

Kraków 5.grudnia 2015

Dr inż. Stanisław Maria Rybicki

Ul.Kogucia 17/4

30-222 Kraków

e-mail smrybicki@interia.pl

Tel. 012 637 2955

Kom 602 581 077

AUTOREFERAT

Przedstawiający w języku polskim opis dorobku i osiągnięć naukowych,

w szczególności określonych w 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 zmianami) a także w Rozporządzeniu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 30.10.2015 w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzanych czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora; (Dz.U. 2015, poz.1842)

Kraków, 2015

1. Dane personalne

Imię i Nazwisko: Dr inż. Stanisław Maria Rybicki
Stanowisko: adiunkt
Miejsce pracy: Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki
Wydział Inżynierii Środowiska
Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska
Katedra Technologii Środowiskowych
ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków tel.: 12 628 2555
e-mail: smrybicki@interia.pl

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

(rok, nazwa i miejsce uzyskania)

- 1983** **Magister inżynier budownictwa wodnego, Politechnika Krakowska im.T.Kościuszki, Wydział Inżynierii Sanitarnej i Wodnej, 1983.** Temat pracy magisterskiej: *Analiza systemu zbiorników retencyjnych z uwzględnieniem wybranych zagadnień jakościowych*. Promotor: mgr inż. Jerzy Szczęsny, Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki. Ocena pracy dyplomowej: celujący . *Praca wyróżniona Uchwałą Rady Wydziału, Praca nagrodzona Nagrodą im. Prof. Roniewicza dla najlepszej pracy dyplomowej na kierunku;*
- 1996** **Doktor Nauk Technicznych w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Politechnika Krakowska im. T.Kościuszki, Wydział Inżynierii Środowiska, 1996.** Temat pracy doktorskiej: *Wpływ wstępnego chemicznego strącania fosforu na pracę reaktorów biologicznych*. Promotor: Prof. dr hab. inż. Jerzy Kurbiel, Politechnika Krakowska. Recenzenci zewnętrzni: Prof. dr inż. Marek Roman, Politechnika Warszawska, Dr hab. inż. Jadwiga Bernacka, prof. IOŚ, Instytut Ochrony Środowiska Warszawa. Recenzent wewnętrzny: dr hab. Renata Kocwa-Haluch, Politechnika Krakowska. Praca wyróżniona uchwałą Rady Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej im. T. Kościuszki, *Praca nagrodzona Nagrodą Ministra Edukacji Narodowej za wybitne osiągnięcia naukowe.*
- 1986** **Świadectwo uprawniające do samodzielnego pełnienia funkcji kierowniczych w budownictwie (tzw. uprawnienia budowlane):**
i. w specjalności instalacyjno-inżynieryjnej bez ograniczeń, **nr 174/86**
ii. w specjalności konstrukcyjno-inżynieryjnej bez ograniczeń, **nr 226/86**
- 1994** **Świadectwo uprawniające do samodzielnego projektowanie (tzw. uprawnienia projektowe) w specjalności instalacyjno-inżynieryjnej, nr 678/94/RP**

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu, w tym w jednostkach naukowych:

3.1. Praca zawodowa przed rozpoczęciem pracy naukowej:

- 1983-1986** Inżynier stażysta, majster budowy, kierownik budowy obiektu Przedsiębiorstwo Budownictwa Hydrotechnicznego Energopol - 2" w Krakowie (obecnie nieistniejące);
- 1984** Służba wojskowa Szkoła Podchorążych Rezerwy – według przepisów obowiązujących absolwentów szkół wyższych;

3.2. Praca w jednostce naukowej:

- 1986-1996** Asystent, Starszy asystent naukowo-dydaktyczny w Zakładzie Technologii Wody i Ścieków, Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki od 01.09.1986
- 1996-nadal** Adiunkt naukowo-dydaktyczny w Zakładzie Technologii Wody i Ścieków (obecnie Katedra Technologii Środowiskowych), Instytut Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska, Politechnika Krakowska im. T. Kościuszki
- 1998-1999** Prodziekan Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej im. T. Kościuszki;
- 2008-2012** Prodziekan Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej im. T. Kościuszki;

Pozostałe funkcje i działalność organizacyjna akademicka i w organizacjach zawodowych została przedstawiona w załączniku „Inne informacje”

4. Opis dorobku i osiągnięć naukowych

(wynikających 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. oraz z art. 12 ust. 2. Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 30 października 2015 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu o nadanie tytułu profesora, Dz.U. 2015, poz 1842)

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego:

Cykl publikacji powiązanych tematycznie o wspólnej tematyce pn.:

Wybrane interakcje procesów technologicznych w wysokoefektywnym oczyszczaniu wody i ścieków

Są to następujące publikacje¹:

- I.1. **Rybicki S.M.**, 2005, *Biological phosphorus removal in case of specific appearance of nitrates in raw wastewater*, IWA Spec. Conf.: Nutrient Management in Wastewater Treatment Processes and Recycle Streams, str. 997-1003, Kraków, Materiały konferencyjne konferencji międzynarodowej (udział własny 100%);
- I.2. Balcerzak W., **Rybicki S.M.**, Kaszowski J., 2007, *Odwadnianie osadów powstających w procesach oczyszczania wody powierzchniowej na przykładzie wodociągu Raba*, Ochrona Środowiska, nr 3, str. 69-73.
JCR IF= 0,320, MNISZW, lista A: 15 pkt
(udział własny 50%; Pomysł badań, wykonanie badań odwadniania osadów, opracowanie i interpretacja wyników odwadniania w warunkach naturalnych, ilustracje, redakcja tekstu)
- I.3. **Rybicki S.M.**, 2009, *Interactions between advanced wastewater treatment and sludge handling process and their impact on reduction of water pollution*, Polish Journal of Environ. Stud., ISSN 1230-1485, vol. 18., pp. 396-403.
JCR IF=0,947(suplement) MNISZW, lista A:15 pkt Cytowania WoS:1
(udział własny 100%),
- I.4. Balcerzak W., **Rybicki S.M.**, 2011, *Pilot scale experiments on surface water treatment sequence including ozonation and adsorption processes*, Journal of Water Supply, Research and Technology-AQUA, vol 60, no 7, str. 459–467.
JCR IF=0,597, MNISZW, lista A: 20 pkt
(udział własny 50%; Wykonanie badań pilotowych ozonowania, przeprowadzenie badań efektywności sorpcji opracowanie wyników, końcowa redakcja artykułu w języku angielskim),
- I.5. **Rybicki S.M.**, Cimochoicz-Rybicka M., 2011, *Selected Interactions between Metha- ne Recovery from Wastewater Sludge and Phosphorus Removal*, Proc. 4th IWA-ASPIRE, Conference & Exhibition, nośnik elektroniczny, kod: Sr119H01141DIS, Tokyo, Japan. **Materiały konferencyjne**
(udział własny 50%, Pomysł badań, adaptacja metody pomiarowej szybkości poboru fosforanów, wykonanie części badań respirometrycznych, opracowanie wyników końcowych, redakcja artykułu w języku angielskim),

¹ Zastosowano numerację publikacji stanowiących dorobek wchodzący w skład osiągnięcia naukowego, zgodny z numeracją użytą w załączniku "Wykaz opublikowanych prac naukowych (...)".

- 1.6. **Rybicki S.M.**, 2013, *Rola hydrolizy i fermentacji kwaśnej osadu wstępnego w eksploatacji oczyszczalni ścieków*, Konferencja międzynarodowa: Praktyczne działanie przedsiębiorstw wodociągowo-kanalizacyjnych w warunkach rosnących wymagań ekologicznych, ekonomicznych i społecznych, AQUA S.A. Bielsko-Biała, str.173-187, ISBN 83-60354-07-3.
MNiSzW, rozdz, Mon, PL: 4 pkt (udział własny 100%),
- 1.7. Cimochoicz-Rybicka M., **Rybicki S.M.**, 2011, *Methods of digestion chambers dimensioning in wastewater treatment plants with modern sludge disintegration* Polish Journal of Environ. Stud., ISSN 1230-1485, vol. 20, no 4A, s.34-38, 2011.
JCR IF=0,508(suplement) MNiSzW, lista A: 15 pkt
(udział własny 50%, Pomysł badań, opracowanie metody wymiarowania, wykonanie części badań respirometrycznych oraz nadzór nad badaniami pełnoskalowymi, opracowanie wyników, wnioski końcowe),
- 1.8. **Rybicki S.M.**, Cimochoicz-Rybicka M., 2013, *Selected effects of anaerobic sludge composition on a biogas production*, Polish-Swedish-Ukrainian Seminar Cracow 2011: Future urban sanitation to meet new requirements for water quality in the Baltic Sea region, Joint Polish-Swedish Seminar, Report no 17, Ed.: E. Płaza, E. Levlin, str.213-218, TRITA-LWR.REPORT 3031, ISSN 1650-8610, ISRN KTH/LWR/REPORT 3026-SE.
Rozdział w monografii zagranicznej MNiSzW, rozdz, Mon, EN: 5 pkt
(udział własny 50%, koncepcja artykułu, opracowanie metody pomiarowej, wykonanie części badań respirometrycznych, interpretacja wyników, redakcja tekstu, wnioski końcowe),
- 1.9. **Rybicki S.M.**, 2013, *Specific impact of enhanced biological phosphorus removal from wastewater on fermentation gas generation*, Environmental Engineering IV: Proceedings of The Conference on Environmental Engineering IV, Lublin, Poland, 3-5 September 2012. – Leiden : CRC Press/Balkema, 2013. – str. 135-139. – doi: 10.1201/b14894-23. – ISBN 978-0-415-64338-2.
Web of Sci. Core Collection MNiSzW: 10 pkt (udział własny 100%),
- 1.10. **Rybicki S.M.** 2013, Chapter 11 'Costs of operation' w: Best practice guide on the control of Iron and Manganese in water supply; IWA Book Series: Best Practice Guides on Metals and Related Substances in Drinking Water .
Web of Sci. Core Collection MNiSzW: 10 pkt (udział własny 100%),
- 1.11. **Rybicki S.M.**, Cimochoicz-Rybicka M., 2013, *Dimensioning of Digestion Chamber for Upgrading of Gas Recovery at Wastewater Treatment Plant*; Archives of Environmental protection, vol.39, no.4, str. 105-112, ISSN 2083-4772.
JCR IF=0,901, MNiSzW, lista A: 15 pkt Cytowania WoS:3
(udział własny 50%, Koncepcja artykułu, opracowanie metody pomiarowej, wykonanie części badań respirometrycznych, interpretacja wyników, wnioski końcowe),
- 1.12. Balcerzak W., **Rybicki S.M.**, 2014, *Changes in sludge quality at the water treatment plants* Technical Transactions. Environment Engineering = Czasopismo Techniczne. Środowisko; Y. 111, iss. 1-Ś, s. 19-25. – Seria gł.: Technical Transactions = Czasopismo Techniczne, ISSN 0011-4561. – ISSN 1897-6336, 1-Ś (20).
MNiSzW, lista B: 6 pkt
(udział własny 50%, Koncepcja artykułu, wykonanie badań jakości osadów oraz badań zawartości metali, opracowanie wyników, ilustracje, wnioski końcowe redakcja tekstu);

- I.13. **Rybicki S.M.**, 2014, *Role of primary sludge hydrolysis in energy recovery from municipal wastewater sludge*, Polish Journal of Environmental Studies, t.23(3), str.1033-1037, ISSN 1230-1485.
JCR IF=0,871, MNiSZW, lista A: 15 pkt (udział własny 100%),
- I.14. **Rybicki S.M.**, Górka J., 2015, *Studies on real opportunities for energy recovery in the wastewater treatment (Badania rzeczywistych możliwości odzysku energii w procesie oczyszczania ścieków)*, Przemysł Chemiczny, 94/9, str. 1551-1553, DOI: 10.15199/62.2015.9.XX, 2015.
JCR IF=0,399, MNiSZW, lista A: 15 pkt,
(udział własny 75%, pomysł badań, koncepcja artykułu, obliczenia i opracowanie wyników, wnioski końcowe, redakcja tekstu w języku angielskim).

4.2. Omówienie celu naukowego pracy i osiągniętych wyników wraz z ich powiązaniem w wykorzystaniu w praktyce

4.2.1. Wprowadzenie

Poszukiwanie rozwiązań technologicznych i technicznych, ukierunkowanych na wysokoefektywne oczyszczanie wody i ścieków, od dawna jest związane z szybkim rozwojem społeczno-gospodarczym, w tym zwłaszcza w kontekście rozwoju urbanizacji i metropolizacji, połączonej z globalnym przyrostem ludności oraz zmianami w proporcjach jej zamieszkania w obszarach wiejskich i miejskich, na korzyść tych ostatnich.

Procesy te i związane z nimi, a obserwowane w ostatnich dwudziestu latach, gwałtowne przyspieszenie rozwoju urbanizacji (także w naszym kraju), stało się wyzwaniem technologicznym, łączącym poszukiwania racjonalnych rozwiązań, które łączą aspekty:

- a) efektywności technologicznej funkcjonalnej, której wyznacznikiem jest maksymalizacja efektu oczyszczania w określonym czasie;
- b) niskie zużycie energii, a najlepiej połączone z odzyskiem części energii w procesie technologicznym tak, aby ją wykorzystać jako odnawialną;
- c) minimalizacja objętości osadów po zakończeniu procesu technologicznego i możliwość ich utylizacji/wykorzystania - dla minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko ('ecological footprint')
- d) konieczność adaptacji do zmian klimatycznych, których konsekwencje w zakresie zarówno zaopatrzenia w wodę jak i gospodarowania wodami zużyтыми są widoczne, a w najbliższej przyszłości znacznie się pogłębią;
- e) podnoszenia jakości życia, wiążącej dostępność do efektywnych technologii wodno-ściekowych oraz bezpieczeństwo zdrowia i niezawodność pracy infrastruktury wodno-ściekowej.

Te wyzwania są przyczyną dla której wiele zespołów w naszym kraju pracuje nad elementami systemu (technologia, technika, materiałoznawstwo, energia) tak, aby systematycznie uzyskiwać wymagane efekty. Są to badania innowacyjne, których cechą jest często konieczność dostosowywania działań technicznych do warunków istniejących, w tym zróżnicowanych regionalnie i lokalnie. Tworzy to jednak mozaikę działań, w których badania prowadzone w naszym zespole i moje indywidualne, mają zarówno szersze znaczenie dla rozwoju naukowego i postępu technologicznego, noszą też cechy praktycznych zastosowań w konkretnych warunkach oraz przedsiębiorstwach dla podniesienia efektywności określonych procesów technologicznych. Ostatnie lata, ukierunkowane w świecie i w Europie na rozwój tak zwanych 'Smart Cities', to dodatkowy aspekt ukierunkowania badań technologicznych w oczyszczaniu wody i ścieków, powiązanych z rozwojem metropolizacji w naszym kraju. Badanie te winny być prowadzone tak, aby rozwiązania stosowane w infrastrukturze tych

miast, w tym infrastrukturze komunalnej, możliwie nie pogłębiały niekorzystnego oddziaływania na środowisko. Szczególnie obiekty oczyszczania wody i ścieków, aby mogły realizować zadania w ramach „Smart Cities”, nie mogą już być traktowane w sposób konserwatywny. Dotychczasowe podejście polega na traktowaniu ich jako oddzielnych elementów struktury miejskiej, realizujące wydzielone zadania. Musi ono ulec zmianie tak, aby obiekty te były projektowane i eksploatowane jako silnie zintegrowane elementy jednej struktury zarządzanej i eksploatowanej dla utrzymania lub podnoszenia jakości życia mieszkańców bez nadmiernego obciążania środowiska.

Realizując ideę „Smart Cities” w sektorze oczyszczalni ścieków i zakładów uzdatniania wody należy zatem rozważyć jaki stopień integracji poszczególnych procesów i operacji technologicznych prowadzi do realizacji postawionego postulatu w skali całej aglomeracji. Takie, współczesne podejście do obiektów technologii wody i ścieków miało i ma wpływ na prowadzone przeze mnie indywidualnie i w zespole badania. Wpłynęły także znacząco na szerokie spektrum moich prac eksperckich, które wzmocniły moją wiedzę i kompetencje w tym zakresie, ale także ukierunkowały poszukiwania rozwiązań szczegółowych, z których wywodzą się prezentowane osiągnięcia.

4.2.2. Opis przeprowadzonych badań i główne osiągnięcia pracy

Oczyszczalnie ścieków miejskich wykorzystują reaktory wielofazowe jako podstawowe urządzenia do prowadzenia biologicznego oczyszczania ścieków. Z pewnym uproszczeniem można przyjąć, że w reaktorach wielofazowych zachodzą trzy podstawowe rodzaje procesów biochemicznych:

- I. Przemiana materii organicznej zawartej w ściekach surowych w tzw. osad czynny będący mieszaniną ("biomasą") różnych grup mikroorganizmów posiadających zdolność przetwarzania substratów zawartych w ściekach w nowe komórki oraz w produkcji respiracji – dwutlenek węgla i wodę. Nadmiarowa ilość tak powstałej biomasy jest usuwana z układu technologicznego w postaci tzw. osadu nadmiernego;
- II. Przyswajanie przez specyficzne rodzaje bakterii - stanowiących biocenozę osadu czynnego - fosforanów zawartych w ściekach, pod warunkiem jednak zapewnienia odpowiedniego źródła energii i utrzymywania naprzemiennych warunków beztlenowych i tlenowych; ten proces jednostkowy ma kluczowe znaczenie dla biologicznego nadmiarowego usuwania fosforu;
- III. Konwersja organicznych form azotu i amoniaku, stanowiących podstawową formę azotu zawartą w ściekach surowych, w postać utlenioną: azotany i azotyny (proces nityfikacji) a następnie – w warunkach niedotlenionych – przekształcenie w postać gazową, uwalnianą do atmosfery;

Podstawowym zadaniem a jednocześnie procesem najbardziej wrażliwym na zmianę składu ścieków jest dostarczenie odpowiedniej ilości związków węgla o najwyższej podatności na rozkład biologiczny, z dominacją lotnych kwasów tłuszczowych [1.3.;1.5;1.6.]². Związki te pełnią rolę donorów elektronowych w reakcjach biochemicznych przemian fosforu. Znaczące zapotrzebowanie na te donory do prawidłowego przebiegu reakcji wewnątrzkomórkowych osiąga się albo za pomocą dodawania tzw. dodatkowych źródeł węgla do strumienia ścieków dopływających do beztlenowej strefy komory osadu czynnego. Mogą one mieć po-

² Odniesienia do artykułów stanowiących moje osiągnięcie naukowe zgodne z oznaczeniami w „Wykazie opublikowanych prac naukowych (...)” stanowiących załącznik do tego autoreferatu;

stać tzw. źródeł zewnętrznych (etanol, metanol, kwas octowy i in.) lub – częściej – źródeł wewnętrznych. Pojęcie źródeł wewnętrznych dotyczy wytwarzania mieszaniny krótko łańcuchowych kwasów tłuszczowych na drodze fermentacji kwaśnej osadu wstępnego. W procesach nadmiarowego biologicznego usuwania fosforu bakterie posiadające zdolność gromadzenia i uwalniania fosforanów (tzw. bakterie Bio-P) wykorzystują łatworozkładalne związki węgla jako źródło energii niezbędnej do uwalniania fosforanów w warunkach beztlenowych.

Badania realizowane przez mnie i stanowiące część omawianego osiągnięcia naukowego, wynikały z konieczności wsparcia badawczego prac typowo wdrożeniowych w przypadkach, w których ogólnodostępna wiedza nie dawała wystarczających wyjaśnień zjawisk lokalnych stanowiących konkretny problem techniczny i technologiczny.

Badając zagadnienia dotyczące wzajemnych powiązań pomiędzy procesami technologicznymi stosowanymi w uzdatnianiu wody i oczyszczaniu ścieków, wyróżniłem dwie zasadnicze grupy badań, wymagających rozwinięcia:

- i. wpływ eksploatacji układów biologicznego nadmiarowego usuwania fosforu na pracę układu beztlenowej stabilizacji osadów ściekowych
- ii. zjawiska utrudniające uzyskanie efektu końcowego, towarzyszące wysokoefektywne usuwanie zanieczyszczeń, szczególnie organicznych, z wody w trakcie jej uzdatniania

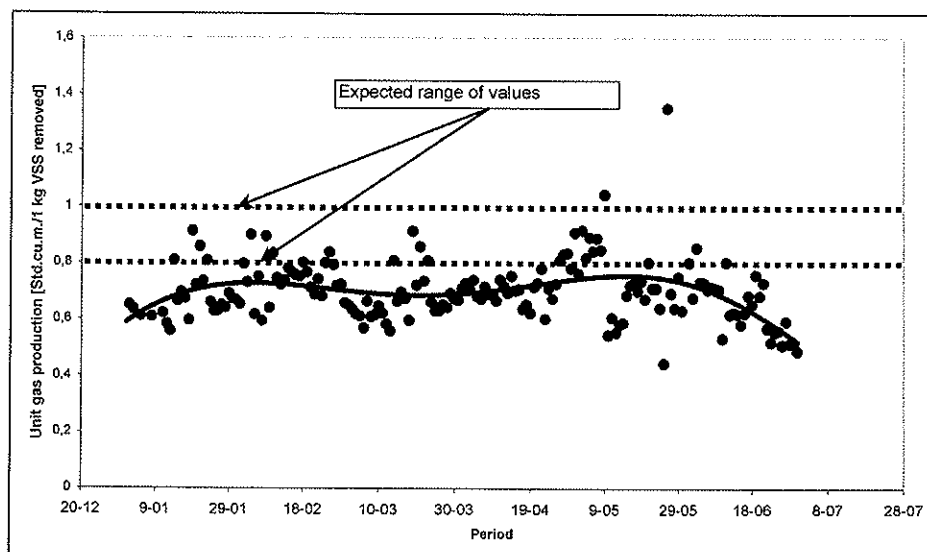
W obu tych obszarach zachodzi specyficzna sytuacja, gdy składowe procesy („rozproszone” w różnych miejscach układów technologicznych poszczególnych obiektów) mają istotne znaczenie dla efektu końcowego. Stan wiedzy, w okresie poprzedzającym badania, nie pozwalał na zastosowanie gotowych, powtarzalnych rozwiązań, natomiast wyniki prac badawczych (laboratoryjnych) w obu obszarach zainteresowań znalazły zastosowanie praktyczne potwierdzające zasadność prowadzonych prac.

Rozpoczęcie prac badawczych nad specyficznymi powiązaniem biologicznego usuwania fosforu z problematyką przeróbki osadów ściekowych i możliwość zaistnienia niekorzystnej konkurencji pomiędzy tymi procesami nastąpiło w trakcie badań na oczyszczalni nowosądeckiej w roku 2003. Obiekt ten – tak jak większość współczesnych oczyszczalni ścieków – został zaprojektowany w połowie lat dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia, przy uwzględnieniu ówczesnego wymogu aby stosowane były przede wszystkim procesy biologiczne a tylko minimalnie – chemiczne. W trakcie eksploatacji, zgodnie z trendami końca ubiegłego wieku, zaczęto kłaść nacisk na możliwie wysoki odzysk źródeł energii, przede wszystkim na drodze fermentacji osadów. Badania nad efektywnością wytwarzania gazu fermentacyjnego („biogazu”) z osadów zmieszanych wykazały, mimo wielu prób optymalizacji procesu, że parametr ten³ osiąga wartości wyraźnie niższe niż przyjęte przez projektanta na podstawie danych literaturowych. Pokazuje to rysunek 1. poniżej, pochodzący z pierwszej mojej publikacji na ten temat (poster i publikacja na specjalistycznej konferencji międzynarodowej IWA pn: *“Nutrient management in Wastewater Treatment Processes and Recycle Streams”* [l.1]⁴ .

³ Mierzony jednostkową produkcją gazu z suchej masy organicznej rozłożonej beztlenowo w komorach fermentacyjnych

⁴ Przyjęto numerację pozycji bibliograficznych własnych zgodną z zestawieniem „Wykaz opublikowanych prac naukowych lub twórczych i najważniejszych prac zawodowych – w załączniku;

Rys. 1. Wyniki pomiarów jednostkowej produkcji gazu fermentacyjnego (linia ciągła) z zakresem przyjmowanym zazwyczaj na podstawie literatury [1.1.].

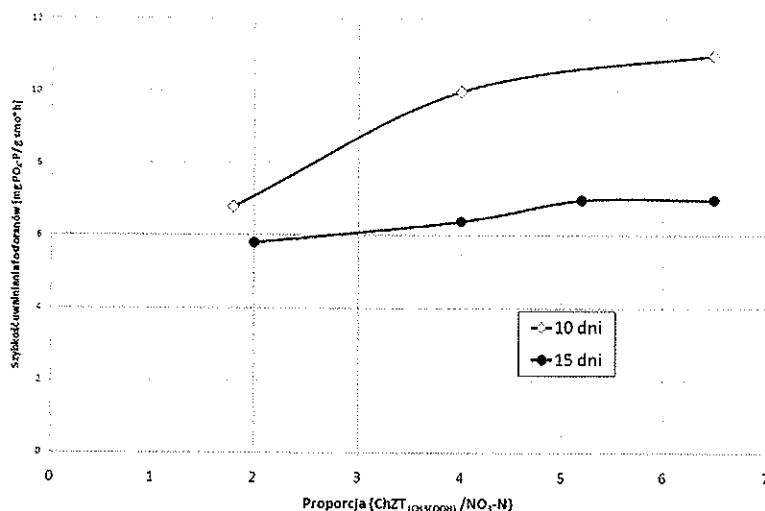


W tej fazie badań przyczynę niekorzystnego zjawiska widziałem wydłużaniu czasu przetrzymania osadu wstępnego, w fermenterach, co było uzasadnione specyficzną dla kanalizacji miasta w którym prowadziłem badania, obecnością relatywnie znacznych stężeń azotanów w ściekach surowych [1.1.;1.3]. Dlatego niezbędne było znalezienie rozwiązania zapewniającego właściwy sposób generacji krótkołańcuchowych (lotnych) kwasów tłuszczowych (LKT), w oparciu o wprowadzane wówczas rozwiązania oparte na badaniach J.L.Barnarda. W połowie lat 90-tych bieglego stulecia przeprowadził on badania nad przebiegiem usuwania związków fosforu ze ścieków, gdy w ściekach surowych występuje stężenie LKT niewystarczające dla przebiegu sekwencji: uwalniania/przyswajanie fosforanów [Barnard, 1994; Oleszkiewicz i Barnard, 1997]⁵. W szczególnie niekorzystnych warunkach dochodzi do wyczerpania zasobów LKT przed zmianą warunków z beztlenowych na tlenowe. W takim przypadku, wobec braku zewnętrznych substratów odżywczych i zewnętrznych źródeł energii, całość zapotrzebowania energetycznego komórki musi zostać pokryta z rozpadu polimerów wewnątrzkomórkowych. To z kolei prowadzi do niekorzystnego zjawiska wydzielania fosforanów do roztworu bez równoczesnego poboru LKT i tworzenia PHA. Problematyka tego zjawiska zwanego wtórnym wydzielaniem fosforu (ang. *secondary release*) wykracza poza zakres tego opracowania, jest jednak bez wątpienia zjawiskiem niekorzystnym, gdyż szybkość wydzielania fosforu wywołana poborem LKT jest o rząd wyższa od wydzielania wtórnego (ok. 19 mgP/gsmo*h dla poboru LKT a jedynie ok. 1,8 mgP/gsmo*h dla wydzielania wtórnego) [Seviour i in., 2003; Mino i in., 1998; Vermande i in., 2002].

Dalsze prowadzone przez mnie w latach 2003-2006, kontynuacyjne prace badawcze polegały na wyznaczeniu szybkości uwalniania fosforanów w warunkach beztlenowych przy wykorzystaniu wody nadosadowej z prefermenterów jako źródła węgla, kompensującego deficyt związków pobieranych przez bakterie osadu czynnego. Wynikami tych badań zawarłem publikacjach [1.3;1.5], w których wykazałem, że zwiększanie proporcji przyswajalnych związków węgla do azotu w ściekach dopływających do reaktora wielofazowego tylko nie-

⁵ Pozycje bibliograficzne nie będące mojego autorstwa, zostały zestawione w pktcie 4.2.3.

znacznie zwiększa szybkość uwalniania. Zmiana ta była bardziej widoczna przy wykorzystaniu osadu czynnego krótszym ($t=10$ d) wieku, co pokazuje rysunek.2



Rys. 2. Wyniki pomiarów szybkości uwalniania fosforanów w zależności od proporcji łatwo-rozkładalnego ChZT do azotu azotanowego w ściekach dopływających do reaktora biologicznego [1.5].

Badania te potwierdziły, że wstępna fermentacja osadów powoduje polepszenie charakterystyk biologicznego nadmiarowego usuwania fosforu, jednak – podobnie jak pokazano to w poz. [1.5.] proces ten może dość znacząco wpływać na obniżenie produkcji gazu fermentacyjnego, a tym samym prowadzić do pogorszenia charakterystyki energetycznej oczyszczalni. W okresie prowadzenia tych badań, działania eksploatatorów oczyszczalni koncentrowały się coraz bardziej na oczyszczalni jako potencjalnym miejscu wytwarzania energii odnawialnej. Zaobserwowana wówczas sprzeczność operacyjna pomiędzy dążeniem do generowania łatwo rozkładalnych związków węgla (głównie lotnych kwasów tłuszczowych – LKT) a wytwarzaniem gazu fermentacyjnego potwierdzała zasadność przyjętego kierunku badań. Dalsze badania w zakresie wyboru właściwych rozwiązań zapewniających właściwy sposób generacji krótkołańcuchowych (lotnych) kwasów tłuszczowych tak aby „pogodzić” sprzeczność zadań pomiędzy ciągiem ściekowym (prefermentery) a ciągiem przeróbki osadu/odzysku energii (wydzielone komory fermentacyjne), stały się podstawą zrealizowania przeze mnie grantu badawczego.

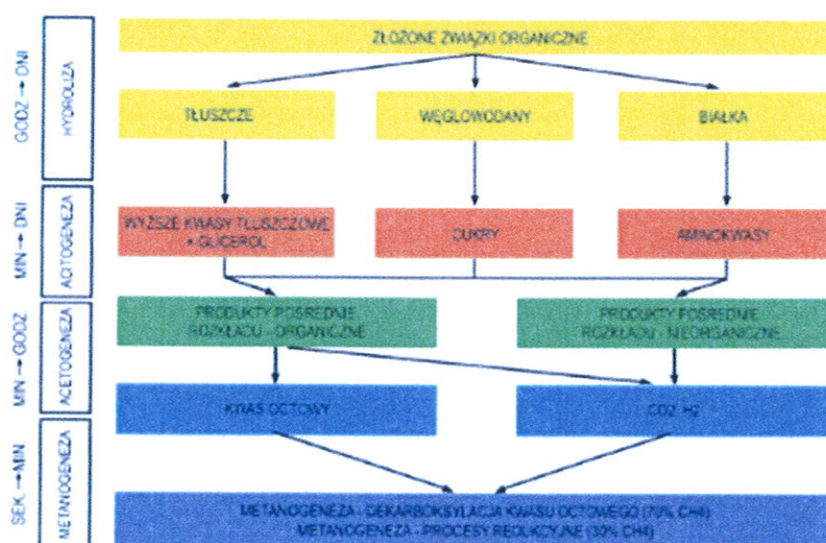
Projekt badawczy własny KBN: Nr N N523 3775 33, *Oddziaływanie układów nadmiarowego biologicznego usuwania fosforu ze ścieków na wytwarzanie gazu fermentacyjnego w mezofilowej fermentacji osadów*, realizowałem w okresie 2007-2011. Punktem wyjścia było przeprowadzenie badań nad procesem hydrolizy i wstępnej fermentacji w celu określenia jaki jest rzeczywisty wpływ czasu zatrzymania w tych operacjach technologicznych na końcową produkcję gazu fermentacyjnego. Procesy te dotychczas uznawane były za prowadzone prawidłowo, gdy uzyskiwano bardzo wysokie stężenia bez sprawdzania jak to wpłynie na produkcję gazu [Carlsson i in., 1996; Jardin & Popel, 1996; Mulkerrins et al, 2004]. Eksploatacja oczyszczalni, które jednocześnie wykorzystują podsystemy generowania lotnych kwasów tłuszczowych (wykorzystywanych w ciągu ściekowym) oraz mają spełnić wymóg zwiększania produkcji gazu fermentacyjnego (w ciągu osadowym) rodzi pewne problemy eksploatacyjne, wynikające ze sprzeczności celów jednak nawet uznani autorzy nie zajmowali się

ilościowym opisem tego zjawiska [Canzani et al., 1995; Jonsson et al., 1996; Ekama et al., 1999; Vollertsen et al., 2006; Yang et al., 2010].

Obserwacje z pierwszego okresu moich badań wskazywały na znaczące obniżanie produkcji gazu w układach z hydrolizą i fermentacją (kwasową) osadów wstępnych. Podstawowym warunkiem prawidłowego przekształcania substancji organicznych zawartych w osadach i ściekach - w uproszczonym opisie - jest równowaga pomiędzy ilością substratów, a ilością bakterii, głównie metanogennych. W procesie rozkładu związków organicznych możemy wyróżnić 4 główne fazy :

- I faza - hydroliza substancji wielkocząsteczkowych,
- II faza - acidogeneza,
- III faza - acetogeneza,
- IV faza - metanogeneza.

O ilości i rodzaju otrzymywanych produktów w poszczególnych fazach, decyduje skład chemiczny związków organicznych rozkładanych w warunkach beztlenowych, przy współdziale mikroorganizmów, oraz czas i temperatura prowadzenia danej fazy. Różne gatunki bakterii wyspecjalizowały się w wytwarzaniu metanu z różnych substratów, przy czym niektóre z nich wykorzystują substraty do wzrostu i reprodukcji - zarówno jako źródło energii i jako jedyne źródło węgla, natomiast większość bakterii metanogennych wykorzystuje do budowy komórki wodór cząsteczkowy H_2 oraz CO_2 jako jedyne źródło węgla. Ponieważ kwasy: octowy, propionowy, masłowy (inne kwasy w znacznie mniejszych ilościach) są ostatnim produktem przemian beztlenowego rozkładu substancji organicznych i pierwszym głównym surowcem organicznym do wytwarzania metanu, dlatego skoncentrowałem się na przemianach tych związków. Należy tu zwrócić uwagę na wyraźne różnice w szybkości reakcji dominujących w poszczególnych etapach: proces hydrolizy jest najszybszym a proces wytwarzania metanu najszybszym. Ilustruje to rysunek 3. z mojego artykułu [1.5.;1.6].



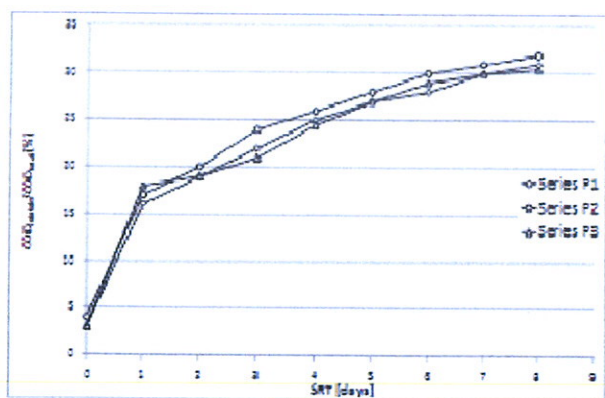
Rys. 3. Diagram przemian związków organicznych w hydrolizie i fermentacji [1.6.]

Prace badawcze ogniskowały się na sprawdzeniu czy prefermentacja upośledza (bądź nie) produkcję biogazu. Zagadnienie to jest istotne, gdyż odzysk nośnika energii jakim jest gaz fermentacyjny („biogaz”), jest istotnym czynnikiem w warunkującym pracę obiektu jako całości. Zużywanie produktów fermentacji do zasilania ciągu oczyszczania ścieków (a

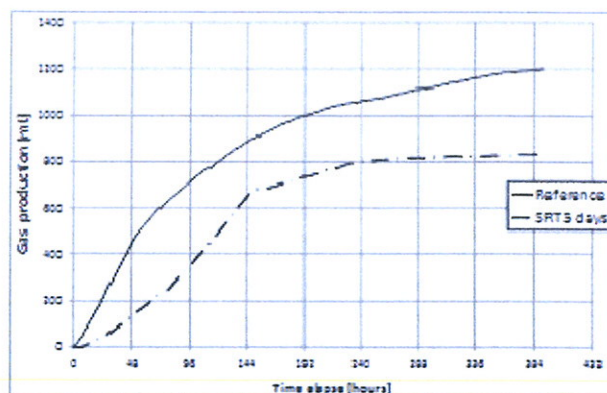
co za tym idzie zmniejszenie produkcji biogazu) może być do pewnego stopnia kompenso-
wane przez wydłużenie czasu zatrzymania w WKF. Dlatego precyzyjne określenie właściwe-
go czasu zatrzymania w komorach fermentacyjnych ma podstawowe znaczenie przy projek-
towaniu a następnie eksploatacji tych obiektów. Badania prowadzone przez autora na jednej
z małopolskich oczyszczalni ścieków (MUCT, 120000RLM) wykazały, że w układzie z jedno-
stopniowym fermenterem uzyskane rezultaty, z punktu widzenia usuwania fosforu były za-
dawalające. Uzyskane stężenie fosforu w ściekach oczyszczonych było przez cały czas po-
niżej 1 mg/dm^3 , jednak potwierdzono obniżoną produkcję gazu w warunkach rzeczywistych,
co potwierdziło założenia do badań.

W tej części badań wykazałem, że generowanie krótkołańcuchowych kwasów tłuszc-
zowych z osadu wstępnego zapewnia odpowiednią ilość donorów elektronów tak, że możli-
we jest wysoko efektywne usuwanie fosforu bez chemicznego strącania, natomiast pomiędzy
procesami wytwarzania LKT a wytwarzaniem bogatego w metan gazu fermentacyjnego mo-
że zachodzić "konkurencja" o substraty konwertowane do kwasów tłuszczowych co wymaga
starannej eksploatacji, a okresowo może zmuszać do decyzji optymalizacyjnych. Energia
pobierana na drodze hydrolizy (rozrywania wiązań polifosforanowych) jest zużywana w fa-
zie gromadzenia materii wewnątrz komórek. W warunkach tlenowych zgromadzone fosfora-
ny są wykorzystywane do tworzenia nowych komórek, przy czym energia do tego procesu
jest uzyskiwana na drodze respiracji. Końcowy, całkowity efekt tego procesu to zgromadze-
nie w komórkach osadu czynnego fosforanów w ilościach mniejszych niż wynikałoby to z
budowy komórki nie poddanej tym naprzemiennym warunkom. Badania nad tym aspektem
wzajemnego oddziaływania procesów zostały opisane przeze mnie w kilku kolejnych artyku-
łach stanowiących moje osiągnięcie badawcze. W szczególności były to:

- Materiały Konferencyjne 4 Konferencji IWA ASPIRE [I.5.], w którym przedstawiłem kon-
tynuację badań omówionych uprzednio, realizowanych w ramach grantu na drodze dwu-
stopniowych badań hydrolizy/fermentacji wstępnej po której następowała fermentacja me-
zofilowa. Badania te prowadziłem w oparciu o autorską metodykę, z wykorzystaniem
dwóch ośmiostanowiskowych respirometrów. Wyniki pokazano na rysunkach 4. oraz 5.
Wykazałem, że z jednej strony wydłużanie czasu hydrolizy/wstępnej fermentacji zwiększa
efekt w postaci solubilizacji ChZT (przekształcenie w formy rozpuszczalne - łatwiej przy-
swajalne) z drugiej jednak strony znaczące wydłużenie hydrolizy i fermentacji skutkuje
znacznie niższą produkcją gazu fermentacyjnego. Nie stwierdziłem wpływu wstępnej
fermentacji kwaśnej na zawartość metanu w gazie fermentacyjnym [I.5.;I.9]. Praca [I.5.]
była pierwszym, kompleksowym dowodem prawdziwości tezy moich badań, że może za-
chodzić sprzeczność pomiędzy dążeniem do wyłącznie biologicznego nadmiarowego
usuwania fosforu, co jest podstawowym zadaniem oczyszczalni ścieków a wytwarzaniem
gazu fermentacyjnego, co jest współczesnym, nowym zadaniem realizowanym w ramach
dążenia do tzw. zrównoważonego rozwoju miast. Realizacja idei „smart cities” w tym
przypadku polegać będzie na optymalizacji operacyjnej, co ułatwia przedstawiona przez
mnie metodyka badawcza. Praca [I.9.] była jej kontynuacją i rozwinięciem;



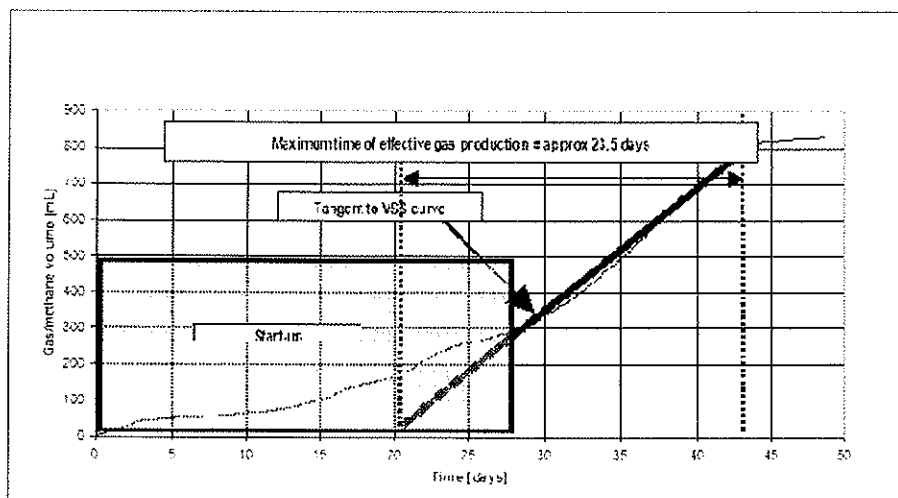
Rys.4. Wpływ czasu fermentacji kwaśnej na efektywność hydrolizy związków węgla organicznego - ChZT [I.9]



Rys.5. Produkcja gazu fermentacyjnego w warunkach mezofilowych po fermentacji kwaśnej $t = 5$ dni [I.5]

- Kolejne artykuły w których prezentowałem wyniki pokrewnych badań, zawierają dalsze dowody potwierdzające tezę główną; stanowią one prezentację wyników prac nad hydrolizą osadu w wysokopunktowanym piśmiennictwie polskim [I.8;I.13]. Ponadto, jako autor bądź współautor opublikowałem także inne artykuły o tematyce wzajemnego wpływu procesu oczyszczania ścieków i przeróbki osadów- w materiałach konferencyjnych i monografiach krajowych i zagranicznych o niższej randze (poza systemem Web of Science) – wymienionych w „Wykazie opublikowanych prac naukowych (...)”.

Ewolucja moich zainteresowań badawczych i wdrożeniowych spowodowała, że równolegle z podstawowymi pracami badawczymi dotyczącymi kwestii oddziaływania pracy reaktorów wielofazowych na wytwarzanie gazu fermentacyjnego, pracowałem nad opracowaniem takiej metody wymiarowania Wydzielonych Komór Fermentacyjnych (WKF) aby dopasować czas zatrzymania do rzeczywistego procesu. Zazwyczaj komory te projektowane były metodą „intuicyjną” tzn. przy arbitralnym, bądź opartym na własnym doświadczeniu projektanta przyjęciu czasu zatrzymania osadu w komorze fermentacyjnej w zakresie 15-25 dni. Wielokrotnie spotykałem rozwiązania, gdy przyjęcie zbyt krótkiego czasu zatrzymania prowadziło do zbyt niskiego stopnia stabilizacji oraz niewykorzystania potencjału produkcji biogazu i przeciwnie – zbyt długi czas powodował niepotrzebną utratę energii na ogrzewanie i mieszanie osadu, który już od kilkudziesięciu godzin wytwarzał relatywnie niskie ilości gazu. W trakcie tych prac opracowałem (w dwuosobowym zespole) metodę wymiarowania komór fermentacji, które wykorzystując testy respirometryczne pozwalają na precyzyjne wyznaczenia właściwej wartości parametry zatrzymania. Rysunek 6., pochodzący z artykułu [I.7.], którego jestem autorem ilustruje sposób wyznaczania tego parametru. Kontynuację badań przedstawiono w publikacji [I.7.]. Praca ta doczekała się pełnoskalowego wdrożenia. Zaletą proponowanej metody jest możliwość sprawdzenia podstawowego parametru projektowego dla różnych scenariuszy zasilania komory osadem (np. różne proporcje osadu wstępnego i wtórnego). Możliwe jest także, na etapie badań przedprojektowych, określenie możliwości prowadzenia kofermentacji osadów ściekowych i innych odpadów komunalnych i/lub przemysłowych. Ponieważ metoda ta została w praktyce z powodzeniem wykorzystana w pracach eksperckich i projektowych (w tym jedna zrealizowana instalacja pełnoskalowa 120 000 RLM), dlatego kolejne wyniki z jej wdrażania były publikowane zarówno w artykułach w czasopiśmie o wysokiej randze [I.7;I.11.] jak i w innych publikacjach naukowych punktowanych *(wymienionych w „Wykazie opublikowanych prac(...)”).



Rys. 6. Wyznaczania czasu fermentacji w oparciu o badania respirometryczne fermentacji [1.7.]

Kontynuacją prac określających skalę czynników technologicznych obniżających produkcję gazu fermentacyjnego był mój współudział w badaniach nad podniesieniem efektywności wytwarzania metanu, które mogłoby „skompensować” ubytek LKT w trakcie hydrolizy np. na drodze dezintegracji. Uczestnictwo jako wykonawca w granicie b.KBN Nr 1 T09D02830, pozwoliło mi na stworzenie i kierowanie zespołem badawczym, który zajmował się w latach 2010-2013 finansowanymi przez RWE AG Niemcy Research and Development Programme: *Schlammdeintegration als Standardtechnik für die Abwasserklärung für Reduktion der Betriebskosten und Erhöhung der Erzeugung der erneuerbaren Energie*. W badaniach tych wykazaliśmy między innymi, że proces dezintegracji osadu nadmiernego, w końcu ubiegłej dekady chętnie włączany do układów technologicznych przeróbki osadów, winien być projektowany ze szczególną starannością, gdyż pełna dezintegracja np. ultradźwiękowa, może wymagać większego zużycia energii niż wyniesie późniejszy przyrost wartości energetycznej dodatkowo wytworzonego biogazu. Praca ta stanowiła początek moich obecnych zainteresowań zagadnieniami w jaki sposób procesy przeróbki osadów wpływają na efektywność energetyczną oczyszczalni ścieków [1.8.;1.9.;1.14]. Podobnie jak poprzednie prace badawcze pozwalają one lepiej zrozumieć zakres powiązań pomiędzy procesami i operacjami technologicznymi.

Równolegle z badaniami prowadzonymi nad oczyszczaniem ścieków i przeróbką osadów ściekowych, realizowałem prace badawcze i wdrożeniowe związane z problemami, które występują przy uzdatnianiu/oczyszczaniu wody. W połowie poprzedniej dekady uczestniczyłem w pracach zespołu, który zajmował się – wtedy relatywnie nowym – problemem odwadniania osadów z produkcji wody. Przygotowanie do wejścia Polski do Unii Europejskiej skutkowało w okresie akcesji wprowadzaniem zaostrzonych wymogów formalnych odnośnie jakości wody do spożycia ma mierzalny wpływ na specyfikę osadów z ZUW. Badania nad specyfiką tych osadów zaczęto prowadzić znacznie później niż miało to miejsce w przypadku osadów ściekowych [Sozański, 1999; Leszczyńska i Sozański, 2009]. W szczególności zajmowałem się problemem okresowego wzrostu udziału frakcji organicznej w suchej masie osadu w okresie letnim (spowodowane zjawiskami produkcji roślinnej). Prace te opublikowałem w zespole [1.2.; 1.12]. Zagadnienie wysokosprawnego usuwania materii organicznej wraz z określeniem „podziału” tego usuwania pomiędzy procesy utleniania a procesy sorpcji były

przedmiotem prac badawczych zlecanych przez krakowskie MPWiK SA, zwięźczenie tych prac stanowi publikacja [I.4] w której pokazana została metodyka określania najbardziej efektywnej drogi usuwania materii organicznej w wodzie tak, aby minimalizować skutki negatywne u odbiorców. W tym samym czasie wszedłem w skład zespołu realizującego projekt badawczy COST 637 *Metals and Related Substances in Drinking Water*. W zespole prowadziłem badania nad wzajemnym oddziaływaniem zjawisk zachodzących w trakcie oczyszczania wody. We współpracy z małopolskimi przedsiębiorstwami wodociągowymi prowadziłem prace nad możliwym negatywnym wpływem procesów technologii uzdatniania wody na pogorszenie się jej jakości (w trakcie operacji technologicznych zamierzonych dla poprawienia jej jakości). Wyniki tych działań znalazły się w publikacji książkowej krajowej [poz.B.1.12.;B.1.13] , natomiast wraz z członkami zespołu realizującego program COST stałem się współautorem publikacji książkowej wydanej przez International Water Association [I.10], dotyczącej usuwania żelaza i manganu z wody do spożycia.

4.2.3. Podstawowa, bibliografia z literatury światowej na której oparto badania,

nie będąca dorobkiem Autora – odniesienia bibliograficzne do osiągnięcia naukowego zostały wykonane zgodnie z „Wykazem opublikowanych prac naukowych lub twórczych i najważniejszych prac zawodowych” , stanowiących załącznik do tego autoreferatu

- Barnard J.,1994, Alternative Prefermentation Systems. Proc.Sem "Use of fermentation to enhance biological nutrient removal, Chicago;
- Oleszkiewicz JA., Barnard JL., 1997, Fermentacja kwaśna osadu wstępnego dla intensyfikacji biologicznego usuwania fosforu i azotu. „Usuwanie związków biogenych ze ścieków” Konferencja Naukowo-Techniczna Kraków 06.1997
- Seviour R.J., Mino T., Onuki M.,2003,*The microbiology of biological phosphorus removal in activated sludge systems*. FEMS Microbiology Reviews,27,2003,99-127.
- Mino, T., Van Loosdrecht, M.C.M., Heijnen, J.J.,1998, Microbiology and biochemistry of the enhanced biological phosphate removal process. *Water Research* v 32 n 11 Nov. p 3193-3207
- Vermande S.M., Sötemann S., Aguilera Soriano G., Wentzel M, Audic J.M. , Ekama G., 2002,*Comparison of aerobic and anoxic phosphorus uptake in NDBEPR systems (UCT and ENBRAS)*, Wat.Sci.Tech. 46,2002,201-207..
- Canzani R., Pollice A., Ragazzi M.,1995,Feasibility of using primary sludge mesophilic hydrolysis for biological removal of nitrogen and phosphorus from wastewater . *Bioresources Technology*,54, 1995,255-260.
- Carlsson H., Aspegren H., Himler A.1996,„Interactions between wastewater quality and phosphorus release in the anaerobic reactor of the EBPR process. *Wat.Res.*,30,1996,1517-1527.
- Ekama G.E., Wentzel M.C.,1999,Difficulties and developments in biological nutrient removal technology and modelling. *Wat.Sci.Tech.*,39 nr 6, 1-11.
- Jardin H., Pöpel H.J.,1996, Influence of the enhanced biological phosphorus removal on the waste activated sludge production. *Wat.Sci.Tech.*,34 nr 1-2,17-23.
- Jönsson K., Johansson P., Christensson M., Lee N., Lie E., Welander T.,1996,„Operational factors affecting enhanced biological phosphorus removal at the wastewater treatment plant in Helsingborg, Sweden. *Wat.Sci.Tech.*,34 nr 1-2, 67-74.
- Jönsson K., Pottier A., Dimitrova I., Nyberg U. ,2008, Utilising laboratory experiments as a first step to introduce primary sludge hydrolysis in full-scale, *Wat.Sci.Tech.*,57,1397-1403.
- Leszczyńska M.; Sozański M.M., 2009, Szkodliwość i toksyczność osadów i popłuczyn z procesu uzdatniania wody, *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych* nr 40, str.575585.

- Moser-Engeler R., Udert K.M., Wild D., Siegrist H., 1998, Products from primary sludge fermentation and their suitability for nutrient removal; *Wat.Sci.Tech.* Vol. 38 ,265-273.
- Mulkerrins D., Dobson A.D.W., Colleram E., 2004, Parameters affecting biological phosphate removal from wastewaters. *Environmental International*, 30, 249-259.
- Sozański M.M., 1999; *Technologia usuwania i unieszkodliwiania osadów z uzdatniania wody*, Wydaw. Politechniki Poznańskiej, 1999.
- Vollertsen J., Petersen G., Borregaard V.R., 2006, Hydrolysis and fermentation of activated sludge to enhance biological phosphorus removal, *Wat.Sci.Tech.* Vol. 53 nr 12, 55-64.
- Yang Q. et al., 2010, Enhanced efficiency of biological excess sludge hydrolysis under anaerobic digestion by additional enzymes, *Bioresource Technology* 101, pp. 2924-2930

4.2.4. Podsumowanie efektów

W rezultacie badań indywidualnych i zespołowych w ramach przedmiotowego osiągnięcia naukowego w obszarze badań nad oczyszczaniem ścieków i przeróbki osadów uzyskałem podane niżej następujące, najważniejsze rezultaty w zakresie oddziaływania na siebie procesów oczyszczania wody i oczyszczania ścieków:

- I. Realizując własny projekt badawczy w którym badałem wzajemne oddziaływanie procesów biologicznego oczyszczania ścieków oraz przeróbki osadów wykazałem że przedłużanie czasu prowadzenia hydrolizy i wstępnej fermentacji osadu wstępnego (stosowane dla podniesienia efektywności biologicznego usuwania związków biogenych) wywołuje istotne obniżenie produkcji gazu fermentacyjnego z osadu w trakcie jego końcowej stabilizacji beztlenowej; przedstawiłem metodykę określania rzeczywistego obniżenia produkcji biogazu w oparciu o testy respirometryczne;
- II. Wykazałem , że przedłużanie czasu fermentacji kwaśnej osadu czynnego powyżej ok. 1-1,5 doby wywołuje obniżenie jednostkowej produkcji 'biogazu', co w rezultacie znacząco zmniejsza możliwość odzyskania energii cieplnej i elektrycznej w procesie końcowej przeróbki osadów;
- III. Opracowałem jako współautor metodę precyzyjnego wyznaczania czasu zatrzymania osadu w komorach fermentacyjnych tak aby maksymalnie wykorzystać możliwości wytwarzania 'biogazu', poprawność tej metody potwierdziłem w pełnej skali technicznej;
- IV. Pracując w zespole międzynarodowym nad wykorzystaniem dezintegracji osadu do zwiększenia odzysku łatwo rozkładalnych źródeł węgla w procesach przeróbki osadów, wykazałem że dla uzyskania efekty technologicznego a jednocześnie utrzymania efektywności ekonomicznej tej metody w pełnej skali nie jest konieczne pełne rozbicie komórek bakterii, te obserwacje badawcze również potwierdziłem w praktyce w pełnej skali;

Wykorzystanie uzyskanych rezultatów w praktyce podnosi efektywność procesów oczyszczania ścieków i przyczynia się do bardziej efektywnego przetwarzania osadów w procesie ich końcowej przeróbki (przede wszystkim do odzysku energii).

Badania nad wzajemnym wpływem wybranych procesów oczyszczania wody prowadziłem jako uczestnik zespołów większych (nawet kilkunastoosobowych) , nie miały one charakteru tak jednoznacznie nowatorskiego, jak badania nad procesami oczyszczania ścieków i przeróbki osadów, najważniejsze z nich to:

- V. Wykazanie stopnia wtórnego zanieczyszczenia metalami wody do spożycia w trakcie procesów oczyszczania wody;

- VI. Opracowanie i weryfikacja metody zastosowania absorpcji właściwej do określania zmian stężenia naturalnej materii organicznej w poszczególnych procesach jednostkowych oczyszczania wody;

W swoich pracach zajmowałem się zagadnieniami „rozproszonymi” w różnych obszarach technologii oczyszczania wody i ścieków, zazwyczaj jednak zajmowałem się wzajemnymi powiązaniami pomiędzy tymi zjawiskami. Kończąc poszczególne etapy badań starałem się wdrażać rezultaty prac naukowych w obiektach pełnoskalowych.

Rezultatem publikacyjnym prezentowanego osiągnięcia naukowego było opublikowanie 14 związanych z nim tematycznie artykułów w recenzowanych czasopismach i materiałach konferencyjnych z czego:

- 5 artykułów opublikowałem w czasopismach indeksowanych na Web of Science z listy JCR (były to artykuły samodzielne bądź o moim udziale autorskim nie niższym niż 50%);
- 2 moje pozycje zostały opublikowane w wydawnictwach umieszczonych w Web of Science Core Collection (1 artykuł + 1 rozdział w książce w języku angielskim);
- 2 artykuły zamieszczone zostały w suplementach do wydawnictw z listy JCR;
- 1 publikacja została zamieszczonych w czasopiśmie polskim indeksowanych na tzw liście B Ministerstwa Szkolnictwa Wyższego i Nauki;
- 1 publikacja to rozdział w monografii wydanej za granicą;
- 1 publikacja to rozdział w monografii wydanej w kraju;
- 2 artykuły zostały opublikowane w materiałach konferencji międzynarodowych.

Łączna liczba moich publikacji została zestawiona w tabeli 1. podsumowującej wykaz prac naukowych w załączniku „Wykaz opublikowanych prac naukowych (...)”.

4.3. Opis badań i opublikowanych prac naukowych poprzedzających i uzupełniających przedstawione osiągnięcie naukowe

4.3.1. Przebieg pracy naukowej do uzyskania stopnia doktora nauk technicznych⁶

Zagadnieniem wzajemnego] wpływu procesów zachodzących w różnych podsystemach infrastruktury wodno-ściekowej zainteresowałem się jeszcze jako student kierunku budownictwo wodne Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej, angażując się w prace Koła Naukowego Hydrologów. Później, już jako pomoc techniczna (będąc jeszcze studentem) uczestniczyłem w pracach badawczych dotyczących wpływu rodzaju zanieczyszczeń w w odzie ujmowanej na wybór technologii uzdatniania, prowadzonych w Instytucie Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska. W tym okresie poznawałem pierwsze relacje pomiędzy procesami zachodzącymi podczas ujmowania, uzdatniania i przesyłu wody oraz w trakcie odbioru i oczyszczania ścieków komunalnych To zainteresowanie zdecydowało o poszerzeniu, w ramach indywidualnego programu studiów, zakresu odbywanych przez mnie przedmiotów o wszystkie przedmioty związane z zaopatrzeniem w wodę i oczyszczaniem ścieków. Opublikowałem w materiałach konferencji i seminariów krajowych (oczywiście jako współautor) swoje pierwsze artykuły, dotyczące problematyki wymiarowania oraz eksploatacji urządzeń [B.3.0.1;B.3.0.2.;B.3.0.3]

⁶ Oznaczenia bibliograficzne publikacji własnych są zgodne z numeracją zastosowaną w „Wykazie opublikowanych prac twórczych(...)”, stanowiącym załącznik do tego autoreferatu

Stopień magistra inżyniera budownictwa wodnego uzyskałem po obronie pracy: *„Analiza systemu zbiorników retencyjnych z uwzględnieniem wybranych zagadnień jakościowych”*. Wtedy po raz pierwszy zainteresowałem się wzajemnymi powiązaniami rozwiązań technicznych w gospodarce wodnej, w tym szczególnym przypadku: powiązaniem sposobu zabudowy zlewni rzeki górskiej (kilkoma zbiornikami retencyjnymi) ze zmianami jakości wody ujmowanej w ujęciu poniżej najniższej położonej zapory. Opracowałem autorski program komputerowy pozwalający na prognozowanie zmian stężenia związków fosforu w wodzie, kilka lat później na tej podstawie powstanie moja pierwsza samodzielna publikacja, którą opublikowałem już jako pracownik Politechniki Krakowskiej [3.0.6.]. Odtąd moje zainteresowania krystalizowały się coraz bardziej wokół zagadnień wpływu obecności związków fosforu na procesy zachodzące w środowisku wodnym: źródeł jego pochodzenia, wpływu na pogarszanie jakości wody ujmowanej oraz procesów technologicznych niwelujących te niekorzystne zmiany. Z czasem moje zainteresowania poszerzyłem o pozostałe związki biogenne obecne w wodzie, jednak zainteresowanie fosforem nadal pozostaje moim podstawowym obszarem badań. W okresie, kiedy uzyskałem stopień magistra inżyniera (15.02.1983) nie prowadzono studiów doktoranckich a możliwości podjęcia pracy naukowej były bardzo ograniczone, dlatego zdecydowałem się rozpocząć pracę w Przedsiębiorstwie Budownictwa Hydrotechnicznego i Rurociągów Energetycznych „Energopol-2” – firmie państwowej, od wielu lat nieistniejącej. Pracowałem na różnych stanowiskach w nadzorze poczynając od inżyniera stażysty aż do pełnienia funkcji kierownika obiektu. Specyfika firmy pozwalała mi nabywać umiejętności zawodowe zarówno w zakresie budownictwa wodnego jak i budowy ujęć i zakładów uzdatniania wody a w końcowym okresie także oczyszczalni ścieków. Po odbyciu wymaganego stażu i przejściu kwalifikacji, według wówczas obowiązującego trybu, uzyskałem w roku 1986 uprawnienia do kierowania robotami budowlanymi bez ograniczeń w specjalności instalacyjno-inżynieryjnej a następnie także w specjalności budowlano-inżynieryjnej. W tym okresie mój kontakt z Uczelnią ograniczał się do pełnienia funkcji pełnomocnika mojego ówczesnego Pracodawcy ds. realizacji praktyk zawodowych odbywanych przez studentów Politechniki Krakowskiej. W międzyczasie odbyłem roczną służbę wojskową w trybie przewidzianym dla absolwentów uczelni, służąc po zakończeniu Szkoły Podchorążych w jednostkach inżynieryjno-budowlanych.

Dzięki czynnej przynależności do Polskiego Zrzeszenia Inżynierów i Techników Sanitarnych uczestniczyłem w konferencjach zawodowych organizowanych przez to stowarzyszenie, publikując w materiałach seminariów krajowych dwa referaty będące kontynuacją moich studenckich zainteresowań [B.3.0.4,B.3.0.5]. Moje starania o podjęcie pracy na Politechnice Krakowskiej spowodowały przeniesienie mnie, na zasadzie porozumienia zakładów pracy, na stanowisko asystenta stażysty w Zakładzie Oczyszczania Wody i Ścieków stanowiącego część Instytutu Zaopatrzenia w Wodę i Ochrony Środowiska na Wydziale Inżynierii Sanitarnej i Wodnej⁷ Politechniki Krakowskiej ze skutkiem od dnia 1.09.1986. Praca naukowa rozpoczęta pod kierunkiem twórcy tego Zakładu doc. dr inż. Jerzego Kurbiela (późniejszego prof.dr hab. inż. - zmarłego w 2002 roku) koncentrowała się już wtedy na wzajemnym oddziaływaniu różnych procesów w oczyszczaniu wody i ścieków. Jako członek zespołu realizowałem prace badawcze, których docelowym efektem miało być zastosowanie odnowy ze ścieków miejskich dla celów przemysłowych. Był to obszar najbardziej zbieżny z moimi ówczesnymi zainteresowaniami naukowymi. Prowadziłem badania na stacji pilotowej odnowy wody pracującej w trybie ciągłym w oczyszczalni ścieków Krakowie-Płaszowie, prowadziłem prace na tej stacji - stworzonej pod kierunkiem Śp. Prof. J.Kurbiela – od uczestnictwa w

⁷ Obecnie Wydział nosi nazwę Wydziału Inżynierii Środowiska

jej montażu do zakończenia programu. Moje badania obejmowały różne strategie usuwania fosforu ze ścieków miejskich tak, aby uzyskać wodę niepodatną na zjawiska eutrofizacji w trakcie wykorzystywania w obiegach chłodzenia urządzeń oraz wytwarzania wody dla celów technologicznych przy produkcji urządzeń metalowych.

W tym okresie nie było w Polsce jeszcze ani jednej oczyszczalni pracującej w oparciu o reaktor wielofazowy do zintegrowanego usuwania związków węgla, fosforu i azotu dlatego można uznać, że nasze ówczesne badania stanowiły jeden z pierwszych silnych fundamentów do wprowadzenia (dekadę później) tej technologii jako dominującej metody usuwania związków biogenych ze ścieków w Polsce. Efektem mierzalnym mojej pracy naukowej były wewnętrzne raporty z badań własnych i działalności statutowej⁸ oraz artykuły, coraz bardziej koncentrujące się na problematyce odnowy wody: początkowo w materiałach seminariów i konferencji krajowych o tematyce ogólnej zaopatrzenia w wodę [B.0.1; B.3.0.7; B.3.0.8] w następnym okresie coraz więcej jednak czasu poświęcałem zagadnieniom usuwania fosforu i rozwiązaniom technologicznym układów odnowy wody [B.2.0.1; B.2.0.2; B.3.0.9; B.3.0.10; B.3.0.11, B.3.0.12];

Wtedy powstał mój pierwszy artykuł w czasopiśmie indeksowanym w JCR [A.0.1] (ośmiokrotnie cytowany w Web of Science), w tym samym roku opublikowałem wraz z moim przyszłym Promotorem pracy doktorskiej Prof. dr hab. inż. J.Kurbielem mój drugi artykuł w czasopiśmie indeksowanym w JCR [A.0.2]. Wtedy, ok 1991 roku, wykrystalizowały się moje plany dotyczące kierunku mojej pracy doktorskiej. Zgodnie z moim naukowym zainteresowaniem, obejmować ona miała wpływ wstępnego chemicznego usuwania fosforu na prace wielofazowych reaktorów biologicznych do zintegrowanego usuwania związków biogenych. Podjąłem prace badawcze na wspomnianej stacji pilotowej), których celem było sprawdzenie czy i na ile - wstępne strącanie fosforu wpływa na pracę reaktorów wielofazowych (w tym okresie strącanie wstępne było powszechną, w Polsce niemal jedyną, praktyką usuwania tego pierwiastka ze ścieków). Moje zainteresowanie właśnie tym zagadnieniem wynikało z obserwacji, iż stosowanie wyższych niż stechiometryczna dawek środków strącających (a badałem sole zarówno glinu jak i żelaza) skutkuje mniej efektywnym usuwaniem azotu i fosforu w reaktorze wielofazowym. Metodę badawczą opracowałem w roku 1992 w trakcie pobytu stypendialnego w Politechnice Królewskiej (KTH) w Sztokholmie⁹, gdzie w zespole Profesora Bengta Hultmana pracowałem w zespole opracowującym i testującym nowatorską wówczas procedurę oznaczania różnych frakcji ChZT jako miary zawartości w ściekach związków węgla, przyswajalnych przez bakterie odpowiedzialne za nadmiarowe biologiczne usuwanie fosforu oraz biologiczne usuwanie azotu. Dzięki kontaktom Prof. Hultmana z niedostępnymi wtedy dla Polaków ośrodkami naukowymi w RPA miałem dostęp do najnowszej wówczas literatury, w wyniku czego opracowałem autorską modyfikację metody Wentzla oznaczania łatworozkładalnego ChZT. Metodę tę w późniejszych latach prezentowałem w Polsce, w wyniku czego stosowano ją w innych ośrodkach naukowych [B.3.8, B.3.17]. W pracy doktorskiej wykazałem niekorzystny wpływ wstępnego strącania fosforu, które – szczególnie przy wyższych dawkach środka strącającego – mogło powodować niedobór łatworozkładalnych związków węgla w reaktorach wielofazowych. Moje badania potwierdzały tezę, że najbardziej prawdopodobną przyczyną tego niekorzystnego zjawiska jest zbyt efektywne usuwanie związków węgla w postaci cząsteczkowej w procesie sedymentacji wstępnej

⁸ Zestawienie raportów z badań własnych i badań statutowych znajduje się w załączniku do niniejszego autoreferatu „Informacje dodatkowe”

⁹ W roku 1991 uzyskałem w drodze konkursu stypendium badawcze Instytutu Szwedzkiego i spędziłem 4 miesiące w Politechnice Królewskiej w Sztokholmie

(wspomaganej badaniem strącaniem), w wyniku czego hydroliza i wytwarzanie lotnych kwasów tłuszczowych, niezbędne dla prawidłowego przebiegu sekwencji procesów uwalniania/przyswajania fosforanów w warunkach beztlenowych i tlenowych, mogą nie być wystarczające dla poprawnej pracy reaktora. Dawało to argument za odejściem od wstępnego strącania dużą dawką na rzecz wyłącznie biologicznego usuwania fosforu, ewentualnie procesu biologicznego uzupełnianego strącaniem symultanicznym. W roku 1994 na podstawie mojego dorobku zawodowego, realizowanego równolegle z pracą naukowo-badawczą, uzyskałem uprawnienia do projektowania w specjalności instalacyjno-inżynieryjnej. W tym okresie odbyłem dwa dwutygodniowe staże w Stanach Zjednoczonych: w 1990 roku w Agencji Ochrony Środowiska (US EPA) i w 1995 roku w Water Environment Federation.

Pracę doktorską (Promotor Prof. dr hab. inż. Jerzy Kurbiel) pod ostateczną nazwą „Analiza wzajemnego oddziaływania chemicznego i biologicznego usuwania fosforu w procesie odnowy ze ścieków miejskich” obroniłem 27.04.1996 roku na Wydziale Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej, uzyskując tytuł doktora nauk technicznych. Otrzymałem wyróżnienie pracy doktorskiej ze strony macierzystej Rady Wydziału a następnie w roku 1997 otrzymałem za nią Nagrodę Ministra Edukacji Narodowej za wybitne osiągnięcia naukowe.

4.3.2. Przebieg pracy naukowej po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych

W okresie po obronie pracy (1996-2002), opublikowałem szereg artykułów przedstawiających uzyskane wyniki badań nad różnymi metodami usuwania fosforu (np.[B.3.1.,B.3.2.,B.3.4, B.3.6.,B.3.7.,B.3.10.]). Ze względu na to, iż w tym okresie dzieliłem zainteresowania pomiędzy oczyszczanie ścieków a oczyszczanie wody, opublikowałem – głównie w krajowych materiałach konferencyjnych – kilka rezultatów mojej działalności wdrożeniowej w zakresie oczyszczania wody (np.[B.3.5., B3.9.]). W moim przypadku, jednocześnie zainteresowanie się procesami oczyszczania wody i oczyszczania ścieków było uzasadnione tym, że zajmując się wówczas odnową wody musiałem znacząco poszerzyć wiedzę dotyczącą procesów koagulacji, filtracji i dezynfekcji (w okresie tym procesy membranowe w odnowie wody pozostawały w Polsce głównie w obszarze rozważań teoretycznych i przedwdrożeńowych). Po obronie pracy doktorskiej ukazały się kolejne dwa artykuły indeksowane w JCR, których byłem współautorem [A.1.1, A.1.2.] obie te pozycje były później cytowane w czasopiśmie indeksowanych przez Web of Science.

W trakcie stypendium podoktorskiego w Politechnice Sztokholmskiej, które odbyłem w roku 1996 rozpocząłem pracę nad monografią typu studium bibliograficzne podsumowujące stan wiedzy i perspektywy zaawansowanego usuwania fosforu ze ścieków. Monografię tę zatytułowaną „Advanced Wastewater Treatment - Phosphorus removal from wastewater – A Literature Review” opublikowałem w 1997 roku w Politechnice Królewskiej w Sztokholmie jako pierwszą z monografii „*Joint Polish Swedish Reports*” (seria ta jest wydawana do dziś). Książka o objętość 106 stron stanowi studium ówczesnego stanu wiedzy, jednak jest ciągle cytowana i stanowi mój najcenniejszy dorobek z punktu widzenia bibliometrii (15 cytowań na Web of Science, 45 cytowań na Harzing's Publish or Perish ponadto ok 40 nieindeksowanych cytowań w innych pracach naukowych, dyplomach, pracach doktorskich publikowanych etc.). W roku 1998 Rada Wydziału powierzyła mi funkcję Prodziekana Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Krakowskiej, czyniąc mnie odpowiedzialnym za wdrożenie dwustopniowego systemu studiów na Wydziale (zostałem powołany w drugim roku kadencji, dlatego pełniłem funkcję tylko przez dwa lata). Za tę działalność otrzymałem w 2001 roku nagrodę zespołową Ministra Edukacji Narodowej. W końcu XX wieku zacząłem realizować pierwsze

badania dotyczące wzajemnego wpływu procesu biologicznego nadmiarowego usuwania fosforu i przeróbki osadów ściekowych (w tym okresie po raz pierwszy zająłem się kwestią wytwarzania gazu fermentacyjnego podczas przeróbki osadów tzw. „biogazu”). Rezultatem są raporty (niepublikowane) z prac badawczych i wdrożeniowych oraz artykuły prezentowane początkowo na konferencjach krajowych (np. [B.3.13., B.3.14.], następnie na seminariach międzynarodowych i w polskich czasopismach naukowych i branżowych stanowiące wstęp do badań, których rezultatem są artykuły stanowiące podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego opisane w części I tego autoreferatu.

Moje zainteresowania skupiały się na kilku obszarach zagadnień:

- i. W zakresie oczyszczania ścieków na oddziaływaniu procesów przeróbki osadów w tym szczególnie osadu wstępnego na proces nadmiarowego usuwania fosforu i jednocześnie wpływ procesów związanych z intensyfikacją biologicznego nadmiarowego usuwania fosforu na produkcję gazu fermentacyjnego; pobocznymi obszarami zainteresowań jest tutaj maksymalizacja uzysku łatworozkładalnego ChZT np. na drodze dezintegracji. Publikacje dotyczące tych zagadnień stanowią podstawową część mojego osiągnięcia naukowego, przedstawionego w punkcie 4.2. tego autoreferatu. Równocześnie z powstawaniem najważniejszych publikacji, wymienionych w załączniku „Wykaz opublikowanych prac naukowych” w części I., powstało szereg publikacji, prezentujących wyniki moich badań także w publikacjach o niższym prestiżu naukowym, jednak publikacje te przybliżały przedmiot badań szerszej grupie odbiorców. Były to artykuły dotyczące:
 - a. Problematyki usuwania fosforu (np.[B.1.2.;B.1.7.;B.2.1.;B.3.1.; B.3.4.; B.3.6.; B.3.7.;B.3.8.;B.3.10.;B.3.12.]);
 - b. Przeróbki osadów w powiązaniu z usuwaniem fosforu ze ścieków(np.[A.1.3.,A.1.5.;B.1.10.;B.1.11.;B.1.19.;B.2.10.;B.3.2.; B.3.1.15.; B.3.24.; B.3.30.;B.3.40.;B.3.43.;B.3.44]);
 - c. Zagadnień odzysku energii w procesach przeróbki osadów (np.[B.1.3.;B.1.4.;B.1.5.;B.1.6.;B.1.9.;B.1.13.;B.1.15;B.1.18.; B.3.1.14.;B.3.46.]);
 - d. Możliwości intensyfikacji uzysku gazu fermentacyjnego np. na drodze dezintegracji (np.[A.1.6.;B.1.8.;B.1.16.;B.2.10.;B.3.21.; B.3.33.; B.3.33.;B.3.34.;B.3.35.;B.3.41.;B.3.48]);
- ii. W zakresie oczyszczania wody, działając z inspiracji różnych przedsiębiorstw wodociągowych prowadzę prace na pograniczu badań i aplikacji w zakresie wpływu wysokoefektywnego usuwania węgla organicznego na przebieg dezynfekcji wody oraz; pobocznym obszarem zainteresowań – wynikającym z zainteresowaniami osadami ściekowymi stało się prowadzenie badań nad powstawaniem i możliwościami przeróbki osadów z produkcji wody. W wyniku prac prowadzonych wspólnie z MPWiK SA w Krakowie powstało kilka publikacji prezentujących tę tematykę (np.[B.1.12.;B.2.2.;B.2.3.;B.2.4.;B.2.5.;B.2.6.;B.2.7.B.3.25.;B.3.48]);
- iii. Kontynuację zainteresowania wzajemnymi oddziaływaniami procesów jednostkowych stosowanych w oczyszczaniu wody stanowi wykorzystywanie wiedzy o mechanizmach koagulacji ścieków solami glinu i żelaza jaką nabyłem w trakcie pracy doktorskiej, wiedza ta okazała się być bardzo przydatna w badaniach i wdrożeniach w zakresie usuwania naturalnej materii organicznej (NOM) z wody powierzchniowej oraz przedostawania się metali do wody w procesach uzdatniania. Wymiernym efek-

tem publikacyjnym (oprócz pozycji omówionych w pktcie 4.2. tego autoreferatu) były artykuły ([A.1.7., B.1.14.;B.1.17.;B.2.12.;B.3.5.;B.3.9.;B.3.20.;B.3.22.;

Przedstawiony powyżej, ponad dwudziestoletni ciąg prac badawczych i wdrożeniowych stał się podstawą prac ukierunkowanych na interakcje procesów technologicznych w wysokoefektywnym oczyszczaniu wody i ścieków, stanowiących najbardziej istotną część mojego dorobku, przedstawionego w punktach 3.1. oraz 3.2. autoreferatu.

Dodatkowa aktywność badawcza, poza głównym nurtem moich zainteresowań, to próby zastosowania rachunku wektorowego do wypracowania właściwych decyzji w wyborze właściwych rozwiązań zakładów uzdatniania wody (np.[B.2.8.;B.2.9.; B.3.29.;B.3.32.;B.3.35. Prowadziłem te prace na własną rękę (tzn. mimo braku programów badawczych) i zamierzam je kontynuować w przyszłości, gdyż uważam że stanowią one szansę stworzenia bardziej niż dotychczas skutecznego narzędzia zarządzania ryzykiem w zaopatrzeniu w wodę. Prace te są w stadium początkowym, nie mogą być zatem jeszcze zaliczone do mojego osiągnięci naukowego w rozumieniu Ustawy.

