

dr hab. inż. Magdalena Zielińska, prof. UWM
Instytut Inżynierii i Ochrony Środowiska
Wydział Geoinżynierii
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
ul. Słoneczna 45G, 10-709 Olsztyn
tel. 89 523 41 85
e-mail: magdalena.zielinska@uwm.edu.pl

Olsztyn, 6.11.2024

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Sytek-Szmeichel
pt. *Wpływ stężenia tlenu na efektywność i przebieg usuwania biogenów w reaktorach porcjowych*
Promotor pracy: dr hab. inż. Jolanta Podedworna

Podstawa opracowania recenzji

Podstawą opracowania recenzji jest pismo nr RND/IŚGiE.147.2024 Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Warszawskiej z dnia 8.10.2024 r. w związku z powołaniem mnie przez Radę Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej na recenzenta rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Katarzyny Sytek-Szmeichel nt. *Wpływ stężenia tlenu na efektywność i przebieg usuwania biogenów w reaktorach porcjowych*.

Kryteria oceny pracy

Rozprawa doktorska została oceniona zgodnie z kryteriami określonymi w art. 187 *Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* (Dz. U. 2018 poz. 1668).

Ogólna charakterystyka pracy

W przedłożonej do recenzji rozprawie doktorskiej podjęto zagadnienie wpływu stężenia tlenu na efektywność i mechanizmy usuwania związków organicznych, azotu i fosforu w reaktorach porcjowych pracujących w trzech technologiach, definiowanych rodzajem biotopu, w jakim jest hodowana biomasa (osad czynny, błona biologiczna w tzw. „czystej” technologii złoża ruchomego oraz system biomasy zawieszanej i unieruchomionej, nazwany technologią hybrydową).

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Katarzyny Sytek-Szmeichel jest 273-stronicową monografią dokumentującą pracę badawczą, opatrzoną streszczeniem w języku polskim i angielskim. Wprowadzenie do tematyki rozprawy stanowi obszerny rozdział *Przegląd i ocena stanu badań nad wpływem stężenia tlenu w ściekach na biochemiczne procesy ich oczyszczania*. Szeroka analiza literatury przedmiotu w tym rozdziale uzupełniona danymi literaturowymi stanowiącymi załącznik Z.A1 (w postaci elektronicznej) doprowadziła Autorkę do sformułowania głównego celu naukowego pracy, którym była *analiza wpływu stężenia tlenu na efektywność i przebieg usuwania biogenów w reaktorach porcjowych*. Celem szczegółowym, którego sformułowanie Autorka uzasadnia różną dyfuzją tlenu w osadzie czynnym i błonie biologicznej, była *ocena, jaki wpływ na*

wyżej sformułowane zagadnienie ma biotop, w jakim wzrasta biomasa prowadząca w reaktorze porcjowym procesy oczyszczania ścieków.

Do osiągnięcia postawionych celów naukowych miały prowadzić cztery następujące zadania badawcze:

- *trzyetapowy eksperyment z wykorzystaniem reaktora porcjowego pracującego kolejno w trzech różnych technologiach: 1) osadu czynnego, 2) „czystej” technologii złoża ruchomego, 3) technologii hybrydowej (połączenie osadu czynnego i błony biologicznej).*
- *analiza wyników uzyskanych w każdym z etapów badań niezależnie, odpowiednio dla reaktora: SBR, MBSBBR i IFAS-MBSBBR, z uwzględnieniem oceny wpływu stężenia tlenu na efektywność i drogi przebiegu procesów jednostkowych usuwania związków azotu i fosforu,*
- *porównanie i dyskusja wyników uzyskanych we wszystkich trzech etapach badań własnych, z odniesieniem do danych prezentowanych w literaturze przedmiotu,*
- *sformułowanie wniosków istotnych także z praktycznego punktu widzenia projektanta i eksploatatora oczyszczalni pracującej z wykorzystaniem reaktorów porcjowych.*

W dalszej kolejności Autorka przedstawiła tezę pracy. W kolejnym rozdziale *Metodyka pracy* Autorka przedstawiła ogólną koncepcję pracy, której realizację zaplanowano w 3 etapach: kolejne etapy dotyczą przebiegu usuwania związków biogenych w osadzie czynnym (etap 1), błonie biologicznej (etap 2) i w technologii hybrydowej (etap 3). Szczegółowo przedstawiono warunki realizacji kolejnych etapów, opis stanowiska badawczego, scharakteryzowano cykl pracy reaktorów oraz skład ścieków surowych, podano zakres badań i metody analityczne stosowane w regularnej kontroli składu ścieków surowych i oczyszczonych oraz w tzw. badaniach monitoringowych cyklu oczyszczania, a także podano metodykę obliczeniową. Sposób przedstawienia metodyki testów poboru fosforu i szybkości poboru tlenu pozwala na odtworzenie tych testów w innym laboratorium.

W dalszej kolejności rozdział 6, dotyczący analizy wpływu poziomu stężenia tlenu w fazach tlenowych na przebieg i efektywność usuwania związków biogenych w kolejnych etapach badań, został poprzedzony sekcją, w której Autorka tłumaczy przyjęty sposób interpretacji wyników i koncepcję ich prezentacji. Wprowadzenie tej sekcji uważam za niezwykle istotne w podążaniu za analizą wyników i zdefiniowaniu zależności między różnymi procesami jednostkowymi mającymi miejsce w zależności od rodzaju biomasy i stężenia tlenu w fazach tlenowych cyklu pracy reaktorów. Omówienie wyników, podzielone na podrozdziały traktujące kolejno o usuwaniu związków organicznych, azotu, fosforu oraz o synergicznym usuwaniu związków biogenych w procesie defosfatacji denitryfikacyjnej, zostało przeprowadzone w sposób bardzo szczegółowy i dało wyczerpującą wiedzę na temat przemian zachodzących w reaktorach porcjowych. Omówienie wyników każdego etapu zostało osobno podsumowane, a rozdział dotyczący dyskusji wyników porównuje i podsumowuje wyniki uzyskane we wszystkich etapach badań. Dyskusję kończy konkluzja: *poziom stężenia tlenu w tlenowych fazach cyklu bioreaktora porcjowego wpływa na efektywność usuwania ze ścieków związków azotu i fosforu, a także decyduje, w zależności od formy biotopu/biotopów, w jakiej wzrasta obecna w reaktorze biomasa, o udziale poszczególnych procesów jednostkowych, w tym również niemożliwych do identyfikacji tylko na podstawie kontroli jakości ścieków surowych i oczyszczonych (zjawisko de-amonifikacji*, symultaniczna nitryfikacja-denitryfikacja, defosfatacja denitryfikacyjna), co dowodzi prawdziwości postawionej na początku pracy tezy.* Rozprawę kończy 8-stronicowe podsumowanie, zawierające wnioski szczegółowe, mające raczej charakter podsumowania, i odnoszące się również do zaleceń eksploatacyjnych.

Uważam, że rozprawa stanowi logiczną całość, co wskazuje na umiejętności Pani mgr inż. Katarzyny Sytek-Szmeichel w zakresie formułowania celów badań i planowania procesu badawczego. Praca zawiera wszystkie niezbędne elementy wymagane dla rozpraw doktorskich. Ogólna ocena rozprawy doktorskiej jest pozytywna.

Na uznanie zasługuje bardzo czytelny sposób prezentowania wyników badań i graficzna strona monografii: sposób przygotowania rysunków był niezwykle pomocny w śledzeniu ogromnej ilości uzyskanych wyników badań, a wykresy i tabele w rozdziałach *Przeгляд i ocena stanu badań...*, oraz *Porównanie i dyskusja wyników...* ułatwiły porównywanie wyników badań Autorki z wynikami innych badaczy.

Ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Pani mgr inż. Katarzyny Sytek-Szmeichel

Część teoretyczna rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Katarzyny Sytek-Szmeichel stanowi szerokie kompendium wiedzy na temat wpływu stężenia tlenu na przemiany azotu i fosforu w ściekach, na morfologię i charakterystykę struktur biomasy (w tym tworzenie polimerów zewnątrzkomórkowych i w konsekwencji na jej zdolności sedymentacyjne) w zależności od biotopu (osad czynny, błona biologiczna i integracja obu), składu ścieków, rodzaju reaktora (ciągłe i przepływowe; również pracujące w technologii MBR). Wykorzystując 236 pozycji literaturowych, Autorka wyczerpująco przedstawiła aktualny stan badań nad wpływem stężenia tlenu w różnych biotopach na liczebność funkcjonalnych grup mikroorganizmów oraz na mechanizmy przemian azotu i fosforu, zarówno w procesach konwencjonalnych, jak i tych, którymi zainteresowanie ostatnio wzrasta (symultaniczna nityfikacja-denitryfikacja, skrócona nityfikacja i denitryfikacja oraz jedno- i dwustopniowa deamonifikacja). Należy docenić wielowątkowe podejście do tematu badawczego. Autorka przedstawiła strategie pozwalające na utrzymywanie niskich poziomów tlenu w reaktorach, podała efekty zarówno za niskiego, jak i za wysokiego stopnia napowietrzania, jak też wskazała, jak dzięki kontroli stężenia tlenu wpływać na zwiększoną akumulację ortofosforanów, jednocześnie ograniczając zużycie węgla organicznego.

Wykonując analizę porównawczą osadu czynnego, błony biologicznej i integracji obu biotopów w zakresie wpływu stężenia tlenu, Autorka wskazuje na dodatkowe czynniki, mogące mieć wpływ na uzyskane wyniki lub pokazujące ich mniejszą wiarygodność. Autorka sprawnie porusza się w tematyce badań, wykazując przykładowo, że utrudniona dyfuzja tlenu jest wadą w jednych systemach, a w innych może stwarzać nowe możliwości rozwoju technologii usuwania biogenów.

Ocenę ogólnej wiedzy teoretycznej Autorki opieram nie tylko na sposobie wykonania części teoretycznej pracy, ale również na założonym zakresie badań, wykorzystaniu metod i narzędzi badawczych oraz umiejętności analizy i dyskusji wyników. Uważam, że wiedzę teoretyczną Pani mgr inż. Katarzyny Sytek-Szmeichel należy ocenić wysoko.

Ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska wykazuje umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Panią mgr inż. Katarzynę Sytek-Szmeichel

W każdym z 3 etapów badawczych, o analogicznym obciążeniu hydraulicznym i substratowym reaktora, ale różniących się biotopem, w jakim wzrastała biomasa, przez 32–47 tygodni prowadzono badania w zakresie stężeń tlenu 3,0–0,5 mg/dm³ (etap I), 6,0–3,0 mg/dm³ (etap II), 6,0–1,5 mg/dm³ (etap III) w fazach tlenowych, przy wyborze tych zakresów biorąc pod uwagę

wiedzę teoretyczną i praktykę eksploatacyjną dotyczącą poszczególnych rodzajów biotopów. Doktorantka prawidłowo zaplanowała proces badawczy.

Oprócz regularnej kontroli jakości ścieków surowych i oczyszczonych prowadzono badania monitoringowe, umożliwiające wyznaczenie efektywności i szybkości (zwanej w pracy wydajnością) procesów jednostkowych oraz wykazanie przebiegu symultanicznej nityfikacji-denitryfikacji czy defosfatacji denitryfikacyjnej; porcjowe testy poboru fosforu, mające wykazać udział defosfatacji denitryfikacyjnej w całkowitej zwiększonej akumulacji fosforu; testy szybkości poboru tlenu pozwalające na określenie aktywności wybranych grup mikroorganizmów. Przyjęty model postępowania wskazuje na doświadczenie Autorki i można w nim dostrzec dążność Autorki do uzyskania wartościowych wyników badań o istotnym znaczeniu praktycznym. Wykorzystane techniki i metody badawcze pozwalają na osiągnięcie założonych celów. Monitorowane wskaźniki charakteryzujące przebieg badanych procesów zostały wytypowane właściwie. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że rozprawa doktorska udowadnia zdolność mgr inż. Katarzyny Sytek-Szmeichel do samodzielnego planowania, organizacji i prowadzenia prac eksperymentalnych.

Ocena wraz z uzasadnieniem, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego lub oryginalne rozwiązywanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej

Za zasadnością podjętej przez Autorkę tematyki badawczej przemawia kluczowe znaczenie poziomu natlenienia osadu czynnego w procesie biologicznego oczyszczania ścieków oraz fakt, że napowietrzanie jest jednym z najbardziej energochłonnych procesów w oczyszczalniach ścieków. Literatura przedmiotu podaje, że 30–75% całkowitego zużycia energii w oczyszczalni ścieków komunalnych jest związane z procesem napowietrzania, tak więc podjęta w pracy możliwość optymalizacji natleniania, a tym samym zużycia energii, jest jednym z wyzwań stojących przed operatorami obiektów. Postawiono następującą tezę pracy: *W reaktorach porcjowych poziom stężenia tlenu w tlenowych fazach cyklu warunkuje nie tylko uzyskiwaną efektywność usuwania biogenów, ale również drogi przebiegu procesów denitryfikacji i defosfatacji biologicznej.* Zaprezentowana praca wpisuje się więc w nurt światowych badań dotyczących zarówno modyfikacji konwencjonalnych procesów biologicznych, jak i rozwiązań technicznych, w tym systemów kontroli napowietrzania zmierzających do obniżenia zużycia energii na aerację.

Wyniki przeprowadzonych przez Autorkę badań monitoringowych mogą stanowić przesłanki nie tylko do zmniejszenia stopnia natleniania w fazie tlenowej cyklu, ale też np. do skrócenia cyklu pracy reaktorów porcjowych czy do zmniejszenia udziału faz tlenowych w cyklu. Działania te mogą przełożyć się na obniżenie kosztów eksploatacyjnych oczyszczalni ścieków. Wyniki te wnoszą więc nie tylko wiedzę na temat zależności między przebiegiem procesów biochemicznych a stężeniem tlenu rozpuszczonego, ale także mają znaczenie praktyczne.

Za najważniejsze osiągnięcia rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Katarzyny Sytek-Szmeichel uważam:

- określenie optymalnych poziomów tlenu w fazach tlenowych cyklu pracy reaktorów porcjowych w zależności od rodzaju biotopu, biorąc pod uwagę nie tylko efektywność i wydajność usuwania związków organicznych, azotu i fosforu, ale też aspekt oszczędności energii i racjonalnego dysponowania węglem organicznym obecnym w ściekach;

- analizę przemian zachodzących w fazach beztlenowych, np. usuwania azotu amonowego, i wykazanie ich istotnego wpływu, oprócz efektu stężenia tlenu, na przemiany biochemiczne związków azotu w fazach tlenowych cyklu pracy reaktorów porcjowych;
- szeroką analizę porównawczą przemian związków azotu i fosforu w reaktorach porcjowych z biomasą wzrastającą w trzech biotopach, z tym samym składem ścieków doprowadzanych, sposobem napowietrzania i szerokim zakresem stężeń tlenu w fazach tlenowych (adekwatnie do rodzaju biomasy), w tej samej skali, w porównywalnych warunkach technologicznych; w szczególności wykazanie zależności między takimi procesami jak amonifikacja, deamonifikacja, nityfikacja, denityfikacja, symultaniczna nityfikacja-denityfikacja, defosfatacja oraz synergiczne usuwanie związków biogenych w procesie defosfatacji denityfikacyjnej.

Uważam, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska jednoznacznie wskazuje na twórcze i oryginalne rozwiązanie przyjętego problemu badawczego.

Uwagi, spostrzeżenia, zagadnienia do dyskusji

Pozytywnej merytorycznej oceny rozprawy doktorskiej nie obniżają następujące pytania i uwagi, które mogą stanowić początek dyskusji nad zagadnieniami prezentowanymi w pracy:

- Rozprawa podkreśla unikalny charakter systemów hybrydowych, m.in. wskazując, że biomasa w tego typu reaktorach może mieć inne właściwości niż kłaczkosady i błona biologiczna pochodzące z układów wykorzystujących tylko jeden rodzaj biomasy. Czy na podstawie uzyskanych wyników badań Autorka uznaje efekt usuwania związków organicznych, azotu i fosforu ze ścieków w układzie hybrydowym jako sumę czy średnią aktywności mikroorganizmów osadu czynnego oraz błony biologicznej?
- W koncepcji interpretacji wyników badań przyjęto, że de-amonifikacja* to ubytek azotu amonowego w warunkach braku tlenu, jednak opis przebiegu procesu osadu czynnego w fazach bez napowietrzania (str. 75) wskazuje, że w pewnych strefach reaktora panowały warunki tlenowe, co czyniło prawdopodobnym przebieg autotroficznej nityfikacji/heterotroficznej denityfikacji. Czy można zatem nazywać ten proces de-amonifikacją*? W przypadku założenia 1) dotyczącego błony biologicznej: Jak zapobiec drugiej fazie nityfikacji w zewnętrznej warstwie błony w czasie, kiedy nośniki znajdują się blisko powierzchni ścieków?
- W koncepcji interpretacji wyników badań przyjęto, że *Chcąc mieć pewność, że obserwowane procesy są prowadzone z wykorzystaniem zgromadzonego wewnątrzkomórkowo węgla pomijano etapy faz, w których wydajność usuwania związków organicznych przekraczała 20 mg ChZT/(l·etap)*. Na jakiej podstawie przyjęto tę wartość?
- Pytania dotyczące metodyki badań: 1) Jak w praktyce zapewniano „porównywalne” warunki technologiczne w zakresie obciążeń reaktorów (hydraulicznego i ładunkiem) oraz stężeń biomasy w trzech etapach badań? 2) Na podstawie jakiego kryterium i w jakim celu wydzielono etapy w fazach cyklu? 3) Odnośnie do testów szybkości poboru tlenu – do jakich wartości stężeń tlenu napowietrzano pożywkę; na jakiej podstawie wybrano stężenia związków organicznych, azotu i fosforu w pożywce oraz stężenie biomasy; czy celem testu w wariacie C było sprawdzenie aktywności mikroorganizmów heterotroficznych zdolnych do poboru PHA czy raczej aktywności endogennej wszystkich mikroorganizmów?
- Wielokrotnie jest mowa o ilości (liczebności, obecności) denityfikujących mikroorganizmów defosfatacyjnych, podczas gdy zastosowana metodyka (porcjowe testy poboru fosforu (PUBT))

pozwoliła monitorować zmiany względnej aktywności tych mikroorganizmów, więc stwierdzenie to powinno być bardziej precyzyjne. Na str. 236 podano natomiast: *wyznaczone w testach PUBT wartości nie świadczą o liczebności lub/i aktywności denitryfikujących mikroorganizmów defosfatacyjnych, a jedynie informują jaki procent całej populacji mikroorganizmów defosfatacyjnych wykazuje zdolność do akumulacji ortofosforanów w warunkach anoksyicznych*. Na str. 238 podano, że dla osadu czynnego spadek wartości P_{DPAO} przy $2,0 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ wiązany jest z obniżoną aktywnością ogółu PAO, która jednak nie została uwidoczniła w testach OUR-C. Jak więc interpretować wyniki testów PUBT?

- Według metodyki w badaniach monitoringowych oddzielnie analizowano stężenia azotu azotanowego (III) i (V), natomiast w omówieniu i interpretacji wyników stężenia te pokazane są jako suma (azot utleniony). Analiza zmian obu form oddzielnie mogłaby wesprzeć chociażby dyskusję na temat nitrytacji lub połączenia anammox z częściową denitryfikacją (str. 219).
- Na str. 198 podano: *Ograniczony dostęp w fazie tlenowej związków organicznych rozpuszczonych w ściekach miał sprzyjać denitryfikacji symultanicznej (we wnętrzu kłaczków osadu czynnego lub/i biofilmu) z udziałem związków organicznych zmagazynowanych wewnątrzkomórkowo, a więc defosfatacji denitryfikacyjnej (redukcji azotanów towarzyszy wówczas akumulacja ortofosforanów ze ścieków). Tylko pozostała część ortofosforanów usuwana ze ścieków w fazach z napowietrzaniem jest wówczas akumulowana z wykorzystaniem tlenu jako akceptora elektronów, co znacząco ogranicza konkurencję mikroorganizmów heterotroficznych z nitryfikatorami o tlen, sprzyjając przebiegowi nitryfikacji*. Na podstawie jakich przesłanek Autorka uznaje denitryfikację symultaniczną i defosfatację denitryfikacyjną za tożsame oraz fakt, że ortofosforany były w pierwszej kolejności akumulowane przez DPAO, a następnie przez PAO?
- Czym można tłumaczyć istotnie niższy udział procesu defosfatacji denitryfikacyjnej w całkowitej akumulacji ortofosforanów w osadzie czynnym przy stężeniu tlenu $1,5 \text{ mg}/\text{dm}^3$ niż przy stężeniach tlenu 2 i $1 \text{ mg}/\text{dm}^3$? Jak ten udział koresponduje z efektywnością usuwania azotu, czy była korelacja między tymi wynikami? Czy proces defosfatacji denitryfikacyjnej można uznać za istotny z punktu widzenia usuwania azotu i fosforu?
- Pytania dotyczące analizy jednostkowej szybkości poboru tlenu (JSPT): **1)** Jako przyczynę zwiększonej aktywności nitryfikatorów przy stężeniu tlenu $2,0 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ (I etap badań) podano wyższe niż w pozostałych seriach obciążenie objętości reaktora ładunkiem NTK. Jeśli badany jest wpływ stężenia tlenu, to dopuszczalne wahania pozostałych warunków technologicznych nie powinny być tak duże, aby ich wpływ mógł maskować wpływ stężenia tlenu. Czy wahania obciążenia ładunkiem NTK były istotne? **2)** Jak wytłumaczyć znaczące obniżenie JSPT przy stężeniu tlenu $4 \text{ mg}/\text{dm}^3$ (w porównaniu do 5 i $6 \text{ mg}/\text{dm}^3$) w MBSBBR, wskazujące na aktywność nitryfikatorów oraz tlenowych mikroorganizmów heterotroficznych zdolnych do syntezy PHA w warunkach beztlenowych odpowiednio przy jednoczesnym braku obniżenia wydajności nitryfikacji oraz braku obniżenia wydajności akumulacji ortofosforanów? **3)** Jak wytłumaczyć fakt, że JSPT przez mikroorganizmy heterotroficzne w IFAS-MBSBBR była zawsze niższa niż w SBR czy w MBSBBR, a efektywność usuwania związków organicznych w IFAS-MBSBBR była zawsze wyższa? **4)** Biorąc powyższe punkty pod uwagę, czy JSPT może być wskaźnikiem stosowanym do optymalizacji procesu biologicznego oczyszczania ścieków? Pytanie jest wywołane takimi stwierdzeniami, jak np. to na str. 202: *Pomimo braku różnic w efektywności i przebiegu usuwania związków organicznych, wartość stężenia tlenu w tlenowych fazach cyklu wpływała na aktywność mikroorganizmów heterotroficznych, co*

udokumentowano na podstawie wyników testów OUR. Może zdanie to powinno być sformułowane odwrotnie: *Pomimo wpływu stężenia tlenu w tlenowych fazach cyklu na aktywność mikroorganizmów heterotroficznych, co udokumentowano na podstawie wyników testów OUR, nie było różnic w efektywności i przebiegu usuwania związków organicznych?* Jaki jest więc efekt tej zwiększonej aktywności? Może praktycznym efektem byłoby skrócenie cyklu pracy SBR?

- Nie można porównywać technologii hybrydowej błona biologiczna – osad czynny w SBR z technologią hybrydową błona biologiczna – osad czynny w bioreaktorach membranowych (str. 199), gdyż te ostatnie eksploatuje się przy około 3-krotnie wyższym stężeniu biomasy i bardzo długim wieku osadu.
- Wprowadzenie podziału na podrozdziały w bardzo obszernej i wielowątkowej części teoretycznej (rozdział 2.) ułatwiłoby odbiór tych treści.
- Zastosowanie podstawowych narzędzi analizy statystycznej ułatwiłoby interpretację wyników.
- Większej precyzji wymagają sformułowania: *możliwie porównywalne warunki technologiczne, analogiczne obciążenie hydrauliczne i substratowe reaktora.*
- Jeśli chodzi o stronę językowo-edytorską, to należałoby stosować polskie nazwy typów reaktorów czy *błona biologiczna* zamiast *biofilm*, konsekwentnie używać raz wprowadzonych skrótów zamiast pełnych nazw, pozbyć się błędów literowych (np. *Thauera* zamiast *Thaurea*), czy unikać niefortunnnych zwrotów (*równowaga konkurencji i negocjacji pomiędzy biomasą wykształconą w dwóch różnych biotopach, DGAO chętniej współpracują z anammox*). Podczas przygotowywania wyników do ewentualnej publikacji należy poprawić zieloną linię na rys. 6.1 w SBR_{2.0} i SBR_{1.5} (domyślam się, że pokazującą zakładane stężenie tlenu w reaktorze) oraz uzgodnić opis odnośnie do błony biologicznej z wykresem (rys. 9.14).

Podsumowanie i wniosek końcowy

Podsumowując moją opinię stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Katarzyny Sytek-Szmeichel stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Autorka wykazała się znaczącą wiedzą teoretyczną dotyczącą usuwania biogenów ze ścieków oraz umiejętnością projektowania i prowadzenia badań naukowych. Uzyskane wyniki wnoszą istotny wkład do rozwoju dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz są podstawą do doskonalenia technologii biologicznego oczyszczania ścieków.

W związku z art. 179 ust. 1 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. *Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce* stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr inż. Katarzyny Sytek-Szmeichel nt. *Wpływ stężenia tlenu na efektywność i przebieg usuwania biogenów w reaktorach porcjowych* spełnia wymagania formalne określone w *Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* (Dz. U. 2003, nr 65, poz. 595) wraz z późniejszymi zmianami.

Przedstawiona rozprawa doktorska mieści się w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych (odpowiadającej dziedzinie nauk technicznych), w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka (odpowiadającej dyscyplinie inżynieria środowiska).

Wobec powyższego przedkładam Radzie Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Warszawskiej wniosek o przyjęcie opiniowanej rozprawy i dopuszczenie Pani mgr inż. Katarzyny Sytek-Szmeichel do publicznej obrony pracy doktorskiej.

Magdalena Uehlińska

