt.: „*Intensyfikacja procesów wytwarzania wysokoenergetycznego biogazu z odpadów organicznych z wykorzystaniem drobnoustrojów psychrofilnych*” (II.J.10) Uzyskane wyniki prezentowano dotychczas na dwóch międzynarodowych konferencjach naukowych (III.B.26, III.B. 35).

W roku 2009 odbyłem staż wdrożeniowy związany z zagadnieniem intensyfikacji procesu fermentacji osadów ściekowych w Przedsiębiorstwie Grontmij Sp. z o. o. w ramach projektu pt. „*Komercjalizacja wyników badań oraz kreowanie postaw przedsiębiorczych przez UWM w Olsztynie poprzez staże, szkolenia i działania uświadamiające z zakresu przedsiębiorczości akademickiej*” realizowanego w ramach Priorytetu VIII Regionalne kadry gospodarki, Działania 8.2 Transfer wiedzy, Poddziałania 8.2.1 Wsparcie dla współpracy sfery nauki i przedsiębiorstw Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki (III.L.7).

Wiedza i doświadczenia zdobyte w trakcie realizacji badań związanych z funkcjonowaniem biogazowni pozwoliły mi na współudział w wykonaniu wielu opracowań technologicznych tego typu obiektów. Dokonywałem ocen oddziaływania na środowisko inwestycji biogazowych oraz realizowałem szereg badań zleconych dotyczących potencjału energetycznego substratów. Prace te wykonywałem dla takich podmiotów gospodarczych jak Energa S.A. w Gdańsku, Energa OPEC Sp. z o.o. w Ostrołęce, KOM-STAL Sp. z o. o. w Gliwicach, DBB Green Energy S.A., Saria Polska Sp. z o. o., Młyny Szczepanki Sp. z o. o., Biogazownia Starogard Gdański, Biogazownia Rolnicza Sobawiny, Biogazownia Rolnicza Morzyczyn Włociański, Biogazownia Boleszyn, Biogazownia Łęgajny (III.M.3, III.M.4, III.M.5, III.M.6, III.M.7, III.M.9, III.M.10, III.M.21, III.M.22, III.M.23, III.M.35).

W tym okresie nawiązałem również kontakty z wieloma podmiotami gospodarczymi w celu pogłębienia współpracy naukowo-technicznej prowadzącej do opracowania nowych produktów i technologii o wysokim potencjale innowacyjnym i wdrożeniowym. Kooperacja dotyczyła głównie przygotowania i złożenia aplikacji do różnego rodzaju projektów i konkursów. Wraz z przedsiębiorstwami Intersonic s.c. z Olsztyna, Erda s.c. z Olsztyna oraz SDK sp. z o. o. z Ostródy starałem się pozyskać środki z programu *IniTech* NCBiR. Z przedsiębiorstwem Intersonic s.c. aplikowałem do programu prowadzonego przez PARP pt.: „*Bon na innowacje – wsparcie dla najmniejszych firm*”, którego celem było zainicjowanie kontaktów mikro lub małych przedsiębiorców z jednostkami naukowymi. Współpraca z przedsiębiorstwem SEEN Holding Sp. z o. o. z Warszawy zaowocowała przygotowaniem

i złożeniem wniosku w konkursie PARP pt.: „*Wsparcie na prace badawcze i rozwojowe oraz wdrożenie wyników tych prac*” Programu Operacyjnego - Innowacyjna Gospodarka, Działanie 1.4-4.1.

Wieloletnie badania naukowe oraz doświadczenia zdobyte na polu praktycznym wykazały, iż znaczącą przeszkodą w rozwoju instalacji biogazowych jest przede wszystkim dostępność odpowiedniego substratu. Przetwarzanie materii organicznej na biogaz musi być w skali technicznej uzasadnione pod względem ekonomicznym. W szybko zmieniających się warunkach rynkowych wykorzystanie upraw celowych roślin wyższych okazuje się nieuzasadnione ekonomicznie. Opłacalność przynosi przede wszystkim funkcjonowanie biogazowni utylizacyjnych, które bazują na wykorzystaniu ścieków, osadów czy innych biodegradowalnych odpadów organicznych. Analiza tych danych stała się podstawą do poszukiwania alternatywnych źródeł biomasy, które mogą zwiększyć podaż substratu wykorzystywanego w procesach fermentacyjnych. Studia literaturowe oraz doświadczenia z produktywnością jezior jeszcze z okresu pracy magisterskiej wykazały, iż potencjalnym substratem na cele biogazowe mogą być glony. Tematyka zastosowania biomasy glonów pozyskiwanych z naturalnych akwenów wodnych w procesach fermentacji metanowej została podjęta i jest obecnie realizowana w ramach projektu pt.: „*Modelowe kompleksy agroenergetyczne jako przykład kogeneracji rozproszonej opartej na lokalnych i odnawialnych źródłach energii*”, Projekt Kluczowy nr POIG.01.01.02-00-016/08, zadanie 1.3. „*Pozyskiwanie i przetwarzanie biomasy powstającej w zeutrofizowanych wodach powierzchniowych*” (II.J.12). Dotychczasowym efektem realizacji tego projektu jest opracowanie szeregu urządzeń i technologii służących pozyskiwaniu biomasy glonów z naturalnych akwenów wodnych (udzielone patenty nr P. 391478, P. 391568, zgłoszenie patentowe P. 391594). Wyniki badań prezentowano na wielu konferencjach naukowych o zasięgu krajowym (II.L.9, II.L.13, III.B.1, III.B.12, III.B.16, III.B.18, III.B.58, III.B.59, III.B.60, III.B.61, III.B.62) i międzynarodowym (II.L.1, III.B.14, III.B.15, III.B.22, III.B.25, III.B.34, III.B.36,) oraz w publikacjach naukowych (II.A.4, II.A.9, II.A.14, II.A.15).

Technologie i procedury związane z pozyskiwaniem biomasy glonów oraz jej wykorzystaniem na cele energetyczne są rozwijane podczas realizacji Programu Strategicznego NCBiR pt.: „*Zaawansowane technologie pozyskiwania energii*”, zadanie 4 – „*Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych*”, Blok tematyczny – „*Układ produkcji paliw gazowych i płynnych*”

metodami konwersji biologicznej biomasy”, Zadanie 4.4.L. – „Opracowanie technologii hodowli alg olejowych na cele biopaliwowe w basenach otwartych” (Załącznik 2, kod: B.8.11.). Efektem tego projektu badawczego jest między innymi układ technologiczny namnażania biomasy glonów (wzór użytkowy nr W.119486). Zakres badań objęty projektem pozwolił zespołowi autorskiemu, którego jestem członkiem, na opracowanie technologii produkcji biomasy glonów olejowych na bazie ścieków pochodzących z przemysłu mleczarskiego, metod pozyskiwania biooleju z zagęszczonej biomasy, technologii produkcji biopaliwa i jego podstawowych parametrów. Dotychczas uzyskane wyniki przedstawiono w publikacjach naukowych (II.E.19, II.E.21) oraz prezentowano na konferencjach krajowych i międzynarodowych (III.B.1, III.B.13).

Sukcesy związane z prowadzonymi badaniami w zakresie niekonwencjonalnych źródeł energii zaowocowały prestiżowym wyróżnieniem – Nagrodą „Zielonego Feniksa 2010” w kategorii badania naukowe dla zespołu badawczego w składzie prof. dr hab. Mirosław Krzemieniewski, dr inż. Marcin Dębowski, dr inż. Marcin Zieliński za wkład w rozwój Energetyki Odnawialnej w Polsce przyznawaną przez Fundację Wspierania Rozwoju Ekoenergetyki, działającą pod przewodnictwem prof. dr hab. Jerzego Buzka (II.K.3).

W roku 2011 realizowałem staż wdrożeniowy w przedsiębiorstwie Intersonic S.C. w ramach projektu pt. „Transfer innowacji” realizowanego w ramach Priorytetu VIII Regionalne kadry gospodarki, Działania 8.2 Transfer wiedzy, Poddziałania 8.2.1 Wsparcie dla współpracy sfery nauki i przedsiębiorstw Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki. Staż dotyczył możliwości wdrożenia systemów produkcji biomasy glonów oraz opracowania rozwiązań technologicznych mikrobiogazowni rolniczych (Załącznik 2, kod: C.3.) Uczestniczyłem również w programie "Fabryka Innowacji" współfinansowanym przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego "Fundusze Europejskie – dla rozwoju Innowacyjnej Gospodarki" z pomysłem „Zeroemisyjny generator energii odnawialnej”.

Podjąłem również współpracę i realizowałem opracowania związane z zastosowaniem technologii opartych na wykorzystaniu biomasy glonów dla wielu podmiotów gospodarczych w tym: Energa S.A., Tauron S.A., SiTR Koszalin Sp. z o.o., Seen Holding Sp. z o.o., Bros Sp. z o.o., Tuzal Sp. z o.o. (Załącznik 2, kod: B.10.30., B.10.31., B.10.32., B.10.38.).

Współpraca międzynarodowa, którą podejmowałem w okresie pracy naukowej, opierała się przede wszystkim na kontaktach z partnerami zagranicznymi w ramach przygotowywania wniosków aplikacyjnych do różnego rodzaju konkursów na projekty badawcze. W roku 2009 współpracowałem z partnerami z Niemiec (Baltic Windenergy Association), Litwy (University of Klaipeda, Coastal Research and Planning Institute), Szwecji (Energy Agency for Southeast Sweden) oraz Wielkiej Brytanii (International Resources and Recycling Institute) nad przygotowaniem projektu badawczego pt.: „*Concepts for Renewable Energy Supply in Rural Municipalities (RES Concept)*” ramach programu Interreg IV C. Przygotowany wniosek nie uzyskał ostatecznie finansowania.

W roku 2011 wraz z Institut für Bauingenieurwesen, Technische Universität Berlin przygotowywałem wniosek pt.: „*Development of decision support for sustainable rural water management according to local agenda 21 – process (DeSuWa 21)*” w ramach konkursu ogłoszonego przez NCBiR, dotyczącego polsko-niemieckiej współpracy na rzecz zrównoważonego rozwoju. Projekt uzyskał pozytywne rekomendacje polsko-niemieckiej Rady Monitorującej, która prowadziła ocenę złożonych projektów, jednak z uwagi na ograniczone środki został on umieszczony na liście rezerwowej.

W chwili obecnej współpracuję ze Swedish University of Agricultural Sciences, Swedish Institute of Agricultural and Environmental Engineering oraz The Deutsches Biomasseforschungszentrum nad wnioskiem pt.: „*Small but efficient – Cost and Energy Efficient Biomethane Production (SE Bioemethane)*”, skierowanym do 6 programu ERA-NET Bioenergy. Wniosek uzyskał pozytywną rekomendację do finansowania ze strony Komisji Europejskiej i obecnie jest rozpatrywany przez narodowe instytucje finansujące projekty badawcze, ze strony polskiej jest to NCBiR.

W zakresie produkcji biomasy glonów oraz odzysku oleju podjąłem współpracę z zespołem Pani prof. Violety Maskareviciene z Aleksandras Stulginskis University w Kownie, który specjalizuje się głównie w technologii pozyskiwania oleju, jego charakterystyki oraz przetwarzania tego produktu na biopaliwa.

W trakcie pracy badawczej odbyłem międzynarodowe szkolenia z zakresu oczyszczania ścieków w Pradze (Czechy), hydroekologii (Szarvas, Węgry), a także produkcji i wykorzystania biomasy glonów organizowane w Rotterdamie, Amsterdamie i Madrycie (III.L.1, III.L.2, III.L.3, III.L.4, III.L.5).

W trakcie swojej pracy naukowej opublikowałem 32 prace wyróżnione przez bazę Journal Citation Reports, w tym 26 prac posiadających Impact Factor w roku publikacji. Jestem współautorem 44 publikacji zamieszczonych w innych czasopismach recenzowanych. Opublikowałem 4 monografie oraz jestem autorem 9 rozdziałów w monografiach. Liczba publikacji zamieszczonych w czasopismach branżowych i popularno-naukowych wynosi 81. W chwili obecnej 8 publikacji przekazałem do recenzji. Jestem współautorem 91 referatów prezentowanych na konferencjach i sympozjach naukowych, w tym 28 międzynarodowych. Łącznie uczestniczyłem, bądź dalej realizuję, 19 projektów i zadań badawczych w tym dwa projekty zamawiane (zakończone), 1 projekt strategiczny NCBiR (dwa zadania – w trakcie realizacji), 1 projekt strategiczny POIG (w trakcie realizacji), 1 projekt kluczowy POIG (dwa zadania – w trakcie realizacji), 1 projekt celowy (zakończony), 1 projekt WFOŚiGW (zakończony), 9 projektów własnych MNiSW (w tym dawnego KBN – zakończony), 1 projekt UE EraNet (w trakcie realizacji). W przypadku pięciu projektów byłem kierownikiem (grantu lub zadania badawczego), a w kolejnych trzech pełniłem funkcję głównego wykonawcy. Zrealizowałem 94 opracowania na zlecenie podmiotów gospodarczych. Jestem współautorem 10 przyznanych patentów oraz 5 kolejnych zgłoszeń patentowych (w trakcie rozpatrywania). Jestem autorem i współautorem 45 dokumentacji prac badawczych.

Zrealizowałem 10 recenzji publikacji naukowych dla takich periodyków jak: *Desalination and Water Treatment*, *Environmental Engineering and Management Journal*, *Separation and Purification Technology*, *Waste and Biomass Valorization*, *Bioresource Technology*, *Environmental Engineering Science*, *Environmental Technology*.

Mój sumaryczny Impact Factor wynosi 27,766. Index Hirsha wg bazy Web of Science wynosi 3, wg bazy Scopus – 4, a wg GoogleScholar – 6. Liczba cytowań wg bazy Web of Science to 34, wg bazy Scopus – 44, wg bazy GoogleScholar – 114. Sumaryczna liczba punktów MNiSW uzyskana jedynie za publikacje naukowe zgodna z rokiem wydania - 617,5, z uwzględnieniem punktów za przyznane patenty – 867,5.

6. Osiągnięcia w zakresie popularyzowania nauki

Swoją pracę naukową uzupełniałem bardzo aktywną działalnością popularyzatorską. Od 2007 roku do chwili obecnej jestem ekspertem z zakresu ochrony środowiska w wydawnictwie Verlag Dashofer sp. z o. o. Współpraca z wydawnictwem zaowocowała

publikacją 72 artykułów w branżowym miesięczniku Woda i Ścieki – prawny serwis informacyjno-doradczy, w których staram się implementować rezultaty prac naukowych do praktyki (II.E.57 – II.E.88, II.E.91 – II.E.92, II.E.96 – II.E.124, II.E.126 – II.E.134). Wydawnictwo Verlag Dashofer sp. z o. o. opublikowało również dwie książki mojego współautorstwa, które omawiają technologie o wysokim potencjale aplikacyjnym, związane z oczyszczaniem ścieków oraz przeróbką osadów ściekowych (E.II.5, E.II.7).

W ramach działalności popularyzatorskiej prezentowałem wyniki swoich badań naukowych w innych periodykach branżowych i popularno-naukowych, takich jak: Ekotechnika (II.E.135, II.E.136), Czysta Energia (II.E.125, II.E.137), Ekonatura (II.E.89), Przegląd Mleczarski (II.E.90, II.E.93, II.E.95) oraz prezentacjach, szkoleniach i wystąpieniach prowadzonych dla przedstawicieli podmiotów gospodarczych (III.Q.5, III.Q.6, III.Q.7, III.Q.8).

W roku 2007 jako przedstawiciel Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie brałem udział w pilotażowym programie finansowanym przez MNiSW, który dotyczył określenia oraz opracowania najlepszych form komunikowania się polskich instytucji naukowych z otoczeniem. Wynikiem realizacji projektu była publikacja promująca prace polskich naukowców pt.: *„Kalejdoskop nauki – promocja projektów badawczych”*, w której zebrano opisy blisko stu siedemdziesięciu projektów badawczych prowadzonych przez sześćdziesiąt polskich instytucji naukowych. W publikacji byłem odpowiedzialny za opracowanie rozdziałów pt.: *„Intensyfikacja procesów wytwarzania wysokoenergetycznego biogazu z odpadów organicznych”*, *„Wykorzystanie hydrofitów w procesach produkcji biogazu jako sposób na ograniczenie postępującej eutrofizacji zbiorników wodnych”* oraz *„Mikrofałe czyszczą ścieki”*.

Wielokrotnie byłem gościem audycji radiowych i telewizyjnych emitowanych przez regionalne ośrodki Polskiego Radia S.A. – Radio Olsztyn i Telewizji Polskiej S.A., w których prezentowałem prace badawcze realizowane przez zespół, z którym współpracuję. Brałem udział w projekcie WFOŚiGW w Olsztynie pt.: *„Edukacja ekologiczna w zakresie możliwości wykorzystania przydomowych oczyszczalni ścieków w gminach województwa warmińsko-mazurskiego”* (III.F.2), którego jednym z elementów było nagranie i rozpowszechnienie materiału filmowego pt.: *„Woda na europejski medal – przydomowe oczyszczalnie ścieków”*, w realizacji którego brałem bezpośredni udział.

W ramach promocji projektów badawczych, w których uczestniczę, zrealizowano materiały filmowe, które są rozpowszechniane i przekazywane zainteresowanym grupom społecznym oraz podmiotom gospodarczym. W ramach Projektu Kluczowego nr POIG.01.01.02-00-016/08 pt.: *„Modelowe kompleksy agroenergetyczne jako przykład kogeneracji rozproszonej opartej na lokalnych i odnawialnych źródłach energii”* uczestniczyłem w realizacji materiału filmowego pt.: *„Zielona energia z glonów”*, natomiast w ramach prac nad Programem Strategicznym NCBiR pt.: *„Zaawansowane technologie pozyskiwania energii”*, zadanie 4 – *„Opracowanie zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych”* uczestniczyłem w realizacji filmu pt.: *„Biogazownia rolnicza – wyzwania badawcze”*.

Brałem również udział w promocji badań realizowanych w Katedrze Inżynierii Środowiska oraz w Centrum Akwakultury i Inżynierii Ekologicznej poprzez współrealizację Fotocastu na zlecenie Urzędu Marszałkowskiego w Olsztynie pt.: *„Zielone złoto”*, który dostępny jest na stronie www: <http://fotocasty.pl/2988/zielone-zloto/>.

W roku 2010 uczestniczyłem w programie *Bussines and Innovation Support for North-East Poland*, dzięki któremu nawiązałem współpracę z wieloma przedsiębiorstwami zainteresowanymi wdrożeniem opracowanych przeze mnie rozwiązań technologicznych oraz przeprowadziłem audyty technologiczne w przedsiębiorstwach PHU Cezary Gudan Tomaszkowo, Intersonic Sp z o.o. z Olsztyna, Iławskie Przedsiębiorstwo Wodociągów i Kanalizacji, Wytwórnia Octu i Musztardy Octim w Olsztynku, dla których zaprezentowałem własne rekomendacje.

Byłem również czynnym uczestnikiem programu pt.: *„Kampania Promocyjno – Informacyjna Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości PARP – Świat potrzebuje Twoich pomysłów”* finansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego. Kampania była elementem projektu systemowego Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości pt. *„Rozwój zasobów ludzkich poprzez promowanie wiedzy, transfer i upowszechnianie innowacji”*, finansowanego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, Działanie 2.1.3. W ramach popularyzacji badań własnych prowadziłem wykłady w ramach wizyty studyjnej w Centrum Badań Energii Odnawialnej oraz Centrum Akwakultury i Inżynierii Ekologicznej Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, prezentowałem wyposażenie pracowni CBEO i CAiIE, a także biogazownię rolniczą zrealizowaną na podstawie technologii mojego współautorstwa.

W ramach działalności popularyzatorskiej wraz z Centrum Innowacji i Transferu Technologii UWM w Olsztynie realizuję obecnie projekt pt.: „*Regionalny Transfer Wiedzy z Nauki do Biznesu – staże i szkolenia praktyczne naukowców w przedsiębiorstwach Warmii i Mazur*” Poddziałanie 8.2.1 Wsparcie współpracy sfery nauki i przedsiębiorstw, Działanie 8.2 Transfer wiedzy, Program Operacyjny Kapitał Ludzki.

Działaniem z zakresu popularyzacji nauki było przeprowadzenie przeze mnie cyklu zajęć w ramach Uniwersytetu Dzieci. Fundacja Uniwersytet Dzieci organizuje zajęcia dla najmłodszych w szkołach wyższych na terenie całej Polski. Przeprowadziłem ćwiczenia laboratoryjne na kierunku Inspiracje z przedmiotu: Jak ścieki zmieniają swoją postać. Powodzenie, jakim cieszyły się one wśród najmłodszych, spowodowało, iż w laboratorium gościłem jeszcze kilka klas szkół podstawowych oraz grup przedszkolnych.

7. Osiągnięcia w zakresie działalności organizacyjnej

W trakcie mojej pracy zawodowej realizowałem wiele zadań organizacyjnych na rzecz Uczelni, a także władz i społeczności lokalnych. W okresie 2005 – 2008 byłem członkiem Rady Wydziału Ochrony Środowiska i Rybactwa. W tym samym okresie pełniłem również funkcję członka Wydziałowej Komisji Oceniającej. W roku 2008 zostałem wybrany do reprezentacji adiunktów mojego Wydziału w Senacie Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie. Funkcje senatora pełniłem w okresie od 2008 do 2012 roku. Obecnie w kadencji 2012 – 2016 zostałem powołany do pracy w Odwoławczej Komisji Dyscyplinarnej ds. Studentów, a także do Wydziałowego Zespołu ds. USOS. Jestem również członkiem Zespołu ds. Jakości i Programów Kształcenia na kierunku ochrona środowiska.

W trakcie swojej pracy realizowałem również zadania na rzecz władz samorządowych, społeczności lokalnych oraz przedsiębiorców z zakresu gospodarki wodno-ściekowej. Byłem między innymi członkiem Zespołu Ekspertckiego opracowującego na zlecenie miasta Olsztyna program gospodarki wodno-ściekowa miasta Olsztyna ISPA II Faza, 2003. Przygotowany przez Zespół projekt otrzymał pozytywne oceny, a miasto Olsztyn, w oparciu o przygotowane koncepcje i rozwiązania, wykonało systemową modernizację gospodarki wodno-ściekowej. Cenię sobie spotkania w ramach Regionalnego Stowarzyszenia Wodociągowego z siedzibą w Olsztynie, gdzie mogłem zaprezentować niekonwencjonalne, autorskie rozwiązania technologiczne systemów oczyszczania ścieków i przeróbki osadów ściekowych (III.Q.8). Efektem współpracy z lokalnymi władzami oraz olsztyńskim PWiK Sp.

z o. o. jest między innymi opracowanie przez zespół, którego byłem członkiem, oceny bezpieczeństwa systemu wodociągowego miasta Olsztyna i kierunków jego rozwoju (III.M.55).

Za swój największy sukces w pracy organizacyjnej na rzecz UWM w Olsztynie uważam udział w pracach nad realizacją inwestycji pod nazwą Centrum Akwakultury i Inżynierii Ekologicznej. Inwestycja o wartości 6,5 mln EUR została zrealizowana w latach 2009 – 2011 ze środków strukturalnych UE w ramach programu *"Rozbudowa, modernizacja i wyposażenie zespołu laboratoriów edukacyjno – badawczych technologii, jakości i bezpieczeństwa zdrowotnego żywności"*, umownie nazywana Projektem BIO. Do tej pory była to największa inwestycja na olsztyńskiej uczelni, finansowana z PO Rozwój Polski Wschodniej 2007-2013, oś priorytetowa I *"Nowoczesna gospodarka"*; Działanie I.1. *"Infrastruktura uczelni"*.

W ramach tworzenia Centrum Akwakultury i Inżynierii Ekologicznej byłem bezpośrednio zaangażowany i czynnie uczestniczyłem w pracach nad studium wykonalności, raportem oddziaływania na środowisko oraz późniejszych pracach nad projektem budowlanym. Byłem liderem zespołu pracującego nad przygotowaniem zamówień przetargowych na wyposażenie laboratoryjne dla części Centrum zajmującej się Inżynierią Ekologiczną, łącznie kwota realizowanych zakupów wyniosła około 5,0 mln zł. Na etapie budowy obiektu stale brałem udział w konsultacjach z wykonawcami.

Występowałem w roli eksperta oraz biegłego sądowego sporządzającego dokumentację w przypadku prowadzonych postępowań związanych z gospodarką wodno-ściekową. Składałem wyjaśnienia oraz wykonywałem pracę biegłego sądowego dla Komendy Wojewódzkiej Policji w Olsztynie oraz Prokuratury Rejonowej w Białymstoku i Prokuratury Rejonowej w Rzeszowie.

Jestem członkiem Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych oraz Chemical, Biological and Environmental Engineering Society (CBEES).

Moja działalność organizacyjna została wyróżniona Nagrodą Zespołową II stopnia Rektora UWM w Olsztynie w roku 2008.

8. Omówienie osiągnięć dydaktycznych.

W trakcie dotychczasowej mojej pracy na Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim przygotowywałem oraz prowadziłem wykłady i ćwiczenia z następujących przedmiotów:

- Oczyszczanie wody i ścieków (ćwiczenia, kierunek inżynieria środowiska, Wydział Nauk Technicznych),
- Inżynieria środowiska (wykłady i ćwiczenia, kierunek inżynieria chemiczna i procesowa, Wydział Nauk o Żywności),
- Podstawy inżynierii ekologicznej (wykłady i ćwiczenia, kierunek ochrona środowiska, Wydział Ochrony Środowiska i Rybactwa),
- Projektowanie systemów wodociągowo-kanalizacyjnych, (ćwiczenia, kierunek ochrona środowiska, Wydział Ochrony Środowiska i Rybactwa),
- Grafika inżynierska (ćwiczenia komputerowe, kierunek ochrona środowiska, Wydział Nauk o Środowisku),
- Informatyczne podstawy projektowania (ćwiczenia komputerowe, kierunek inżynieria środowiska, Wydział Nauk o Środowisku),
- Alternatywne źródła energii (wykłady i ćwiczenia, kierunek inżynieria środowiska, Wydział Nauk o Środowisku),
- Projektowanie systemów wodociągowo-kanalizacyjnych (ćwiczenia komputerowe, kierunek inżynieria środowiska, Wydział Nauk o Środowisku),
- Projektowanie urządzeń wodno-ściekowych (ćwiczenia, kierunek inżynieria środowiska, Wydział Nauk o Środowisku).

Prowadziłem również zajęcia laboratoryjne z przedmiotu Technologia wody i ścieków oraz seminaria inżynierskie i magisterskie na Wydziale Ochrony Środowiska i Rybactwa.

Byłem opiekunem naukowym 16 prac inżynierskich oraz 29 prac magisterskich na kierunkach ochrona środowiska i inżynieria środowiska. Obecnie sprawuję opiekę nad realizacją 5 prac magisterskich oraz 3 prac inżynierskich. Moim osobistym osiągnięciem dydaktycznym jest fakt, iż czwórka studentów, których byłem promotorem prac inżynierskich oraz magisterskich, podjęła studia doktoranckie. Obecnie nadal współpracuję z trójką z nich, pełniąc rolę pomocniczego opiekuna naukowego w realizacji prac doktorskich (III.K.1, III.K.2, III.K.3).