

dr hab. inż. Sylwia Myszograj, prof. UZ
Uniwersytet Zielonogórski
Instytut Inżynierii Środowiska

RECENZJA

Osiągnięcia naukowego:

Hamowanie procesu częściowej nitryfikacji/anammox – wpływ wybranych czynników środowiskowych,

a także istotnej aktywności naukowej dr inż. Grzegorza Cemy stanowiących podstawę postępowania habilitacyjnego.

Recenzja została opracowana na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej, prof. dr hab. Krzysztofa Labusa zawarte w piśmie z dnia 09.02.2026 r.

Ocenę przeprowadzono w oparciu o załączoną dokumentację obejmującą:

- wniosek o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka;
- potwierdzenie uzyskania stopnia naukowego doktora;
- autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych;
- wykaz osiągnięć naukowo-badawczych oraz informację o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki,
- a także dokumentację uzupełniającą (kopie dyplomów i poświadczeń, kopie publikacji naukowych).

Recenzja została przygotowana zgodnie z wymaganiami ujednoliconego tekstu ustawy Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz.U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.).

1. INFORMACJE OGÓLNE

Pan Grzegorz Cema w 2003 r. uzyskał tytuł magistra inżyniera na kierunku inżynieria środowiska, w specjalności Biotechnologia środowiska, na Politechnice Śląskiej na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki. Praca magisterska pt. „Przemiana wysokich stężeń związków azotu w reaktorze biomembranowym” została wykonana pod kierunkiem Pani prof. dr hab. inż. Joanny Surmacz-Górskiej. Kandydat w 2010 r. uzyskał stopień doktora filozofii (in the subject area of Land and Water Resources Engineering) w Royal Institute of Technology (KTH) Sztokholm, Szwecja oraz równolegle doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska na Politechnice Śląskiej. Rozprawa doktorska pt. „Comparative study on different anammox systems” została przygotowana pod kierunkiem Pani prof. dr hab. inż. Joanny Surmacz-Górskiej (Politechnika Śląska) oraz Pani prof. Elżbiety Płaza (KTH). Dotychczasowa działalność zawodowa Pana Grzegorza Cemy od 2008 r. była nieprzerwanie związana z pracą w jednostkach naukowych Politechniki Śląskiej. Od 2012 r. do chwili obecnej jest zatrudniony na stanowisku adiunkta w Katedrze Biotechnologii Środowiskowej.

2. OCENA OSIĄGNIĘĆ NAUKOWYCH HABILITANTA

Jako osiągnięcia, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) Habilitant wykazał cykl dziewięciu tematycznie powiązanych artykułów opublikowanych w latach 2012-2025, obejmujących obszar badawczy zebrany pod tytułem:

HAMOWANIE PROCESU CZĘŚCIOWEJ NITRYFIKACJI/ANAMMOX – WPLYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW ŚRODOWISKOWYCH

- P1 Tomaszewski M., **Cema G.**, Ziemińska-Buczyńska A.: *Influence of temperature and pH on the anammox process: a review and meta-analysis*, Chemosphere, vol. 182, **2017**, s. 203-214, DOI:10.1016/j.chemosphere.2017.05.003; IF 4,427; MNiSW 35 pkt, **udział 25%**;
- P2 Tomaszewski M., **Cema G.**, Ziemińska-Buczyńska A.: *Significance of pH control in anammox process performance at low temperature*, Chemosphere, vol. 185, **2017**, s. 439-444, DOI:10.1016/j.chemosphere.2017.07.034; IF 4,427; MNiSW 35 pkt, **udział 25%**;
- P3 **Cema G.**, Sochacki A., Kubiłowicz J., Gutwiński P., Surmacz-Górska J.: *Start-up, modelling and simulation Anammox process in a membrane bioreactor*, Chemical and Process Engineering, Komitet Inżynierii Chemicznej i Procesowej Polskiej Akademii Nauk, vol. 33, nr 4, **2012**, s. 639-650, DOI:10.2478/v10176-012-0054-6; IF 0,394; MNiSW 15 pkt, **udział 60%**;
- P4 Gutwiński P., **Cema G.**, Ziemińska-Buczyńska A., Surmacz-Górska J., Osadnik M.: *Startup of the anammox process in a membrane bioreactor (AnMBR) from conventional activated sludge*, Water Environment Research, vol. 88, nr 12, **2016**, s. 2268-2274; IF 0,91; MNiSW 20 pkt, **udział 45%**;
- P5 Gutwiński P., **Cema G.**: *Difficulties in the anammox process start-up in sequencing batch reactor at low temperature*, Journal of Water Chemistry and Technology, vol. 39, nr 4, **2017**, s. 237244, DOI:10.3103/S1063455X17040105; IF 0,388; MNiSW 15 pkt, **udział 50%**;
- P6 Gutwiński P., **Cema G.**, Surmacz-Górska J.: *The effect of Pb²⁺ short term stress on the anammox biomass - a batch test experiment*, Journal of Water Chemistry and Technology, vol. 42, nr 3, **2020**, s. 204-210, DOI:10.3103/S1063455X20030066; IF 0,669; MNiSW 20 pkt, **udział 45%**;
- P7 **Cema G.**, Gutwiński P., Ziemińska-Buczyńska A., Ciesielski S., Surmacz-Górska J.: *Evaluation of the long-term effect of Cr(III), Zn(II), Cd(II), Cu(II), Ni(II) and Pb(II) on the anammox process in a continuous-flow anaerobic membrane-assisted bioreactor (AnMBR)*, Water Air and Soil Pollution, Springer, vol. 236, nr 2, **2025**, Numer artykułu: 86, s. 1-15, DOI:10.1007/s11270-024-07705-1; IF 3,8; MNiSW 70 pkt, **udział 55%**;
- P8 Gutwiński P., **Cema G.**, Ziemińska-Buczyńska A., Wyszynska K., Surmacz-Górska J.: *Long-term effect of heavy metals Cr(III), Zn(II), Cd(II), Cu(II), Ni(II), Pb(II) on the anammox process performance*, Journal of Water Process Engineering, Elsevier Limited, vol. 39, **2021**, Numer artykułu: 101668, DOI:10.1016/j.jwpe.2020.101668; IF 7,34; MNiSW 100 pkt, **udział 55%**;
- P9 **Cema G.**, Żabczyński S., Ziemińska-Buczyńska A.: *The assessment of the coke wastewater treatment efficacy in rotating biological contractor*, Water Science and Technology, vol. 73, nr 5, **2016**, s. 1202-1210, DOI:10.2166/wst.2015.594; IF 1,197; MNiSW 20 pkt, **udział 60%**.

Artykuły będące podstawą oceny złożonego wniosku, zostały opublikowane w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym. Łączny Impact Factor określony na podstawie wartości wskaźnika w roku ukazania się publikacji wynosi $IF = 23,552$, liczba punktów MNiSW wynosi 330 pkt. W 3 artykułach (na 9) Habilitant jest pierwszym autorem. Udział Kandydata w publikowanych pracach dotyczył opracowania koncepcji badań, zaplanowania i realizacji testów eksperymentalnych, interpretacji wyników, przygotowania i redakcji manuskryptów, i był na średnim poziomie 47% (w 5 artykułach powyżej 50%).

Celem naukowym badań postawionym przez Kandydata było ustalenie mechanizmów hamujących aktywność bakterii anammox oraz ocena zdolności ich adaptacji do stresorów środowiskowych.

Cel i zakres badań Habilitant ustalił na podstawie przeglądu stanu wiedzy w obszarze metod i mechanizmów usuwania azotu ze ścieków. Oczyszczalnie ścieków muszą sprostać rosnącym wymaganiom dotyczącym efektywnego usuwania biogenów z jednoczesnym uwzględnieniem stosowania energooszczędnych technologii oraz dążenia do neutralności energetycznej. Klasyczne procesy nitrifikacji i denitryfikacji są energochłonne. Alternatywą jest proces anammox, który pozwala na znaczne ograniczenie zużycia energii, emisji gazów cieplarnianych oraz produkcji osadu, przy zachowaniu wysokiej efektywności usuwania azotu. Skuteczność procesu anammox zależy jednak od warunków środowiskowych. Habilitant szczególną uwagę poświęcił toksyczności wolnego amoniaku, wolnego kwasu azotowego oraz metali ciężkich. Analizował także zdolność adaptacyjną biomasy oraz czynniki wpływające na czas wpracowania i stabilność procesu.

Na podstawie analizy danych opisanej w artykule P1, Habilitant wykazał potencjalną możliwość prowadzenia procesu anammox w niskich temperaturach po odpowiedniej adaptacji biomasy, co ma istotne znaczenie praktyczne w klimacie umiarkowanym. Cennym było wskazanie szczepów odpornych na niskie temperatury oraz roli formy biomasy (granule, biofilm) w zapewnieniu stabilności procesu. Szczegółowa analiza wpływu pH na aktywność bakterii oraz powstawanie toksycznych form azotu, wraz z podkreśleniem konieczności precyzyjnej kontroli tego parametru stanowią ważne spostrzeżenie aplikacyjne. Wykazanie, że odpowiednia kontrola i sterowanie wartością pH może częściowo kompensować negatywny wpływ niskiej temperatury było podstawą do przeprowadzenia badań eksperymentalnych przez Kandydata i weryfikacji danych modelowych (P2: opisano serię testów porcjowych prowadzonych w temperaturze od 10 do 30 °C przy kontrolowanym pH w zakresie od 6,5 do 8,5). Istotnym osiągnięciem jest jednoznaczne wskazanie temperatury i pH jako kluczowych parametrów procesu, wraz z identyfikacją zakresów krytycznych oraz wykazaniem możliwości optymalizacji pracy układu. Jednocześnie wykazano, że w warunkach niższych temperatur zakres optymalnych wartości pH ulega zawężeniu, co oznacza, że precyzyjna kontrola tego parametru może istotnie poprawiać efektywność procesu w klimacie umiarkowanym. Ważnym osiągnięciem jest także wykazanie braku istotnej interakcji między tymi czynnikami, co upraszcza podejście do sterowania procesem anammox. Na podkreślenie zasługuje pogłębiona analiza wpływu wolnego amoniaku oraz wolnego kwasu azotowego, w tym identyfikacja progów inhibicji, charakterystyka faz kinetycznych oraz wykazanie synergistycznego, niekorzystnego oddziaływania tych związków w zmiennych warunkach operacyjnych, np. takich jak rozruch czy przeciążenia reaktora. Wykorzystanie rzeczywistej biomasy z instalacji pełnoskalowej oraz dopasowanie modeli Haldane'a i Aiba znacząco podnoszą aplikacyjny wymiar badań. Identyfikacja wpływu czynników środowiskowych, takich jak temperatura, pH oraz stężenia FA i FNA były podstawą do dalszych badań nad rozwiązaniami praktycznymi, z uwzględnieniem problemów technologicznych takich jak długi czas wpracowania podczas rozruchu wynikający zarówno z wolnego tempa wzrostu bakterii anammox, jak i z ich wrażliwości na zmienną jakość ścieków oraz obecność związków toksycznych (P3 i P4). Badania obejmowały uruchomienie procesu anammox w bioreaktorach membranowych oraz kalibrację rozszerzonego modelu ASM1, uwzględniającego udział bakterii anammox i innych mikroorganizmów autotroficznych. Model dobrze odwzorowywał dynamikę procesu i umożliwił identyfikację kluczowych parametrów dla stabilności układu. Habilitant wykazał, że w bioreaktorze

membranowym możliwe jest skuteczne uruchomienie procesu anammox i uzyskanie wysokiej efektywności usuwania azotu (>87%). Stabilizacja procesu nastąpiła po ok. 125 dniach, co potwierdza relatywnie długi okres rozruchu. Stopniowe zwiększanie obciążenia azotem pozwoliło na adaptację biomasy i rozwój bakterii anammox jako grupy dominującej, co potwierdzono analizą FISH. Istotną obserwacją było wykazanie wysokiej skuteczności stosowania membran, z jednoczesnym zidentyfikowaniem istotnego ograniczenia technologicznego w postaci foulingu, wymagającego regularnej kontroli i czyszczenia membran. Kandydat wykazał, że mimo zastosowania układów MBR, czas rozruchu procesu anammox pozostaje porównywalny z klasycznymi reaktorami, co wskazuje na potrzebę dalszej optymalizacji warunków startowych i sterowania. Stąd dalsze badania (P5) dotyczyły oceny możliwości uruchomienia procesu częściowej nityfikacji/anammox w reaktorze SBR pracującym w warunkach zbliżonych do rzeczywistych oczyszczalni ścieków (ok. 20°C), bez dodatkowego dogrzewania. Założeniem było sprawdzenie potencjału wdrożeniowego technologii w warunkach klimatu umiarkowanego przy jednoczesnym ograniczeniu kosztów energetycznych. Przeprowadzone doświadczenia w dwóch reaktorach SBR wykazały, że w analizowanych warunkach nie udało się uzyskać stabilnego procesu anammox. Dominowała jedynie częściowa nityfikacja, a aktywność bakterii anammox została potwierdzona dopiero po długim okresie adaptacji (ok. 170 dni). Efektywność usuwania azotu była niska, a proces pozostawał niestabilny przez cały okres badań. Do najważniejszych osiągnięć tego etapu badań należy uznać wykazanie ograniczeń procesu: niską temperaturę, niekorzystne stężenia wolnego amoniaku (FA) i wolnego kwasu azotowego (FNA) oraz problemy technologiczne związane z krystalizacją struwitu, które dodatkowo destabilizowały pracę układu. Wyniki jednoznacznie wskazały, że uruchomienie procesu anammox w SBR w temperaturze około 20°C jest trudne i wymaga bardzo precyzyjnej kontroli warunków procesowych. Badania te dostarczyły istotnych informacji na temat barier ograniczających wdrożenie technologii anammox w warunkach rzeczywistych oraz potwierdziły konieczność dalszej optymalizacji procesu.

Kolejne badania prowadzone przez Habilitanta (P6–P8) dotyczyły kompleksowej oceny wpływu metali ciężkich na proces anammox w różnych warunkach operacyjnych i układach technologicznych (AnMBR oraz SBR). Na szczególne podkreślenie zasługuje wielopoziomowe podejście badawcze obejmujące zarówno krótkoterminową ekspozycję biomasy, jak i długotrwałą pracę reaktorów ciągłych oraz porcjowych, co pozwoliło na jednoznaczną ocenę odporności i mechanizmów inhibicji. W badaniach krótkoterminowych (P6) Kandydat wykazał, że ołów (Pb^{2+}) powoduje jedynie ograniczony spadek aktywności bakterii anammox, nie osiągając wartości IC_{50} . Oznacza to, że krótkotrwała ekspozycja na ołów nie prowadzi do trwałej destabilizacji procesu. Wyniki wskazują również na możliwy udział mechanizmów ochronnych biomasy (adsorpcja jonów na EPS, ograniczenie transportu do komórek), co tłumaczy relatywnie wysoką odporność układu na ten pierwiastek w warunkach impulsowego stresu. Kluczowym rezultatem części długoterminowej (P7) było wykazanie, że nawet bardzo niskie stężenia mieszaniny metali ciężkich (Cr^{3+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+} , Cu^{2+}) powodują gwałtowne obniżenie efektywności pracy reaktora AnMBR. Odnotowano spadek szybkości usuwania azotu z 0,21 do 0,05 g N/dm³·d oraz wyraźną akumulację azotynów, co potwierdza zaburzenie równowagi metabolicznej. Najważniejszym osiągnięciem jest jednoznaczne wskazanie cynku (Zn^{2+}) jako dominującego czynnika inhibicyjnego, odpowiadającego za destabilizację całego układu. Habilitant wykazał również, że usunięcie Zn^{2+} częściowo poprawia funkcjonowanie systemu, jednak regeneracja biomasy jest powolna i niepełna (czas rzędu około 80 dni), co wskazuje na długotrwały efekt stresu metalicznego. Dodatkowo zidentyfikowano próg krytyczny łącznego obciążenia metalami, powyżej którego dochodzi do szybkiej degradacji wydajności procesu. Zaobserwowano również zmiany w strukturze mikrobiologicznej – spadek udziału *Planctomyces* oraz wzrost organizmów potencjalnie odpornych na metale (np. *Paenibacillus sp.*), co sugeruje przesunięcia w biocenozie, jednak bez pełnej kompensacji funkcjonalnej.

W badaniach w SBR (P8) Kandydat potwierdził zależność efektu inhibicyjnego od składu mieszaniny metali oraz konfiguracji układu. Wykazano wysoką odporność biomasy na mieszaninę metali zawierającą w składzie: Cr^{3+} , Cd^{2+} i Pb^{2+} nawet przy podwyższonych stężeniach, bez istotnego spadku efektywności

usuwania azotu. Jednocześnie mieszaniny zawierające Zn^{2+} , Cu^{2+} i Ni^{2+} powodowały gwałtowne załamanie procesu, spadek wydajności oraz silną akumulację azotu azotynowego. Ponownie potwierdzono, że Zn^{2+} jest czynnikiem krytycznym, a jego efekt jest wzmacniany w obecności Cu^{2+} i Ni^{2+} (działanie synergistyczne). Istotnym wynikiem porównawczym było wykazanie różnic między systemami: układ SBR charakteryzował się większą stabilnością mikrobiologiczną i mniejszą podatnością na krótkoterminowe zakłócenia niż AnMBR, jednak w obu przypadkach cynk pozostawał głównym inhibitorem procesu.

Jak słusznie zauważa Habilitant proces anammox stanowi jedną z najbardziej obiecujących technologii biologicznego usuwania azotu, szczególnie dla ścieków o wysokim ładunku azotu i jednocześnie niskiej zawartości związków organicznych. Jego dotychczasowe zastosowanie koncentrowało się głównie na wodach osadowych powstających w procesach przeróbki osadów ściekowych po fermentacji metanowej, gdzie wysoka zawartość NH_4^+ oraz ograniczona ilość węgla organicznego sprzyjają rozwojowi autotroficznych bakterii anammox. W ostatnich latach wymagane jest rozszerzenie zakresu aplikacyjnego tej technologii na ścieki przemysłowe. Wśród nich szczególne znaczenie mają odcieki ze składowisk odpadów, które charakteryzują się ekstremalnie wysokimi stężeniami azotu amonowego, niską biodegradowalnością oraz obecnością licznych mikrozanieczyszczeń, w tym związków humusowych, fenoli, pestycydów i metali ciężkich. Dodatkowym utrudnieniem w oczyszczaniu jest ich zmienność w czasie, zależna od wieku składowiska i warunków hydrologicznych, co znacząco komplikuje stabilne prowadzenie procesów biologicznych. Jeszcze większe wyzwanie stanowią ścieki z przemysłu koksowniczego. Zawierają one jednocześnie wysokie stężenia azotu amonowego oraz mieszaninę związków toksycznych, takich jak fenole, cyjanki, tiocyjanki i siarczki. Substancje te wykazują działanie inhibicyjne wobec mikroorganizmów, a ich synergistyczne oddziaływanie dodatkowo potęguje destabilizację procesów biologicznych. W takich warunkach klasyczne układy nityfikacji i denityfikacji często okazują się niewystarczające lub wymagają intensywnego wspomaganie chemicznego i technologicznego. Wobec powyższych ograniczeń coraz większe znaczenie zyskują technologie niskoenergetyczne i oparte na biofilmie, takie jak proces anammox, szczególnie w konfiguracjach umożliwiających wysoką retencję biomasy (np. reaktory RBC).

Przedstawione przez Kandydata badania dotyczą zastosowania procesu anammox w oczyszczaniu ścieków przemysłowych: odcieków ze składowisk odpadów oraz ścieków koksowniczych. Kluczowym osiągnięciem w tym zakresie jest potwierdzenie, że mimo złożoności ich składu możliwe jest zastosowanie procesu anammox, pod warunkiem spełnienia restrykcyjnych warunków operacyjnych (kontrola DO, pH, temperatury oraz stosunku NH_4^+/NO_2^-) oraz wcześniejszego zmniejszenia składników toksycznych. Istotnym osiągnięciem jest także wskazanie przewagi układów biofilmowych i dwuetapowych, które umożliwiają stabilizację wolno rosnącej biomasy. W przypadku ścieków koksowniczych najważniejszym rezultatem badań było wykazanie, że proces anammox może zostać uruchomiony i utrzymany w długim okresie (ponad 900 dni), jednak wymaga bardzo długiego czasu adaptacji (do 400 dni) oraz stabilizacji biofilmu. Istotnym osiągnięciem jest identyfikacja przestrzennej funkcjonalności reaktora RBC. Habilitant stworzył wyraźny podział stref: pierwsza komora odpowiadała głównie za obniżenie ChZT, natomiast druga była miejscem dominującej aktywności anammox i usuwania azotu. Pokazuje to znaczenie struktury hydraulicznej i biofilmowej dla efektywności procesu. Wyniki jednoznacznie potwierdziły, że gwałtowne spadki efektywności są związane z obecnością inhibitorów, takich jak fenole, cyjanki oraz azotyny, jednak system wykazuje zdolność do częściowej regeneracji po okresie adaptacji mikrobiologicznej. Ważnym rezultatem jest również wykazanie, że biofilm pełni funkcję ochronną, umożliwiając przetrwanie i selekcję mikroorganizmów zdolnych do funkcjonowania w warunkach wysokiej toksyczności.

Za najważniejsze osiągnięcia wynikające z badań przeprowadzonych przez Habilitanta należy uznać:

1. Potwierdzenie, że proces anammox stanowi efektywną i perspektywiczną technologię usuwania azotu. Przeprowadzone badania jednoznacznie potwierdzają, że częściowa nityfikacja/anammox umożliwia wysoką skuteczność eliminacji azotu przy istotnie niższym zużyciu energii i braku konieczności stosowania zewnętrznych źródeł węgla, co stanowi istotną przewagę nad klasycznymi układami biologicznymi. Istotnym było wykazanie możliwości zastosowania anammox dla oczyszczania ścieków przemysłowych.
2. Ustalenie kluczowych ograniczeń wdrożeniowych procesu anammox, takich jak czynniki środowiskowe i toksyczność substratów: stabilność procesu determinowana jest przez temperaturę, pH oraz obecność toksycznych form azotu (FA, FNA), a także metali ciężkich i związków organicznych. Wykazano istnienie wyraźnych progów inhibicji oraz zależność toksyczności od warunków operacyjnych.
3. Udokumentowanie złożonego charakteru inhibicji i interakcji czynników hamujących. Wyniki badań potwierdziły, że inhibicja procesu anammox ma charakter wieloczynnikowy i często synergistyczny. Szczególnie istotne są interakcje FA–FNA oraz wpływ mieszanin metali ciężkich, z dominującą rolą cynku (Zn^{2+}) jako głównego czynnika destabilizującego w warunkach długoterminowych.
4. Wykazanie znaczenia czasu adaptacji oraz struktury układu technologicznego. Proces anammox wymaga długiego okresu rozruchu (od kilkudziesięciu do kilkuset dni), a jego stabilność zależy od typu reaktora i sposobu retencji biomasy. Układy membranowe i biofilmowe (MBR, AnMBR, SBR, RBC) sprzyjają utrzymaniu aktywnej biomasy, jednak nie eliminują problemu długiego wpracowania.
5. Potwierdzenie kluczowej roli biofilmu i selekcji mikrobiologicznej dla stabilizacji procesu. Struktury biofilmowe zapewniają ochronę biomasy i umożliwiają adaptację do warunków stresowych, jednak skuteczność procesu zależy od utrzymania równowagi mikrobiologicznej oraz kontroli warunków operacyjnych.
6. Opracowanie i wykorzystanie narzędzia analitycznego do modelowego opisu i optymalizacji procesu. Zastosowanie modeli kinetycznych oraz modelowania matematycznego (m.in. rozszerzonego ASM1, modeli Haldane'a i Aibya) umożliwiło opis dynamiki procesu, identyfikację parametrów krytycznych oraz ocenę wpływu czynników inhibicyjnych, co zwiększa potencjał predykcyjny i aplikacyjny uzyskanych wyników.

Podsumowując ocenę osiągnięcia naukowego Pana dr inż. Grzegorza Cemy pt. *Hamowanie procesu częściowej nityfikacji/anammox – wpływ wybranych czynników środowiskowych*, **uważam, że mieści się w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka i wnosi istotny wkład w jej rozwój.**

Pozytywnie oceniam warsztat badawczy Kandydata, jako zgodny z najlepszymi praktykami naukowymi i inżynierskimi. Zastosowane metody badań są aktualne i właściwie dobrane, umożliwiają kompleksową ocenę i nie budzą zastrzeżeń pod względem merytorycznym. Wkładem Habilitanta są zarówno treści i rozwiązania w zakresie badań podstawowych procesu anammox jak i aspektów praktycznego wykorzystania tej technologii. Uzyskane wyniki nie tylko pogłębiają wiedzę o mechanizmach inhibicji, ale również dostarczają konkretnych narzędzi do optymalizacji i stabilizacji procesu anammox w warunkach rzeczywistych oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych, co stanowi istotne osiągnięcie o dużym znaczeniu wdrożeniowym. Habilitant potwierdził potencjał procesu anammox jako technologii alternatywnej dla konwencjonalnych metod oczyszczania ścieków.

3. OCENA AKTYWNOŚCI NAUKOWEJ HABILITANTA

3.A. Istotna aktywność naukowa albo artystyczna realizowana w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury

Rozwój naukowy Kandydata był ściśle związany z współpracą z innymi jednostkami i zespołami badawczymi. Zgodnie z przedstawioną dokumentacją w zakresie informacji o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej Pan Grzegorz Cema:

1. W trakcie studiów doktoranckich odbył staż naukowy w Royal Institute of Technology (KTH) w Sztokholmie (2004 r., stypendium Sokrates/Erasmus). Uczestniczył w projekcie badawczym prowadzonym we współpracy z oczyszczalnią ścieków Himmerfjärden (Szwecja), dotyczącym procesu anammox w skali półtechnicznej. Uzyskane wyniki stanowiły podstawę rozprawy doktorskiej oraz były prezentowane na międzynarodowych konferencjach International Water Association (IWA), a także publikowane w recenzowanych czasopismach międzynarodowych we współautorstwie z badaczami ze Szwecji.
2. Równolegle uczestniczył w programie VISBY Swedish–Polish Research Cooperation (2001–2005), kontynuowanym następnie jako Swedish–Polish–Ukrainian Research Cooperation (2005–2009), finansowanym przez The Swedish Institute. W ramach tego programu brał udział w cyklu międzynarodowych seminariów naukowych, podczas których prezentował wyniki badań oraz uczestniczył w dyskusjach eksperckich. Spotkania odbywały się m.in. w Wiśle, Sztokholmie i Krakowie. Efektem tej współpracy było również współautorstwo rozdziałów w monografiach naukowych opracowanych wspólnie z zespołami badawczymi ze Szwecji i Polski.
3. Kontynuował i rozszerzał współpracę międzynarodową w ramach programu Swedish–Polish–Ukrainian Research Cooperation (2010–2012), uczestnicząc w seminariach i warsztatach (m.in. Kijów, Jałta) oraz prezentując wyniki badań i współtworząc rozdziały monografii naukowych. Pełnił funkcję ekspercką w procesach oceny naukowej, m.in. jako członek komisji egzaminacyjnej w obronie rozprawy doktorskiej na Universidad de Santiago de Compostela (2010).
4. Odbył staż w ramach programu FNP KOLUMB (2012–2013) w Uniwersytecie Leibniza w Hanowerze, gdzie prowadził badania nad wpływem FA i FNA na proces anammox. Wdrożył w Polsce metodykę manometrycznej oceny aktywności procesów biologicznych, prezentował wyniki na konferencjach IWA (Vancouver, Gdańsk), współkierował pracą magisterską realizowaną w ośrodku zagranicznym.
5. Uczestniczył w międzynarodowym projekcie BARITECH: *Integrated technology for improved energy balance and reduced greenhouse gas emissions at municipal wastewater treatment plants* (2013–2017), gdzie prowadził badania nad procesem PN/A w skali półtechnicznej, potwierdził kluczową rolę adaptacji biomasy oraz inhibicji przez FA, analizował rozwiązania hybrydowe i biofilmowe dla poprawy efektywności usuwania biogenów.
6. Aktywnie uczestniczył w europejskiej akcji COST ES1202: *Conceiving Wastewater Treatment in 2020 – Energetic, Environmental and Economic Challenges (Water_2020)* (2012–2016), pełniąc funkcję zastępcy członka Management Committee. Współtworzył działania sieci badawczej dotyczącej energooszczędnych technologii oczyszczania ścieków, prowadził wykłady i szkoły letnie. Efektem współpracy jest współautorstwo rozdziału w monografii IWA Publishing dotyczącej nowoczesnych technologii usuwania biogenów.
7. Współpracował z Politechniką Wrocławską (2014–2020) jako ekspert, realizując badania nad anammox w skali półtechnicznej oraz projekty dotyczące poprawy efektywności energetycznej oczyszczalni.
8. Był kierownikiem zespołu w projekcie SNIT: *Shortcut nitrification in activated sludge process treating domestic wastewater – key technology for low-carbon and clean wastewater treatment*

- (NOR/POLNOR/SNIT/0033/2019-00), (2020–2024). Opracował warunki selektywnej inhibicji NOB przy użyciu FNA, uczestniczył w rozwoju technologii skróconej nityfikacji/denitryfikacji, wspierał przeniesienie wyników na skalę pilotową, integrował badania z wcześniejszymi doświadczeniami w technologii anammox.
9. Uczestniczył w międzynarodowych projektach SIREN (*Integrated system for Simultaneous Recovery of Energy, organics and Nutrients and generation of valuable products from municipal wastewater*) i WasteValue (*Anaerobic biorefinery for resource recovery from waste feedstock*) (2020–2024). Prowadził badania nad odzyskiem energii i zasobów ze ścieków, opracował i zweryfikował układy biometanacji z dodatkiem wodoru, uczestniczył w rozwoju koncepcji gospodarki cyrkulacyjnej i LCA.
 10. Rozwijał współpracę międzynarodową i publikacyjną, obejmującą partnerów z Norwegii, Egiptu, Włoch i Polski, m.in. w obszarach: gospodarki osadowej, fermentacji wodorowej, hydrotermalnej karbonizacji i odzysku energii.

Na polu aktywności naukowej realizowanej w więcej niż jednej uczelni lub instytucji naukowej Kandydat wypełnił wymagania określone w postępowaniu habilitacyjnym.

3B. Pozostała aktywność naukowa

Najważniejszym efektem aktywności naukowej Pana Grzegorza Cemy było ugruntowanie roli jako eksperta w zakresie procesu anammox z silnym komponentem wdrożeniowym i międzynarodowym. Habilitant poza wiodącym kierunkiem badań, prowadził prace rozwojowe i uzupełniające w obszarze ściśle powiązanych dotyczących (na podstawie spisu dorobku naukowego zał. 4) biologicznych procesów oczyszczania ścieków oraz odzysku energii i surowców z odpadów. Prace obejmowały zarówno analizę parametrów operacyjnych wpływających na efektywność procesów, jak i szczegółowe badania mikrobiologiczne dotyczące struktury, dynamiki oraz aktywności drobnoustrojów odpowiedzialnych za przemiany azotu. Istotną część badań stanowiła również ocena wpływu czynników środowiskowych, takich jak obecność antybiotyków czy nanomateriałów na przebieg procesów biologicznych oraz mechanizmy adaptacyjne mikroorganizmów. Równolegle Habilitant prowadził badania związane z zagospodarowaniem osadów ściekowych i odpadów organicznych, ukierunkowane na produkcję biogazu i biowodoru oraz zwiększenie wydajności tych procesów poprzez zastosowanie metod wstępnej obróbki i integrację różnych technologii konwersji biomasy. Podejście badawcze Kandydata ma charakter interdyscyplinarny i łączy aspekty technologiczne, mikrobiologiczne oraz środowiskowe, przyczyniając się do rozwoju innowacyjnych i zrównoważonych rozwiązań w gospodarce wodno-ściekowej.

Do osiągnięć związanych z aktywnością naukową należy również wykonanie 30 recenzji dla czasopism (m.in. *Chemosphere*, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *Journal of Cleaner Production*, *Journal of Environmental Management*, *Water Research*, *Water Air and Soil Pollution*).

Wymiernymi wskaźnikami wartości i ilości dorobku naukowego są informacje naukometryczne. Przed uzyskaniem stopnia doktora dorobek publikacyjny Habilitanta obejmował 3 publikacje o łącznym IF 3,72 oraz 5 rozdziałów w monografiach. Po uzyskaniu stopnia doktora Kandydat opublikował 37 artykułów w czasopismach i 83 rozdziały w monografiach (łącznie punktacja 128,764 IF bez podziału na współautorów). Indeks Hirsha publikacji Habilitanta zgodnie z Web of Science wynosi 16, liczba cytowań 834 - stan zgodnie z wykazem w dokumentacji oraz 17 i 918 odpowiednio na dzień sporządzenia recenzji. Habilitant wyniki badań prezentował na 28 konferencjach naukowych, był wykonawcą w 13 projektach naukowych finansowanych ze źródeł zewnętrznych.

Uważam, że liczba publikacji, ich wartość merytoryczna i podane wartości parametryczne w wystarczającym stopniu uzupełniają kryteria postępowania habilitacyjnego w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

4. DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA, ORGANIZACYJNA I POPULARYZATORSKA ORAZ WSPÓLPRACA Z OTOCZENIEM GOSPODARCZYM

W ramach działalności dydaktycznej i doskonalenia umiejętności Habilitant prowadził zajęcia (wykłady, ćwiczenia, projekty, laboratoria) dla studentów studiów stacjonarnych i niestacjonarnych na studiach I i II stopnia na kierunkach: Biotechnologia, Ochrona Środowiska, Inżynieria Bezpieczeństwa oraz studia anglojęzyczne (monitoring środowiska, biotechnologię ścieków i odpadów, ergonomię i BHP, mikrobiologię środowiskową, nowoczesne technologie usuwania biogenów). Prowadził zajęcia w formule PBL (Project-Based Learning), finansowane w ramach programów POWER i IDUB, których efektem były publikacje naukowe współtworzone ze studentami. Był promotorem 58 prac dyplomowych, w tym 24 magisterskich i 34 inżynierskich, jak również promotorem pomocniczym w 5 przewodach doktorskich (w tym doktorat wdrożeniowy).

Habilitant organizował i współorganizował wydarzenia naukowe i dydaktyczne o charakterze międzynarodowym i krajowym, w tym: wizyty delegacji uczelni ukraińskich (VISBY, 2011), międzynarodowe seminaria i szkoły letnie COST, XVIII Ogólnopolskie Seminarium Biotechnologii Środowiskowej (Wisła, 2012), konferencję Klubu Stypendystów FNP (2025). Pełnił funkcje administracyjne i organizacyjne na uczelni, m.in. jako: administrator bazy technologii (2012–2015), członek Komisji Dyscyplinarnej ds. Studentów (2016–2024), opiekun pierwszego roku studiów (od 2023).

Habilitant realizował wieloletnią współpracę z sektorem wodno-ściekowym i przemysłowym, obejmującą transfer technologii i wdrożenia: prowadził szkolenia dla praktyków branży wodno-ściekowej, m.in. we współpracy z Gdańską Fundacją Wody, pełnił funkcję koordynatora projektów wdrożeniowych, m.in. na oczyszczalni Tychy-Urbanowice (RCGW S.A.), projektował i wdrażał układy badawcze dla przemysłu, opracowywał ekspertyzy i operaty wodnoprawne dla wielu podmiotów przemysłowych (m.in. Grupa Azoty, ERG Bieruń, J.S. Hamilton, Siarkopol, Aquard), uczestniczył w procesie wdrożeniowym technologii środowiskowych, czego efektem było m.in. uzyskanie patentu (PAT.232815).

5. WNIOSEK KOŃCOWY

Przedstawione do oceny osiągnięcie naukowe:

HAMOWANIE PROCESU CZĘŚCIOWEJ NITRYFIKACJI/ANAMMOX – WPLYW WYBRANYCH CZYNNIKÓW ŚRODOWISKOWYCH

oraz istotna aktywność naukowa Pana dr inż. Grzegorza Cemy spełniają warunki stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych, w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Dorobek Habilitanta oceniam pozytywnie i przedkładam ocenę Komisji Habilitacyjnej z wnioskiem o dalszy przebieg postępowania habilitacyjnego.