Autoreferat

dotyczący osiągnięć w pracy naukowo-badawczej, organizacyjnej i dydaktycznej

1. **Imię i nazwisko:**

RENATA MARLENA GRUCA-ROKOSZ

2. **Posiadane tytuły i stopnie naukowe**

1999 – dyplom mgr inż. chemii o specjalności technologia chemiczna w zakresie inżynieria i sterowanie procesami chemicznymi uzyskany na Wydziale Chemicznym Politechniki Rzeszowskiej.

Temat pracy dyplomowej magisterskiej:

„Optymalizacja wybranych procesów technologii chemicznej przy zastosowaniu obliczeń symulacyjnych",

promotor: dr inż. Alina Jeżowska

2005 – dyplom dr nauk technicznych w zakresie inżynierii środowiska, nadany uchwałą Rady Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej.

Temat rozprawy doktorskiej:

„Badania procesów denitryfikacji i dysymilacyjnej redukcji azotanów do azotu amonowego w osadach dennych zbiorników zaporowych",

promotor: dr hab. inż. Janusz Tomaszek, prof. PRz (obecnie: prof. dr hab. inż.)

recenzenci: prof. dr hab. inż. Zbigniew Szperliński

dr hab. Ryszard Wiśniewski, prof. UMK

3. **Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu**

1998 – 1999 – asystent stażysta w Zakładzie Inżynierii i Sterowania Procesami Chemicznymi, Wydział Chemiczny Politechniki Rzeszowskiej.

2000 – 2001 – starszy technolog w Zakładzie Inżynierii i Chemii Środowiska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej.

2001 – 2006 – asystent w Zakładzie Inżynierii i Chemii Środowiska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej.

2006 – obecnie – adiunkt w Zakładzie/Katedrze Inżynierii i Chemii Środowiska, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej (obecnie: Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury).

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) Tytuł osiągnięcia naukowego:

Jako osiągnięcie naukowe 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. 565 ze zm.) – stanowiące podstawę ubiegania się o uzyskania stopnia naukowego doktora habilitowanego – wskazuję wyniki badań opublikowane w monografii zatytułowanej:

„Dynamika węglowych gazów cieplarnianych w zbiornikach zaporowych: mechanizmy produkcji, emisja do atmosfery".

b) Omówienie celu naukowego ww. pracy, osiągniętych wyników i ich ewentualnego wykorzystania

Cel badań

Głównym celem prowadzonych prac badawczych było uzyskanie danych dotyczących produkcji węglowych gazów cieplarnianych (CH_4 i CO_2) w osadach dennych zbiorników zaporowych oraz analiza czynników kontrolujących mechanizmy ich produkcji i przepływów przez granicę faz woda – atmosfera. Wiedza na ten temat stanowi istotne ogniwo w całkowitym bilansie węgla badanych obiektów i dostarcza istotnych informacji na temat funkcjonowania ekosystemów wodnych.

Cel naukowy pracy osiągnęłam poprzez zrealizowanie następujących szczegółowych zadań:

- określenie szybkości przepływu węglowych gazów cieplarnianych przez granicę faz woda – atmosfera w wybranych zbiornikach zaporowych różniących się poziomem trofii i oddziaływania zanieczyszczeń antropogenicznych,
- identyfikację mechanizmów produkcji metanu i ditlenku węgla w osadach dennych,
- analizę czynników kontrolujących produkcję i emisję badanych gazów do atmosfery,
- matematyczny opis wpływu czynników abiotycznych panujących w zbiornikach zaporowych na szybkość transportu metanu i ditlenku węgla przez granicę faz woda – atmosfera.

Problematyka badań

Podczas piętrzenia zbiorników zaporowych zalewany jest pewien obszar lądu (gleby), który pokryty jest roślinnością (drzewa, rośliny, martwa roślinna materia organiczna). W istniejących już zbiornikach, materia organiczna wytwarzana jest w procesie produkcji pierwotnej (materia autochtoniczna) oraz dostarczana ze zlewni (materia allochtoniczna). Zgromadzony w ten sposób materiał organiczny obumiera i deponuje się w osadach dennych zbiorników, gdzie rozkładany jest przez bakterie. W obecności tlenu lub innych utleniaczy materia organiczna rozkładana jest w procesie mineralizacji, a jednym z produktów końcowych tego procesu jest CO_2. W warunkach ściśle beztlenowych materia organiczna rozkładana jest natomiast przez metanogeniczne bakterie w procesie fermentacji, a gazowymi produktami końcowymi tego procesu są CO_2 i CH_4.

Wymienione produkty rozkładu materii organicznej: ditlenek węgla (CO_2) i metan (CH_4) to dwa główne gazy cieplarniane, których stężenie w atmosferze systematycznie rośnie powodując wzrost średnich temperatur powietrza. Tak więc osady denne gromadzone w zbiornikach zaporowych są składnicą materii organicznej dostarczanej ze zlewni oraz produkowanej w środowisku wodnym, która ulegając rozkładowi może przyczyniać się do wzrostu stężenia tych gazów w atmosferze. W świetle szeroko dyskutowanego na świecie problemu globalnego ocieplenia klimatu, kluczowym wyzwaniem dla badaczy stało się więc ilościowe określenie emisji i rozpoznanie mechanizmów tworzenia gazów cieplarnianych zarówno w środowiskach wodnych jak i lądowych. Elektrownie wodne pracujące na tworzonych zbiornikach zaporowych przez długi okres czasu uważane były za „czyste" źródło energii, nie mające wpływu na globalne ocieplenie. Prowadzone w ostatnich dwóch dekadach badania pokazały jednak, że zbiorniki zaporowe mogą odgrywać nieproporcjonalną do swej

wielkości rolę w globalnej dynamice gazów cieplarnianych i nie są „przyjazne" dla klimatu, gdyż wnoszą znaczący udział w emisji gazów cieplarnianych. Według wstępnych szacunków emisja węglowych gazów cieplarnianych ze zbiorników zaporowych stanowi około 7% emisji ze źródeł antropogenicznych. Szacunki te mogą być zaniżone z uwagi na to, że nie uwzględniono w nich emisji gazów uwalnianych poniżej zapory. Inne rozważania wykazały, że wpływ nowoczesnej elektrowni gazowej na globalne ocieplenie jest od 5 do 8 razy większy niż wysokoemisyjnego zbiornika borealnego, ale tropikalny zbiornik może mieć 66 krotnie większy wpływ od tej elektrowni. Wciąż istnieje wiele kontrowersji dotyczących tego zagadnienia, jednak większość badaczy uważa, że emisja gazów cieplarnianych z powierzchni zbiorników zaporowych jest znacząca i ma negatywny wpływ na zmianę klimatu.

W świetle powyższego uznałam, że pozyskanie informacji na temat mechanizmów produkcji węglowych gazów cieplarnianych (CH_4 i CO_2) w osadach dennych zbiorników zaporowych i ich emisji do atmosfery stanowić będzie ważne ogniwo w całkowitym bilansie węgla i wzbogaci wiedzę na temat roli powszechnie występujących na całym świecie zbiorników zaporowych w globalnym ociepleniu klimatu. Studia literatury utwierdziły mnie w przekonaniu, że podjęcie takiego kierunku badawczego jest słuszne i wypełni lukę w istniejącej wiedzy. Większość doniesień dotyczy bowiem emisji gazów cieplarnianych z dużych zbiorników tropikalnych (zwłaszcza z terenu Brazylii gdzie ok. 85% dostarczanej energii pochodzi z dużych elektrowni wodnych) oraz zbiorników umiejscowionych w borealnej strefie klimatycznej. Dane dotyczące strefy umiarkowanej są zdecydowanie mniej liczne.

Omówienie osiągniętych wyników

Do badań wytypowano sześć zbiorników zaporowych zlokalizowanych w czterech województwach południowo-wschodniej Polski (woj. podkarpackie: zbiorniki Rzeszów, Maziarnia i Besko; woj. lubelskie: zbiornik Nielisz; woj. świętokrzyskie: zbiornik Chańcza; woj. małopolskie: zbiornik Klimkówka). Wybrane do badań obiekty różniły się wielkością, wiekiem, stopniem degradacji jak też wpływem zanieczyszczeń antropogenicznych, co stwarza możliwość transponowania pewnych obserwacji i stwierdzeń na obiekty o zbliżonych cechach charakterystycznych.

Badania prowadzono w latach 2009 – 2011 w okresie wiosna – jesień. W pierwszym etapie, założony zakres badań realizowałam dla wszystkich wytypowanych zbiorników zaporowych. W drugim etapie badania prowadzono tylko na zbiornikach, dla których

obserwowano emisję do atmosfery zarówno CO_2, jak i CH_4. Były to zbiorniki w: Rzeszowie, Wilczej Woli (zbiornik Maziarnia) i Nieliszu.

Pod względem wyznaczonych przepływów metanu i ditlenku węgla przez granicę faz woda – atmosfera badane zbiorniki zaporowe podzielono na dwie grupy. Rzeszów, Nielisz i Maziarnia to zbiorniki, w których obserwowano wysoką emisję węglowych gazów cieplarnianych (w szczególności metanu), natomiast pozostałe charakteryzowała niższa emisja tych gazów.

Wyznaczone dyfuzyjne przepływy CH_4 przez granicę faz woda – atmosfera w badanych zbiornikach mieściły się w bardzo szerokim zakresie od 0 do 1181,90 $mmol \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ (od 0 do 18910,4 $mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$). Tylko zbiorniki Rzeszów, Maziarnia i Nielisz wykazywały znaczną emisję metanu do atmosfery, zwłaszcza na stanowiskach zlokalizowanych w górnej części zbiorników. Średnie wartości przepływu metanu odnotowane dla stanowisk zlokalizowanych w pobliżu zapory wynosiły 466,08 $mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$, 8,32 $mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ i 243,68 $mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ odpowiednio dla zbiorników Rzeszów, Maziarnia i Nielisz, a średnie wartości dla stanowisk w ich górnej części wynosiły odpowiednio 3468,48 $mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$, 5958,88 $mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ i 3352,28 $mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$. Porównując uzyskane wartości przepływów metanu do atmosfery z powierzchni wyżej wymienionych zbiorników z wartościami przytaczanymi w literaturze stwierdzono, że były one bardzo wysokie i porównywalne do wielkości charakterystycznych dla zbiorników tropikalnych.

W przypadku emisji ditlenku węgla obserwowano mniejsze dysproporcje pomiędzy zbiornikami niż w przypadku emisji metanu. Uzyskane wielkości dyfuzyjnych przepływów CO_2 przez granicę faz woda – atmosfera oscylowały w zakresie od -30,64 do 183,78 $mmol \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ (od -1348,16 do 8086,32 $mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$). Średnie wartości przepływów w badanych zbiornikach mieściły się w zakresie od -3,52 do 82,11 $mmol \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ (od -154,88 do 3612,84 $mg \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$), przy czym najniższą średnią wartość odnotowano w zbiorniku zaporowym Besko, a najwyższą w zbiorniku Maziarnia. W większości przypadków wartości przepływu CO_2 na granicy faz woda – atmosfera były porównywalne do przytaczanych w literaturze wielkości charakterystycznych dla zbiorników zlokalizowanych w umiarkowanej strefie klimatycznej.

Analiza wpływu czynników abiotycznych na emisję węglowych gazów cieplarnianych wykazała, że szybkość przepływu metanu do atmosfery zależy w głównej mierze od składu osadów dennych, a na emisję ditlenku węgla do atmosfery mają wpływ zarówno wskaźniki charakteryzujące osady jak i wody powierzchniowe. W analizowanych zbiornikach przepływ

metanu korelował dodatnio z zawartością węgla organicznego ($r = 0,513$, $p < 0,001$), azotu ogólnego ($r = 0,462$, $p < 0,01$) i jego składu izotopowego ($r = 0,332$, $p < 0,05$) oraz ujemnie z pH ($r = - 0,430$, $p < 0,01$) i wartościami $\delta^{13}C$ węgla organicznego ($r = - 0,328$, $p < 0,01$). Nie stwierdzono natomiast statystycznie istotnej zależności z temperaturą, która uważana jest za jeden z ważniejszych czynników kontrolujących proces metanogenezy, choć niewątpliwie obserwowano zwiększone przepływy metanu w okresach wyższych temperatur. Przepływ ditlenku węgla przez granicę faz woda – atmosfera korelował dodatnio z takimi parametrami osadów dennych jak: porowatość ($r = 0,413$, $p < 0,01$), zawartość węgla organicznego ($r = 0,419$, $p < 0,01$) i azotu ogólnego ($r = 0,439$, $p < 0,01$) oraz ujemnie z pH ($r = - 0,359$, $p < 0,05$) i wartością $\delta^{13}C$ węgla organicznego ($r = - 0,443$, $p < 0,01$). W przypadku parametrów charakteryzujących wody powierzchniowe stwierdzono dodatnie zależności ze stężeniem azotanów ($r = 0,593$, $p < 0,001$) i azotu ogólnego ($r = 0,318$, $p < 0,05$), oraz ujemne powiązanie z temperaturą wody ($r = - 0,490$, $p < 0,001$) i chlorofilem „a" ($r = - 0,399$, $p < 0,01$). Otrzymana zależność od temperatury sugeruje, że w wyższych temperaturach duża ilość ditlenku węgla zużywana jest w procesie fotosyntezy.

Pomimo iż w literaturze można znaleźć doniesienia dotyczące wpływu wieku zbiornika na emisję węglowych gazów cieplarnianych, to w przypadku badanych zbiorników nie znaleziono takiej zależności. Najwyższe poziomy emisji metanu i ditlenku węgla obserwowano zarówno w najstarszym zbiorniku Rzeszów jak i najmłodszym Nielisz. Należy tutaj zaznaczyć, że oba wspomniane zbiorniki charakteryzowały się wysokim stanem troficznym, a co ciekawe najmłodszy zbiornik, który w okresie prowadzonych badań miał zaledwie 2 – 3 lata wykazywał najwyższy poziom trofii. Stwierdzono więc, że wiek zbiornika nie ma kluczowego wpływu na emisję węglowych gazów cieplarnianych. Zdecydowanie większe znaczenie ma poziom trofii. Przeprowadzona analiza wykazała, że zbiorniki, dla których stan troficzny wyrażony w postaci wskaźnika TSI TP mieścił się w zakresie 85 – 90, charakteryzowały się wysoką emisją węglowych gazów szklarniowych (szczególnie CH_4), natomiast w przypadku zbiorników, dla których wartości TSI TP mieściły się w zakresie 60 – 65, obserwowano niższą emisję CO_2 oraz minimalną lub zerową emisję CH_4.

W celu rozpoznania równoczesnego wpływu parametrów fizyczno-chemicznych wód i osadów dennych na przepływ analizowanych gazów przez granicę faz woda – atmosfera przeprowadzono analizę regresji wielorakiej. W przypadku metanu sformułowanie poprawnego modelu okazało się niemożliwe, ponieważ wielkość przepływu zależała głównie

od wskaźników charakteryzujących osady denne, a te były statystycznie istotnie powiązane między sobą. W przypadku ditlenku węgla wykazano, że wartość poszukiwanej zmiennej zależnej w funkcji zmiennych niezależnych najlepiej opisuje funkcja:

$F_{CO2} = 44,42 + 39,08\ N\text{–}NO_3 + 10,35\ C_{org.} - 2,29\ t_w \pm 30,15$

gdzie:

F_{CO2} – przepływ ditlenku węgla przez granicę faz woda – atmosfera [$mmol \cdot m^{-2}d^{-1}$],

$N\text{–}NO_3$ – stężenie azotanów w wodzie powierzchniowej [$mg \cdot dm^{-3}$],

$C_{org.}$ – zawartość węgla organicznego w osadach dennych [%],

t_w – temperatura wody [°C].

Analiza składu izotopowego węgla w metanie i ditlenku węgla rozpuszczonych w wodzie interstycjalnej pozwoliła określić mechanizmy produkcji tych gazów w badanych zbiornikach zaporowych.

Uzyskane wartości $\delta^{13}C\text{-}CH_4$ w zakresie od -61 do -53‰, były charakterystyczne dla słodkowodnych ekosystemów wodnych i wskazywały, że raczej fermentacja octanowa jest głównym mechanizmem tworzenia metanu, choć redukcja CO_2 również może być mechanizmem znaczącym (zwłaszcza w zbiornikach Rzeszów i Maziarnia). Analiza wartości $\delta^{13}C\text{-}CH_4$ w profilach osadowych wykazała, że produkowany w głębszych warstwach metan był zazwyczaj zubożony w izotop ^{13}C. Wyższe wartości $\delta^{13}C\text{-}CH_4$ w górnych partiach osadów dennych sugerowały utlenianie metanu przez bakterie redukujące siarczany. Jednak z uwagi na fakt, że osady denne słodkowodnych ekosystemów wodnych zazwyczaj charakteryzują się niską zawartością siarczanów i wpływ procesu utleniania na wartość $\delta^{13}C\text{-}CH_4$ jest raczej mało prawdopodobny, to zmieniający się skład izotopowy węgla w CH_4 świadczy o zmieniającym się mechanizmie produkcji metanu w głębszych warstwach osadów dennych. Stwierdzono, że w głębszych partiach osadów następuje wzrost znaczenia mechanizmu redukcji CO_2 względem fermentacji octanowej, co spowodowane jest mniejszym dostępem labilnej materii organicznej.

W określeniu mechanizmów tworzenia CH_4 wykorzystano również wartości $\delta^{13}C$ współistniejącego z nim CO_2. Obliczone na podstawie wartości współczynników frakcjonowania $\alpha_{CH4\text{-}CO2}$ dla badanych zbiorników mieściły się w zakresie 1,04 – 1,07, czyli osiągały wartości charakterystyczne zarówno dla metanogenezy aceto- jak i hydrogenotroficznej. W zbiorniku zaporowym Nielisz w całej głębokości osadów nie odnotowano wartości $\alpha_{CH4\text{-}CO2}$ charakterystycznych dla mechanizmu redukcji CO_2, zaś

w zbiornikach zaporowych Rzeszów i Maziarnia obserwowano wzrost wartości $\alpha_{CH4-CO2}$ wraz z głębokością, co wskazuje na różne mechanizmy tworzenia metanu. W zbiorniku Maziarnia już w powierzchniowej warstwie osadów odnotowywano wartości charakterystyczne dla mechanizmu redukcji CO_2. Wnioski wyciągnięte na podstawie analizy obliczonych wartości $\alpha_{CH4-CO2}$ były zgodne z wnioskami wyciągnietymi na podstawie analizy wartości $\delta^{13}C$-CH_4 i potwierdziły wzrost udziału mechanizmu redukcji CO_2 w tworzeniu metanu w głębszych partiach osadów dennych.

Potwierdzeniem powyższych rozważań były obliczone z izotopowego bilansu masowego udziały mechanizmu redukcji CO_2 w tworzeniu metanu w różnych warstwach osadów. Stwierdzono, że w powierzchniowej warstwie osadów dennych zbiornika Rzeszów, fermentacja octanowa była głównym, ale nie jedynym mechanizmem produkcji metanu. Najwyższy udział metanogenezy hydrogenotroficznej stanowił 37%, a najniższy 20%. W powierzchniowej warstwie osadów zdepopnowanych na dnie zbiornika Nielisz metanogeneza acetotroficzna stanowiła zazwyczaj blisko 70%, ale odnotowywano również przypadki kiedy jej udział w procesie tworzenia metanu był wyższy a nawet całkowity. W zbiorniku Maziarnia obserwowano natomiast podobny lub wyższy niż w przypadku zbiornika Rzeszów udział redukcji CO_2 w tworzeniu metanu. We wszystkich analizowanych zbiornikach obserwowano wzrost znaczenia metanogenezy hydrogenotroficznej w głębszych warstwach osadów dochodzacy nawet do około 90%. Porównując uzyskane rezultaty obliczeń dla wszystkich analizowanych zbiorników stwierdzono, że udział redukcji CO_2 w tworzeniu metanu był najwyższy w osadach zbiornika Maziarnia, a najniższy w osadach zbiornika Nielisz.

Analizując dane uzyskane dla powierzchniowych warstw osadów dennych (0 – 1 cm) nie znaleziono statystycznie istotnej korelacji pomiędzy temperaturą a mechanizmem tworzenia metanu. Jednak analizując wyniki obliczeń dla profili osadowych, zaobserwowano, że udział poszczególnych mechanizmów tworzenia metanu zmienia się wraz z porą roku. W zbiornikach Rzeszów i Maziarnia obserwowano wzrost znaczenia fermentacji octanowej latem w stosunku do wiosny. W zbiorniku Nielisz natomiast udział redukcji CO_2 był wyższy latem niż jesienią. Stwierdzono więc, że temperatura nie jest czynnikiem, który w sposób bezpośredni wpływa na źródło metanu w środowiskach słodkowodnych, a istotną rolę może natomiast odgrywać rodzaj materii organicznej zdeponowanej w osadach dennych.

W celu potwierdzenia powyższej hipotezy dotyczacej wpływu rodzaju materii organicznej na mechanizm tworzenia metanu, poszukiwano zależności pomiędzy obliczonym

udziałem redukcji CO_2 w całkowitym procesie metanogenezy a wskaźnikami wykorzystywanymi do określania pochodzenia materii organicznej. Biorąc pod uwagę dane uzyskane dla powierzchniowej 1 cm warstwy osadów dennych, uzyskano statystycznie istotną zależność pomiędzy udziałem metanogenezy hydrogenotroficznej w całkowitym procesie metanogenezy a wartościami $\delta^{13}C\text{-}C_{org}$, które są wyznacznikiem pochodzenia materii organicznej ($r = 0,620$; $p < 0,001$). Uzyskano korelację potwierdzającą, że materia pochodzenia autochtonicznego sprzyja fermentacji octanowej, zaś redukcja CO_2 nabiera znaczenia gdy przeważa trudniej rozkładalna materia pochodzenia lądowego.

W dostępnej literaturze można znaleźć również informacje, że jednym z czynników regulujących mechanizm tworzenia metanu może być odczyn osadów. Gdy pH jest niskie metanogeneza acetotroficzna wydaje się być mechanizmem dominującym, natomiast wysokie wartości pH sprawiają, że znaczenia nabiera metanogeneza hydrogenotroficzna. Analiza prezentowanych wyników badań dostarczyła jednak odmiennych informacji. Udział redukcji CO_2 w tworzeniu metanu osiągał bowiem najwyższe wartości w zbiorniku Maziarnia, w którym profile osadowe charakteryzowały się najniższymi wartościami pH spośród badanych zbiorników. Na podstawie danych dla dwóch najbardziej różniących się pod względem mechanizmu produkcji metanu zbiorników, otrzymano statystycznie istotną korelację ($r = 0,774$; $p < 0,001$), z której wynika, że znaczenie redukcji CO_2 w produkcji metanu obniżało się znacznie wraz ze wzrostem pH.

Uzyskane wartości $\delta^{13}C\text{-}CO_2$ w powierzchniowej warstwie osadów dennych wszystkich badanych zbiorników zaporowych zmieniały się w szerokim zakresie od -18,62 do -1,91‰. W profilach osadowych zbiorników Rzeszów, Maziarnia i Nielisz wartości $\delta^{13}C\text{-}CO_2$ mieściły się w zakresie od -18,32 do -1,32‰, przy czym obserwowano zazwyczaj wzbogacenie CO_2 w cięższy izotop węgla wraz z głębokością. Ditlenek węgla w osadach może pochodzić z mineralizacji materii organicznej, metanogenezy i rozkładu weglanów. Otrzymane wartości $\delta^{13}C\text{-}CO_2$ były więc rezultatem zmieszania CO_2 pochodzącego z tych źródeł. Można założyć, że w przypadku CO_2 pochodzącego z mineralizacji materii organicznej, skład izotopowy węgla będzie zbliżony do składu izotopowego węgla organicznego zdeponowanego w osadach dennych, ponieważ proces ten uwalnia do wody interstycjalnej rozpuszczony węgiel nieorganiczny, który jest izotopowo podobny do źródła. W przypadku badanych zbiorników średnie wartości $\delta^{13}C\text{-}C_{org.}$, za wyjątkiem zbiornika Besko, wahały się w zakresie od około -29 do około -21‰, były więc niższe od odnotowanych wartości $\delta^{13}C\text{-}CO_2$ co pozwoliło

przypuszczać, że mineralizacja materii organicznej nie była dominującym procesem w tworzeniu CO_2. Wyższe wartości $\delta^{13}C$-CO_2 mogą wskazywać, że w osadach badanych zbiorników CO_2 pochodził z rozkładu węglanów bądź procesu metanogenezy, bowiem CO_2 uwalniany przez metanogenezę jest wzbogacony w izotop ^{13}C w stosunku do węgla organicznego w osadach, a węglany które mogły być również źródłem CO_2 także charakteryzują się wysoką wartością δ^{13}. Zakładając, że źródłem CO_2 był rozkład węglanów, powinno się obserwować ujemną korelację pomiędzy $\delta^{13}C$-CO_2 i pH, a takiej analizując uzyskane wyniki nie stwierdzono. Na podstawie powyższego wysunięto hipotezę, że duży wkład w produkcję CO_2 w osadach dennych, zwłaszcza w głębszych warstwach, miał proces metanogenezy.

Dla potwierdzenia wcześniej postawionej hipotezy na temat wzrostu udziału procesu metanogenezy w produkcji CO_2 w głębszych partiach osadów, wyznaczono udział CO_2 pochodzącego z procesu metanogenezy. Stwierdzono, że w powierzchniowej 1 cm warstwie osadów dennych 23% do nawet 75% ditlenku węgla pochodziło z procesu metanogenezy. W zbiorniku zaporowym Rzeszów obserwowano wzrost ilości CO_2 produkowanego w wyniku metanogenezy w głębszych warstwach osadów, ponadto wyliczone udziały były znacznie wyższe wiosną niż latem. W profilach osadów pobranych ze zbiornika Maziarnia nie obserwowano ani znacznego wzrostu udziału CO_2 z procesu metanogenezy wraz z głębokością, ani znaczących różnic pomiędzy okresem wiosennym i letnim. W zbiorniku Nielisz natomiast proces metanogenezy miał mniejsze znaczenie w tworzeniu CO_2 w głębszych warstwach osadów niż w powierzchniowych oraz w okresie letnim niż jesiennym.

Analizując wpływ rodzaju materii organicznej na udział metanogenezy w tworzeniu CO_2 znaleziono statystycznie istotną korelację pomiędzy wartościami $\delta^{13}C$-$C_{org.}$ a udziałem CO_2 z metanogenezy ($r = 0,818$; $p < 0,001$), z której wynika, że ilość CO_2 produkowanego podczas metanogenezy osiągała wyższe wartości w przypadku kiedy zdeponowana w osadach dennych materia organiczna była bardziej uboga w cięższy izotop węgla czyli wykazywała pochodzenie allochtoniczne, dotyczyło to zwłaszcza głębszych warstw osadów.

Najważniejsze wnioski jakie wyciągnęłam po zakończeniu badań są następujące:

- zbiorniki zaporowe zlokalizowane w umiarkowanej strefie klimatycznej mogą być emiterami dużej ilości węglowych gazów cieplarnianych, zwłaszcza w okresie wegetacyjnym;

- duże zróżnicowanie przepływu metanu i ditlenku węgla przez granicę faz woda – atmosfera występuje nie tylko pomiędzy badanymi zbiornikami, ale również w obrębie jednego zbiornika podczas sezonu a nawet miesiąca;
- szybkość przepływu ditlenku węgla do atmosfery jest większa niż metanu. Biorąc jednak pod uwagę, że wpływ metanu na efekt globalnego ocieplenia jest 25 krotnie wyższy niż w przypadku ditlenku węgla, to odnotowywane wartości emisji tego gazu z powierzchni zbiorników zaporowych mają duże znaczenie w kontekście zanieczyszczenia atmosfery gazami cieplarnianymi;
- zdecydowanie wyższa emisja węglowych gazów cieplarnianych ma miejsce w zbiornikach wysoko eutroficznych. Szczególnie widoczne jest to w przypadku metanu, dla którego obserwowano wartości przepływu do atmosfery charakterystyczne dla dużych zbiorników zlokalizowanych w tropikalnej strefie klimatycznej;
- porównując wartości przepływu metanu i ditlenku węgla przez granicę faz woda – atmosfera z obliczonym dyfuzyjnym przepływem tych gazów przez granicę faz osad – woda nadosadowa, można przypuszczać, że głównym mechanizmem transportu metanu do atmosfery w płytkich zbiornikach zaporowych jest uwalnianie bąbli gazowych, a duża ilość ditlenku węgla produkowana jest w kolumnie wody;
- na szybkość przepływu węglowych gazów cieplarnianych przez granicę faz woda – atmosfera wpływa wiele czynników. W analizowanych zbiornikach za najważniejsze uznano: ilość i pochodzenie materii organicznej, wartość pH oraz poziom trofii;
- pomimo powszechnej opinii, że w słodkowodnych ekosystemach wodnych dominującym mechanizmem produkcji metanu jest fermentacja octanowa, wykazano, że redukcja ditlenku węgla może być równie istotnym mechanizmem produkcji tego gazu, który nabiera jeszcze większego znaczenia w głębszych partiach osadów dennych;
- temperatura nie jest czynnikiem, który w sposób bezpośredni wpływa na mechanizm produkcji metanu w środowiskach słodkowodnych, a sezonowy wpływ jest raczej efektem zróżnicowania jakościowego materii organicznej. Autochtoniczna materia organiczna produkowana podczas ciepłych, słonecznych dni w wyniku procesu

fotosyntezy sprzyja fermentacji octanowej, zaś metanogeneza hydrogenotroficzna nabiera znaczenia gdy przeważa trudniej rozkładalna materia pochodzenia lądowego;

- innym istotnym czynnikiem wpływającym na mechanizm produkcji metanu jest odczyn osadów. Wzrost wartości pH sprzyja fermentacji octanowej;
- ditlenek węgla w osadach dennych pochodzi nie tylko z procesu mineralizacji materii organicznej czy rozpuszczania węglanów, ale również spora jego ilość produkowana jest w wyniku procesu metanogenezy. W głębszych warstwach osadów znaczenie metanogenezy w produkcji ditlenku węgla jest wyższe;
- większa ilość zdeponowanej w osadach dennych materii organicznej pochodzenia allochtonicznego sprzyja wyższej produkcji ditlenku węgla w procesie metanogenezy.

Możliwość wykorzystania uzyskanych wyników

Uzyskane wyniki wzbogacają istniejącą wiedzę na temat funkcjonowania zbiorników zaporowych. Stanowią uzupełnienie podstawowej wiedzy na temat produkcji metanu i ditlenku węgla w ekosystemach wodnych oraz czynników kontrolujących ten proces. Dane na temat wielkości przepływów metanu i ditlenku węgla do atmosfery mogą być wykorzystane w obliczeniach ładunku węgla emitowanego do atmosfery ze zbiorników zaporowych w skali globalnej.

5. Omówienie pozostałych osiągnieć naukowo – badawczych

5.1. Działalność naukowo-badawcza prowadzona przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych

W roku 1994 rozpoczęłam studia na wydziale Chemicznym Politechniki Rzeszowskiej. Na ostatnim roku studiów zostałam zatrudniona na stanowisku asystenta stażysty w Zakładzie Inżynierii i Sterowania Procesami Chemicznymi. W tym samym Zakładzie realizowałam pracę dyplomową magisterską pt.: *„Optymalizacja wybranych procesów technologii chemicznej przy zastosowaniu obliczeń symulacyjnych"* pod kierunkiem dr inż. Aliny Jeżowskiej. Podstawowym celem pracy było wykonanie obliczeń symulacyjnych wybranych aparatów do wymiany masy oraz instalacji do produkcji 1-heksenu. Wykorzystywanym przeze mnie narzędziem

obliczeniowym był program symulacyjny HYSYS firmy Hyprotech. Pracę magisterską obroniłam w czerwcu 1999 roku.

W roku 2000 zostałam zatrudniona na stanowisku starszego technologa w Zakładzie Inżynierii i Chemii Środowiska na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej. Uczestniczyłam wówczas w organizowaniu laboratoriów dydaktycznych i badawczych oraz w zajęciach dydaktycznych prowadzonych w Zakładzie Inżynierii i Chemii Środowiska. Brałam również udział w pracach badawczych realizowanych przez zespół naukowy pana profesora Janusza Tomaszka. Okres ten był niezwykle ważny, ponieważ pozwolił mi zapoznać się z warsztatem pracy badawczej, doskonalić techniki analityczne i nauczył planowania eksperymentu.

W roku 2001 zostałam zatrudniona w tym samym Zakładzie na stanowisku asystenta. Od początku moje zainteresowania naukowe związane były z funkcjonowaniem zbiorników zaporowych. Pierwsze badania naukowe prowadzone pod nadzorem pana profesora Janusza Tomaszka dotyczyły m. in. zanieczyszczenia osadów dennych metalami ciężkimi oraz zanieczyszczenia wód zbiorników zaporowych związkami biogennymi. Wyniki prowadzonych badań opisano w publikacjach (załącznik 4, kod: II.A.16, II.A.17, II.A.18, II.A.19, II.A.20) i zaprezentowano na konferencjach naukowych (załącznik 4, kod: III.B.23, kod: III.B.24, kod: III.B.25, kod: III.B.26, kod: III.B.27). Moja aktywność naukowa charakteryzująca ten okres pracy została doceniona poprzez przyznanie mi w 2005 roku zespołowej nagrody JM Rektora Politechniki Rzeszowskiej za cykl publikacji na temat funkcjonowania i ochrony ekosystemów wodnych (załącznik 4, kod: II.K.7).

W między czasie zainteresowałam się zagadnieniami związanymi z przemianami azotu w ekosystemach wodnych oraz przeszłam szkolenie w zakresie obsługi zakupionego do Zakładu Inżynierii i Chemii Środowiska Izotopowego Spektrometru Masowego (DELTA^{PLUS} firmy Finnigan) wraz z oprzyrządowaniem w postaci analizatora węgla i azotu (Flash EA 1112 firmy ThermoQuest) oraz chromatografu gazowego (GC/CIII). Uzyskanie projektu badawczego nr rej.6 P04G 127 21, pt. *„Współzależność procesów nitryfikacji, denitryfikacji i amonifikacji azotanów w przekształceniu azotu na granicy faz woda-osady denne w zbiornikach zaporowych"* (załącznik 4, kod: II.J.6), w którym byłam wykonawcą, umożliwiło mi prowadzenie badań naukowych zgodnych z profilem zainteresowań. Wyniki uzyskane podczas realizacji projektu pozwoliły mi otworzyć przewód doktorski na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej i stały się podstawą do przygotowania, uzyskania i realizacji

kolejnego projektu badawczego promotorskiego nr rej. 3 T09C 049 27, pt. *„Badania procesów denitryfikacji i dysymilacyjnej redukcji azotanów do azotu amonowego w osadach dennych zbiorników zaporowych"* (załącznik 4, kod: II.J.5), którego byłam głównym wykonawcą. Realizacja założonych w projektach zadań pozwoliła mi na przygotowanie rozprawy doktorskiej pt. *„Badania procesów denitryfikacji i dysymilacyjnej redukcji azotanów do azotu amonowego w osadach dennych zbiorników zaporowych"*, której promotorem był dr hab. inż. Janusz Tomaszek, prof. PRz. Opisane w pracy doktorskiej zagadnienia dotyczyły dwóch niezwykle istotnych, konkurencyjnych procesów dysymilacyjnej redukcji azotanów, a mianowicie denitryfikacji i dysymilacyjnej redukcji azotanów do azotu amonowego (DNRA). O ile pierwszy proces prowadzi do powstawania produktów gazowych (N_2, N_2O), co powoduje zmniejszenie zawartości azotu w ekosystemach wodnych i tym samym zapobiega niekorzystnym skutkom nadmiernych ilości tego biogenu, to w wyniku drugiego procesu azot zostaje zatrzymany w ekosystemach wodnych jako azot amonowy i nadal dostępny jest w łańcuchu pokarmowym. W celu rozpoznania mechanizmów powyższych przemian azotanów zastosowałam najnowszą (nie stosowaną wcześniej w Polsce) technikę pomiarową opartą na wprowadzeniu do układu stabilnego izotopu azotu (w postaci $K^{15}NO_3$) i śledzenie ścieżki jego przekształceń. Uzyskane wyniki badań pozwoliły stwierdzić, że dominującym procesem w badanych zbiornikach zaporowych był proces denitryfikacji, którego szybkość osiągała wartości charakterystyczne dla ekosystemów zeutrofizowanych. W związku z tym, że szybkość denitryfikacji połączonej z nitryfikacją (D_n) osiągała znacznie niższe wartości niż denitryfikacja azotanów z wody (D_w), ustaliłam, że głównym źródłem azotanów w procesie denitryfikacji są azotany dyfundujące do osadów z wody nadosadowej, przy czym wyższa temperatura i niższe stężenie tlenu rozpuszczonego w wodzie wyraźnie sprzyjają D_w. Wykazałam również, że czynniki abiotyczne takie jak temperatura, zawartość materii organicznej, stężenie azotanów w wodzie nadosadowej oraz stosunek węgla organicznego do azotu ogólnego w osadach dennych wpływały zarówno na szybkości badanych procesów jak również na ich konkurencyjność w redukcji azotanów.

Pracę doktorską obroniłam w listopadzie 2005 roku uzyskując dyplom doktora nauk technicznych w zakresie inżynierii środowiska, nadany uchwałą Rady Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej. Wyniki uzyskane podczas prac badawczych przeprowadzonych w okresie realizacji pracy doktorskiej zostały opisane w następujących publikacjach (załącznik 4, kod: II.A.8, II.A.9, II.A.10, II.A.13 II.A.14, II.A.15) oraz zaprezentowane

na konferencjach naukowych o zasięgu krajowym i międzynarodowym (załącznik 4, kod: III.B.5, III.B.7, III.B.8, III.B.9, III.B.10, III.B.11, III.B.18, III.B.19, III.B.21, III.B.22). Za uzyskanie stopnia naukowego doktora otrzymałam w 2006 roku indywidualną nagrodę JM Rektora Politechniki Rzeszowskiej (załącznik 4, kod: II.K.6).

5.2. Działalność naukowo-badawcza prowadzona po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

Po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych zostałam zatrudniona na stanowisku adiunkta i od 2006 r. do chwili obecnej pracuję na tym stanowisku w Katedrze Inżynierii i Chemii Środowiska na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej.

Przez cały okres pracy moje zainteresowania naukowe dotyczyły zagadnień ściśle związanych z funkcjonowaniem ekosystemów wodnych. Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora podejmowana przeze mnie problematyka badań rozszerzona została m.in. o zagadnienia związane ze skutkami eutrofizacji zbiorników zaporowych. Obserwowałam kierunki i skutki przemian eutroficznych azotu i węgla w osadach dennych zbiorników wodnych oraz zajmowałam się badaniem mechanizmów procesów rozkładu materii organicznej zdeponowanej w osadach dennych, które prowadzą do powstawania dwóch głównych gazów cieplarnianych: metanu i ditlenku węgla. Podjęłam również próbę określenia źródeł azotanów spływających ze zlewni do ekosystemów wód płynących, na przykładzie rzeki San. W swoich badaniach naukowych wykorzystywałam przede wszystkim izotopową spektrometrię masową, gdyż badania występujących naturalnie w środowisku stabilnych izotopów pierwiastków, które biorą udział w przemianach biogeochemicznych (C, N, O, S, H) pozwalają bardzo precyzyjnie odpowiedzieć na pytania m. in. o pochodzenie substancji, kierunki migracji, czy przyczyny wzrostu lub spadku stężenia substancji w środowisku.

Już w trakcie przygotowywania pracy doktorskiej rozpoczęłam wraz z zespołem realizację projektu badawczego nr rej. 2 PO4G 084 27, pt. *„Biogeochemiczne bilanse masowe C, N, P i Si, dystrybucja oraz związki pomiędzy izotopowymi składnikami materii organicznej w ekosystemach kaskady zbiorników zaporowych Solina – Myczkowce"* (załącznik 4, kod: II.J.4). Realizując założone w projekcie zadania, prowadziłam obserwację stosunków elementarnych C:N oraz stosunków izotopowych $\delta^{15}N$ i $\delta^{13}C$ w osadach dennych, pozwalającą

na ocenę sezonowego zróżnicowania materii organicznej oraz identyfikację obszarów deponowania materii organicznej pochodzenia lądowego w porównaniu z produkcją wewnętrzną zbiorników oraz określenie stopnia rozkładu materii organicznej. Analiza wzajemnej relacji mineralnych i organicznych form związków azotu i węgla w toni wodnej a także ich skład izotopowy pozwoliły określić ich wpływ na produkcję materii organicznej sedymentującej z toni wodnej zbiorników. Uzyskane wyniki badań pozwoliły wyznaczyć strefy akumulacji materii organicznej pochodzenia terygenicznego, którymi są górne odnogi zbiornika Solina oraz zbiornik Myczkowce. W osadach centralnego akwenu Soliny stwierdzono znaczny udział materii pochodzenia autochtonicznego, a dzięki znajomości wertykalnych zmian składu elementarnego i izotopowego węgla organicznego i azotu ogólnego w profilach osadowych stwierdzono, że tam też z większą szybkością zachodzi dekompozycja materii organicznej. Oszacowano, że największe ilości materii odkładają się w osadach dennych w okresie wiosny, głównie w górnych odnogach zespołu zbiorników. Uzyskane przeze mnie wyniki prac badawczych zostały m. in. opisane publikacjach (załącznik 4, kod: II.A.7, II.A.12, II.E.10) oraz zaprezentowane na konferencjach naukowych o zasięgu krajowym i międzynarodowym (załącznik 4, kod: III.B.4, III.B.6, III.B.17).

Kolejnym kierunkiem rozwoju naukowego, który podjęłam i zaczęłam zgłębiać w dalszych latach mojej pracy była tematyka związana z pochodzeniem azotanów w wodach powierzchniowych. Azotany z uwagi na stopień utlenienia są najbardziej reaktywną formą azotu. Jako aniony charakteryzują się znaczną mobilnością związaną z niewielką podatnością na adsorpcję przez koloidy glebowe. Są formą bardzo dobrze rozpuszczalną, co wiąże się z łatwym ich przenikaniem do wód powierzchniowych i gruntowych. Azotany znajdujące się w wodach naturalnych w zbyt wysokich stężeniach stanowią znaczne niebezpieczeństwo z uwagi na przemiany metaboliczne, jakim mogą one ulegać w organizmach ludzi, szczególnie niemowląt, a także mogą przyczyniać się do wzmożonej eutrofizacji ekosystemów wodnych. Ze względu na bardzo dużą wagę problemu państwa członkowskie Unii Europejskiej wprowadziły tzw. Dyrektywę Azotanową, której celem było zmniejszenie zanieczyszczenia wody spowodowanego lub wywołanego przez azotany pochodzące ze źródeł rolniczych oraz zapobieganie dalszemu zanieczyszczeniu. Decyzją Dyrektorów poszczególnych Regionalnych Zarządów Gospodarki Wodnej zostały więc wyznaczone obszary, gdzie środowisko wodne zostało zanieczyszczone związkami azotowymi lub jest zagrożone takim zanieczyszczeniem. Długoletnie doświadczenie badawcze związane z tematyką zanieczyszczenia ekosystemów

wodnych związkami biogennymi pokazało, że stężenia azotanów w wodach powierzchniowych identyfikowane są w szerokich zakresach i bardzo często nie obserwuje się ich sezonowości, co świadczy o nadmiarze i antropogenicznym pochodzeniu tej formy azotu. Uznałam więc, że pełne rozpoznanie źródeł pochodzenia azotanów znajdujących się w wodach powierzchniowych i wyznaczenie jaka ich część pochodzi z przemian zachodzących w glebie, ile z nawozów mineralnych, organicznych, ścieków komunalnych, atmosfery itp. będzie niezwykle istotne w kontekście podjęcia prób ograniczania niepożądanych ładunków azotanów i właściwej gospodarki na terenie zlewni. Stało się to podstawą o ubieganie się o przyznanie środków finansowych na realizację takich badań. W roku 2006 zespół pod kierownictwem dr hab. inż. Piotra Koszelnika, prof. PRz rozpoczął realizację projektu badawczego nr rej. 1 T09D 060 30, pt. *„Analiza źródeł pochodzenia azotanów w wodach powierzchniowych zlewni rzeki San w oparciu o badania stosunków izotopowych azotu i tlenu"* (załącznik 4, kod: II.J.3), w którym byłam jednym z wykonawców. Identyfikacji pochodzenia azotanów dokonano na podstawie badań stabilnych izotopów azotu i tlenu w jonie NO_3^-. Dotychczas takie badania prowadzono jedynie w kilku ośrodkach m.in. na terenie Stanów Zjednoczonych oraz Kanady i często ograniczały się one do rozpatrywania wyłącznie stosunków izotopowych azotu. W trakcie realizacji grantu byłam osobą odpowiedzialną za modyfikację dostępnych w literaturze metod badawczych w zakresie analizy $\delta^{18}O$ i $\delta^{15}N$, wykonanie analiz stabilnych izotopów azotu i tlenu w pobranych próbkach środowiskowych i materiale wzorcowym oraz analizę uzyskanych wyników badań. Uzyskane wyniki badań pozwoliły stwierdzić, że udział azotanów pochodzących z naturalnych procesów nitryfikacji w glebie był w bilansie rocznym największy i wynosił 52,7%. Kolejnym znaczącym źródłem były spływy związane z nawożeniem nawozami naturalnymi i zrzutami ścieków komunalnych (40,6%). Opady atmosferyczne wnosiły mniejszy wkład na poziomie 6,7%. Na tej podstawie wyciągnięto wniosek, że dobra praktyka rolnicza i budowa oczyszczalni ścieków mogą istotnie wpłynąć na ograniczanie dostawy azotu azotanowego do wód rzeki San i tym samym do zbiornika zaporowego Solina, co może spowodować obniżenie intensywności produkcji pierwotnej i gromadzenia się osadów dennych. Uzyskane rezultaty opisano m.in. w następujących publikacjach (załącznik 4, kod: II.A.3, II.E.9) oraz zaprezentowano na konferencji naukowej (załącznik 4, kod: III.B.20). Prowadzona przeze mnie w tym okresie działalność naukowa została doceniona poprzez przyznanie mi dwóch nagród Rektora Politechniki Rzeszowskiej. W roku 2008 była to zespołowa nagroda I stopnia za cykl publikacji

naukowych dotyczących usuwania pierwiastków biogennych ze ścieków oraz analizy ich przekształceń w ekosystemach, a w roku 2009 była to zespołowa nagroda II stopnia za cykl publikacji naukowych dotyczących innowacyjnych badań w zakresie ochrony głównych elementów środowiska naturalnego (załącznik 4, kod: II.K.4, II.K.5).

W dalszym etapie pracy zawodowej zainteresowałam się zagadnieniem związanymi z emisją gazów cieplarnianych ze zbiorników zaporowych. Skłoniło mnie to do przygotowania wspólnie z Prof. dr. hab. inż. Januszem Tomaszkiem wniosku na realizację zaplanowanych w tym zakresie badań naukowych. W roku 2009 wraz z zespołem rozpoczęłam realizację przyznanego grantu nr rej. N N305 077836, pt. *„Emisja węglowych gazów szklarniowych ze zbiorników zaporowych"* (załącznik 4, kod: II.J.2). Powody, dla których podjęłam się realizacji tych badań przedstawiłam na początku niniejszego autoreferatu w rozdziale 4.b, opisując badania zaprezentowane w monografii pt. *„Dynamika węglowych gazów cieplarnianych w zbiornikach zaporowych: mechanizmy produkcji, emisja do atmosfery"*, którą wskazałam jako dzieło będące podstawą do ubiegania się o uzyskanie stopnia naukowego doktora habilitowanego. Powyższa monografia stanowi podsumowanie badań prowadzonych w trakcie realizacji tego projektu badawczego. Inne opublikowane dotychczas prace dotyczą zagadnień nie ujętych w monografii, bądź zawierają wyniki uzyskane w trakcie badań wstępnych. Z uwagi na bardzo szeroki wachlarz realizowanych prac badawczych, prezentowane w pozostałych publikacjach zagadnienia dotyczyły zarówno tematyki bezpośrednio określonej w projekcie, jak również obejmowały zagadnienia poboczne. Przygotowane publikacje dotyczące emisji węglowych gazów cieplarnianych zawierają: przegląd literatury na ten temat (załącznik 4, kod: II.E.6), wstępne wyniki badań prowadzonych dla zbiorników w Solinie, Rzeszowie i Wilczej Woli dotyczących przepływu metanu i ditlenku węgla przez granicę faz osad – woda nadosadowa (załącznik 4, kod: II.A.6), wstępne wyniki badań prowadzonych dla zbiorników w Solinie, Rzeszowie i Wilczej Woli dotyczących przepływu metanu i ditlenku węgla przez granicę faz woda – atmosfera (załącznik 4, kod: II.E.8), wyniki badań dotyczących emisji metanu do atmosfery ze zbiornika Nielisz i mechanizmów jego produkcji w pierwszym roku badawczym (załącznik 4, kod: II.A.5), podsumowanie badań dotyczących emisji metanu i ditlenku węgla przez granicę faz osad – woda nadosadowa i mechanizmów ich produkcji w osadach dennych zbiornika zaporowego Rzeszów (załącznik 4, kod: II.A.2) oraz analizę wpływu stanu troficznego zbiorników zaporowych na emisję węglowych gazów cieplarnianych (załącznik 4, kod: II.E.2). Pozostałe

publikacje dotyczą analizy stanu troficznego badanych zbiorników (załącznik 4, kod: II.E.4, II.E.7) oraz określenia pochodzenia materii organicznej zdeponowanej w osadach dennych, co jak wykazano ma istotne znaczenie w produkcji węglowych gazów cieplarnianych (załącznik 4, kod: II.E.5). Uzyskane wyniki prac badawczych prezentowane były również na konferencjach naukowych o zasięgu krajowym i międzynarodowym (załącznik 4, kod: III.B.3, kod: III.B.13, III.B.14, III.B.15, III.B.16). Moja działalność naukowa w tym okresie została uhonorowana przyznaniem dwóch nagród Rektora Politechniki Rzeszowskiej. W roku 2010 otrzymałam zespołowa nagrodę II stopnia za cykl publikacji naukowych dotyczących innowacyjnych metod monitoringu i ochrony ekosystemów wodnych, a w roku 2012 otrzymałam zespołowa nagrodę II stopnia za cykl publikacji naukowych dotyczących technologicznych i metodycznych aspektów ochrony naturalnego środowiska wodnego (załącznik 4, kod: II.K.2, II.K.3).

Ostatnim dotychczas etapem mojej działalności naukowej był i jest udział od 2012 roku w projekcie badawczym nr rej. 2011/03/B/ST10/04998, kierowanym przez dr hab. inż. Piotra Koszelnika, prof. PRz pt.: *„Badania odporności na degradację oraz możliwości rekultywacji zbiorników wodnych małej retencji z wykorzystaniem preparatów wapniowych"* (załącznik 4, kod: II.J.1). Jako jeden z wykonawców jestem osobą odpowiedzialną za analizę intensywności procesów eutrofizacji badanych zbiorników na podstawie ilościowej oceny wkładu autochtonicznej materii organicznej zdeponowanej w osadach dennych i zawiesinie, zewnętrznego obciążenia związkami biogennymi oraz dystrybucji związków biogennych w obrębie zbiornika. Jest to związane m. in. z wykonywaniem analiz zawartości węgla organicznego i azotu ogólnego oraz wyznaczaniem wartości $\delta^{13}C$ i $\delta^{15}N$ w pobieranych do badań próbkach osadów dennych i zawiesiny. Realizacja tego projektu zakończy się w grudniu 2015 roku. Uzyskane dotychczas wyniki badań są w dalszym ciągu analizowane i interpretowane w odniesieniu do założonych celów. Wybrane rezultaty prowadzonych prac badawczych zostały do tej pory zaprezentowane w jednej publikacji, której jestem współautorem (załącznik 4, kod: II.A.1) i zaprezentowane na dwóch konferencjach o zasięgu międzynarodowym (załącznik 4, kod: III.B.1, III.B.2) i jednej o zasięgu krajowym (załącznik 4, kod: III.B.12). Kolejne publikacje są w trakcie przygotowywania. Za cykl publikacji naukowych z zakresu innowacyjnych metod ochrony i zarządzania ekosystemami wodnymi otrzymałam w roku 2014 zespołową nagrodę Rektora Politechniki Rzeszowskiej II stopnia (załącznik 4, kod: II.K.1).

Poza opisaną powyżej działalnością naukową, brałam również udział w pracach zespołu, który realizował badania w ramach projektu badawczego zamawianego pt.: *„Nowe preparaty biotechnologiczne i chemiczne dla znaczącego zmniejszenia odorów w procesach utylizacji i składowania odpadów powstających na oczyszczalniach ścieków"* (nr rej. G006/T02/2007). Efektem tej współpracy była publikacja naukowa (załącznik 4, kod: II.A.4).

Współpraca międzynarodowa, którą podejmowałam w okresie pracy naukowej opierała się przede wszystkim na kontaktach z partnerami zagranicznymi w ramach przygotowywania wniosku na potrzeby konkursu Komisji Europejskiej w ramach 7 Programu Ramowego: *„Integration of research entities from the EU's Convergence and Outermost regions in the ERA and enhancement of their innovation potential"*. W roku 2011 współpracowałam z partnerami z Holandii (Delft University of Technology, Netherlands Institute of Ecology), Włoch (University of Cagliari, University of Florence) i Szwecji (University of Uppsala) nad przygotowaniem projektu pt.: „Advanced wastewater treatment technologies and integrated management of water ecosystems" (FP7-REGPOT-2012-2013-1) (załącznik 4, kod: III.E.2). Zostałam zgłoszona w projekcie jako lider dwóch zadań. Projekt uzyskał pozytywne rekomendacje (10 punktów na 15 możliwych do zdobycia) jednak ostatecznie niestety nie uzyskał finansowania.

Uczestniczyłam w przygotowaniu we współpracy z Uniwersytetem Rzeszowskim, Uniwersytetem Rolniczym w Krakowie i firmą Iniko Sp. z o. o. projektu na potrzeby konkursu NCBiR w ramach programu Biostrateg (załącznik 4, kod: III.E.1).

Zarówno przed, jak i po uzyskaniu stopnia naukowego doktora współpracowałam z podmiotami gospodarczymi wykonując badania przemysłowe, co zaowocowało niewymiernym skutkiem poprzez zwiększenie doświadczenia zawodowego. W sumie wykonałam 18 opracowań na zamówienie (załącznik 4, kod: III.M.1-18).

5.3. Podsumowanie dorobku naukowego

Przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora byłam współautorem **5** artykułów opublikowanych w czasopismach wyróżnionych w bazie JCR oraz **6** publikacji zamieszczonych w materiałach konferencyjnych. Wyniki moich prac badawczych prezentowane były na **4** konferencjach międzynarodowych i **3** konferencjach krajowych. Byłam współwykonawcą **8**

opracowań naukowo-badawczych na rzecz podmiotów gospodarczych. Uczestniczyłam w **3** projektach badawczych.

Efektem mojej pracy naukowo – badawczej po uzyskaniu stopnia naukowego doktora są **24** publikacje z czego **15** to artykuły opublikowane w czasopismach wyróżnionych w bazie JCR, **1** monografia, **2** rozdziały w monografii, **5** publikacji zamieszczonych w czasopismach nie wyróżnionych w bazie JCR, ale znajdujących się na liście MNiSW i **2** publikacje w niepunktowanych czasopismach o zasięgu krajowym, **2** publikacje zamieszczone w materiałach konferencyjnych. Aktywnie uczestniczyłam w **2** konferencjach międzynarodowych i **6** krajowych, a wyniki moich prac badawczych prezentowane były na **7** konferencjach międzynarodowych i **8** konferencjach krajowych. Byłam członkiem zespołu badawczego w **4** projektach badawczych oraz współwykonawcą **10** opracowań naukowo-badawczych na rzecz podmiotów gospodarczych.

IF publikacji zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **11,469** (aktualny **IF = 17,308**, **IF_5 = 14,61**). Liczba punktów MNiSW wg punktacji zgodnie z rokiem opublikowania wynosi **295**.

Tabela 1. Zestawienie rodzajowe dorobku naukowego

Lp.	Rodzaj publikacji	Przed doktoratem	Po doktoracie	Ogółem
1.	Publikacje w czasopismach wyróżnionych w bazie JCR	5	15	20
2.	Publikacje w czasopismach punktowanych nie wyróżnionych w bazie JCR	-	5	5
3.	Publikacje w czasopismach nie punktowanych	-	2	2
4.	Rozdziały w monografiach	-	2	2
5.	Monografia	-	1	1
6.	Publikacje w materiałach konferencyjnych	6	2	8
	Łącznie	**11**	**27**	**38**
7.	Opracowania na rzecz podmiotów gospodarczych	8	10	18

Tabela 2. Wykaz czasopism i wydawnictw, w których opublikowano oryginalne prace naukowe

Lp.	Rodzaj czasopisma lub wydawnictwa	Liczba opublikowanych prac	Język publikacji
Czasopisma z listy Journal Citation Reports (JCR) – lista A			
1.	Environ. Sci.: Processes Impacts	1	angielski
2.	Environment Protection Engineering	9	angielski
3.	Environmental Technology	1	angielski
4.	Marine and Freshwater Research	2	angielski
5.	Oceanological and Hydrobiological Studies	2	angielski
6.	Polish Journal of Environmental Study	1	angielski
7.	Przemysł Chemiczny	2	polski
8.	Rocznik Ochrona Środowiska	1	angielski
9.	Water, Air and Soil Pollution	1	angielski
Czasopisma nie wyróżnione na liście Journal Citation Reports (JCR) – lista B			
10.	Czasopismo Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury	1	polski
11.	Gaz, Woda i Technika Sanitarna	1	polski
12.	Inżynieria Ekologiczna	1	polski
13.	Inżynieria i Ochrona Środowiska	1	polski
14.	Limnological Review	1	angielski
Monografia			
15.	Dynamika węglowych gazów cieplarnianych w zbiornikach zaporowych: mechanizmy produkcji, emisja do atmosfery	1	angielski
Rozdziały w monografiach			
16.	Anthropogenic and natural transformations of lakes Polskie Towarzystwo Limnologiczne	1	polski
17.	Zaopatrzenie w wodę, jakość i ochrona wód PZiTS Poznań	1	polski
Inne			
18.	Biuletyn Studenckiego Koła Naukowego Budownictwa i Inżynierii Środowiska	2	polski
19.	Materiały konferencyjne	8	polski

Tabela 3. Udział w konferencjach

	Konferencje międzynarodowe	Konferencje krajowe
Prezentowane wyniki badań	11	16
Udział	2	9

Tabela 4. Wskaźniki oceny dorobku naukowego

	Web of Science	Scopus	Publish or Perish
Sumaryczna liczba cytowań	39	50	88
Liczba cytowań bez autocytowań	30	36	-
Liczba artykułów w bazie	15	20	33
Index Hirsha	4	4	5

W trakcie pracy naukowej uczestniczyłam w sześciu projektach badawczych:

2012-2015 Projekt badawczy NCN nr rej. 2011/03/B/ST10/04998, pt. „Badania odporności na degradację oraz możliwości rekultywacji zbiorników wodnych małej retencji z wykorzystaniem preparatów wapniowych" – **wykonawca**.

2009-2012 Projekt badawczy nr rej. N N305 077836, pt. „Emisja węglowych gazów szklarniowych ze zbiorników zaporowych" – **główny wykonawca**.

2006-2008 Projekt badawczy nr rej. 1 T09D 060 30, pt. „Analiza źródeł pochodzenia azotanów w wodach powierzchniowych zlewni rzeki San w oparciu o badania stosunków izotopowych azotu i tlenu" – **wykonawca**.

2004-2007 Projekt badawczy nr rej. 2 PO4G 084 27, pt. „Biogeochemiczne bilanse masowe C, N, P i Si, dystrybucja oraz związki pomiędzy izotopowymi składnikami materii organicznej w ekosystemach kaskady zbiorników zaporowych Solina – Myczkowce" – **wykonawca**.

2004-2005 Projekt badawczy nr rej. 3 T09C 049 27, pt. „Badania procesów denitryfikacji i dysymilacyjnej redukcji azotanów do azotu amonowego w osadach dennych zbiorników zaporowych" – **główny wykonawca**.

2001-2003 Projekt badawczy nr rej.6 P04G 127 21, pt. „Współzależność procesów nitryfikacji, denitryfikacji i amonifikacji azotanów w przekształceniu azotu na granicy faz woda- osady denne w zbiornikach zaporowych" – **wykonawca**.

Za działalność naukową byłam siedmiokrotnie nagradzana nagrodami Rektora Politechniki Rzeszowskiej:

2014 Nagroda JM Rektora Politechniki Rzeszowskiej za cykl publikacji naukowych z zakresu innowacyjnych metod ochrony i zarządzania ekosystemami wodnymi, nagroda zespołowa II stopnia.

2012 Nagroda JM Rektora Politechniki Rzeszowskiej za cykl publikacji naukowych dotyczących technologicznych i metodycznych aspektów ochrony naturalnego środowiska wodnego, nagroda zespołowa II stopnia.

2010 Nagroda JM Rektora Politechniki Rzeszowskiej za cykl publikacji naukowych dotyczących innowacyjnych metod monitoringu i ochrony ekosystemów wodnych, nagroda zespołowa II stopnia.

2009 Nagroda JM Rektora Politechniki Rzeszowskiej za cykl publikacji naukowych dotyczących innowacyjnych badań w zakresie ochrony głównych elementów środowiska naturalnego, nagroda zespołowa II stopnia.

2008 Nagroda JM Rektora Politechniki Rzeszowskiej za cykl publikacji naukowych dotyczących usuwania pierwiastków biogennych ze ścieków oraz analizy ich przekształceń w ekosystemach, nagroda zespołowa I stopnia.

2006 Nagroda JM Rektora Politechniki Rzeszowskiej za uzyskanie stopnia naukowego doktora, nagroda indywidualna III stopnia.

2005 Nagroda JM Rektora Politechniki Rzeszowskiej za cykl publikacji na temat funkcjonowania i ochrony ekosystemów wodnych, nagroda zespołowa III stopnia.

Jestem autorem recenzji publikacji zgłoszonych do takich czasopism naukowych jak: Environmental Science: Processes & Impacts, Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture, Polish Journal of Environmental Study (załącznik 4, kod: III.P.1, III.P.2, III.P.3).

6. Informacje o działalności dydaktycznej i organizacyjnej

6.1. Działalność dydaktyczna

Działalność dydaktyczną rozpoczęłam w roku 2001 w Zakładzie Inżynierii i Chemii Środowiska na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej. Pracując na stanowisku asystenta prowadziłam następujące zajęcia dydaktyczne na kierunku inżynieria środowiska i kierunku budownictwo (studia stacjonarne i niestacjonarne):

- *Chemia ogólna i sanitarna* – ćwiczenia rachunkowe i laboratoryjne (Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, kierunek: inżynieria środowiska),

- *Chemia* – ćwiczenia laboratoryjne (Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, kierunek: budownictwo).

Aktywnie uczestniczyłam w opracowywaniu programu kształcenia i organizacji laboratorium do prowadzenia zajęć z *„Chemii"* na kierunku budownictwo.

Po uzyskaniu stopnia doktora prowadziłam i/lub prowadzę zajęcia dydaktyczne na kierunkach: inżynieria środowiska, ochrona środowiska i budownictwo (studia stacjonarne i niestacjonarne I i II stopnia) z następujących przedmiotów:

- *Chemia ogólna i sanitarna* – wykłady, ćwiczenia rachunkowe i laboratoryjne (Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, kierunek: inżynieria środowiska),
- *Chemia* – wykłady, ćwiczenia laboratoryjne (Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, kierunek: budownictwo),
- *Odpady przemysłowe* – wykłady, zajęcia projektowe (Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, kierunek: inżynieria środowiska),
- *Odpady przemysłowe i niebezpieczne* – wykłady (Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, kierunek: inżynieria środowiska),
- *Chemia środowiska* – wykłady, ćwiczenia laboratoryjne (Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, kierunek: inżynieria środowiska),
- *Procesy jednostkowe w technologiach środowiskowych* – wykłady, ćwiczenia rachunkowe i laboratoryjne (Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, kierunek: ochrona środowiska),
- *Zagrożenia chemiczne ekosystemów* – wykłady, zajęcia projektowe (Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, kierunek: ochrona środowiska),

Opracowałam autorski program wykładów i ćwiczeń z przedmiotów: *„Odpady przemysłowe"*, *„Odpady przemysłowe i niebezpieczne"*, *„Chemia środowiska"*, *„Procesy jednostkowe w technologiach środowiskowych"* i *„Zagrożenia chemiczne ekosystemów"*. Brałam również czynny udział w opracowaniu planów studiów i treści kształcenia dla studiów I stopnia na kierunku ochrona środowiska w ramach realizacji projektu pt. "Rozszerzanie i wzmocnienie oferty edukacyjnej oraz poprawa jakości kształcenia na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury w Politechnice Rzeszowskiej" współfinansowanego ze

środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki – Priorytet IV (nr umowy 6/POKL4.1.1-103/2009).

W roku akademickim 2012/2013 realizując projekt pt. „Zainwestuj w siebie" w ramach umowy nr UDA-POKL.04.01.02-00-098/12-00; zadanie 3, prowadziłam wykłady pt.: „Problemy ochrony środowiska w UE i Polsce w gospodarce odpadami elektronicznymi", dla studentów pierwszego roku studiów na kierunkach: automatyka i robotyka, energetyka i informatyka (Wydział Elektrotechniki i Informatyki).

Ponadto, w latach 2014 – 2015, w ramach realizacji projektu pt. „Kształcenie innowacyjnych kadr GOW w Politechnice Rzeszowskiej" w ramach umowy nr UDA-POKL.04.01.03.00-00-036/12; zadanie 5 poz. 37, prowadziłam zajęcia wyrównawcze z *„Chemii"* dla studentów Wydziału Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury na kierunku inżynieria środowiska.

Jestem współautorką skryptu: Koszelnik P., Czerwieniec E. **Gruca-Rokosz R.**: *Chemia sanitarna z elementami chemii analitycznej*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2012. Za współautorstwo skryptu otrzymałam w 2013 r. zespołową Nagrodę JM Rektora Politechniki Rzeszowskiej.

W latach 2007 – 2015 byłam opiekunem naukowym 24 prac inżynierskich i 26 prac magisterskich na kierunku inżynieria środowiska oraz 3 prac inżynierskich na kierunku ochrona środowiska. Obecnie sprawuję opiekę nad realizacją 5 prac magisterskich oraz 4 prac inżynierskich. Niektóre prace dyplomowe skutkowały wspólnymi ze studentami publikacjami w Biuletynie Studenckiego Koła Naukowego Budownictwa i Inżynierii Środowiska PRz (załącznik 4, kod: II.E.3, II.E.10). Powierzono mi recenzję 6 prac dyplomowych magisterskich na kierunku inżynieria środowiska, 9 prac dyplomowych inżynierskich na kierunku inżynieria środowiska i 7 inżynierskich na kierunku ochrona środowiska.

6.2. Działalność organizacyjna i popularyzatorska

Podczas swojej pracy zawodowej czynnie uczestniczyłam w działaniach na rzecz Wydziału Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej (w szczególności Katedry Inżynierii i Chemii Środowiska). Najważniejsze działania organizacyjne to:

- W latach 2001, 2003, 2006, 2008, 2010 i 2013 byłam członkiem komitetu organizacyjnego cyklicznej Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej: *„Postęp w Inżynierii Środowiska"* w Polańczyku, organizowanej przez Zakład/Katedrę Inżynierii i Chemii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej. W roku 2006 i 2008 byłam sekretarzem tej konferencji.
- Aktywnie uczestniczę w pracach organizacyjnych Katedry Inżynierii i Chemii Środowiska w ramach przygotowywania i rozliczania umów dotyczących działalności dydaktycznej i statutowej.
- Od 2001 roku jestem osobą odpowiedzialną za wprowadzanie pozycji dorobku naukowego pracowników Zakładu/Katedry Inżynierii i Chemii Środowiska do ogólnouczelnianego programu *„Publikacje"*.
- Kilkakrotnie aktywnie uczestniczyłam w przygotowywaniu wniosków o finansowanie projektów badawczych (KBN, MNiSW, NCN) oraz w opracowaniu rocznych i końcowych raportów finansowych i merytorycznych dla przyznanych projektów.
- Aktywnie uczestniczyłam w pozyskiwaniu środków na wyposażenie laboratoriów badawczych i dydaktycznych Katedry Inżynierii i Chemii Środowiska (m. in. z MNiSW). W 2007 roku samodzielne przygotowałam wniosek o przyznanie subwencji ze środków Fundacji na rzecz Nauki Polskiej na doposażenie laboratorium Zakładu Inżynierii i Chemii Środowiska (Program NOVUM). Dzięki także mojej pracy zasoby Katedry zostały wzbogacone w ostatnich latach o najnowocześniejszy sprzęt badawczy (m. in. chromatograf jonowy, GC-MSn, ICP) na łączną kwotę ok. 5 mln zł.
- Od 2008 roku uczestniczę w pracach organizacyjnych przy egzaminie wstępnym z predyspozycji architektonicznych i uzdolnień plastycznych dla kandydatów na kierunek: architektura i urbanistyka.
- W latach 2011 – 2015 pełniłam funkcję opiekuna roku na kierunku ochrona środowiska.
- Od roku 2012 jestem członkiem Komitetu Redakcyjnego Czasopisma Inżynierii Lądowej, Środowiska i Architektury, JCEEA (stary tytuł – do roku 2012 – Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Budownictwo i Inżynieria Środowiska), czasopismo z Listy B MNiSW (5 pkt. w 2014 r.).

- Od roku 2012 jestem członkiem Wydziałowej Komisji ds. Kształcenia (zespół na kierunku ochrona środowiska).
- W ramach akcji promowania oferty edukacyjnej Politechniki Rzeszowskiej kilkakrotnie brałam udział w organizowanych „Targach edukacyjnych", „Salonach maturzystów" czy akcji „Dziewczyny na Politechniki" prezentując ofertę dydaktyczną oraz naukową Wydziału Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej.

Renata Gruca-Rokosz