

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr inż. Katarzyny Sytek-Szmeichel „Wpływ stężenia tlenu na efektywność i przebieg usuwania biogenów w reaktorach porcjowych”

wykonanej pod kierunkiem Promotora dr hab. inż. Jolanty Podedwornej
na Wydziale Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska
Politechniki Warszawskiej
w dyscyplinie naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka

1. Podstawa prawna recenzji

Podstawą wykonania recenzji była pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka prof. dr hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego z dnia 8 października 2024r. Nr RND.IŚGiE.147.2024.

2. Ogólna charakterystyka rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny Sytek-Szmeichel „Wpływ stężenia tlenu na efektywność i przebieg usuwania biogenów w reaktorach porcjowych” jest obszernym 273-stronicowym zwartym opracowaniem wydanym drukiem w formie monografii. W dysertacji wyróżniono: streszczenia w języku polskim i angielskim, wykaz skrótów, wprowadzenie, przegląd literatury, cele i tezę oraz zakres pracy, badania własne, a tym: metodykę badań oraz wyniki a także podsumowanie i wnioski. Całość zamyka wykaz literatury, spis tabel i rysunków oraz załączniki w postaci elektronicznej na płycie CD. Układ rozdziałów jest prawidłowy i zgodny z przyjętymi zasadami redagowania rozpraw doktorskich o charakterze badawczym. W spisie literatury znajduje się 236 pozycji; w tym 98% stanowią opracowania zagraniczne. Większość cytowanych prac zostało opublikowane w ostatnich latach. W spisie znajduje się także 6 pozycji współautorskie Doktorantki w tematyce odpowiadającej rozprawie. Badania prowadzone podczas realizacji pracy doktorskiej były finansowane ze środków NCN w ramach projektu „Analiza możliwości wykorzystania reaktora typu MBSBBR do usuwania biogenów ze ścieków z dominującym udziałem procesu denitryfikacji defosfatacyjnej” (2011- 2014) oraz dwóch grantów dziekańskich w latach 2014-2016.

3. Ocena szczegółowa rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Katarzyny Sytek-Szmeichel jest rozprawą o charakterze badawczym dotyczącą usuwania związków biogenych ze ścieków z wykorzystaniem procesów biologicznych opartych o technologię osadu czynnego, złoża ruchomego oraz w układzie zintegrowanym.

We wprowadzeniu nakreślono problem związany z przebiegiem procesów usuwania azotu i fosforu ze ścieków w różnych warunkach procesowych. Ten rozdział obejmuje 40 stron tekstu i można było podzielić go na kilka podrozdziałów, co znacznie poprawiłoby czytelność. Opis poszczególnych przemian związków azotu i fosforu, czynników warunkujących te przemiany w różnych technologiach (osad czynny, błona biologiczna, układy hybrydowe) albo w innym układzie byłoby dla czytelnika dużym ułatwieniem.

Dokonany przegląd danych literaturowych jest ściśle związany z przedmiotem badań własnych. Informacje bazowe zostały właściwie rozpoznane i opisane. Po przeglądzie literatury wprowadzającym czytelnika w tematykę rozprawy doktorskiej, zamieszczono cel, zakres i tezę.

Celem badań była analiza wpływu stężenia tlenu na efektywność i przebieg usuwania biogenów w reaktorach porcjowych. Celem szczegółowym była ocena jaki wpływ na usuwanie biogenów ma biotop, w jakim wzrasta biomasa w reaktorze porcjowym, z udziałem której, zachodzą procesy oczyszczania ścieków. W zakresie pracy wymieniono cztery zagadnienia, ale badania technologiczne mieszczą się w jednym punkcie, który określa trzyetapowy eksperyment z wykorzystaniem reaktora porcjowego pracującego kolejno w trzech różnych technologiach: osadu czynnego, technologii złoża ruchomego oraz technologii hybrydowej (połączenie osadu czynnego i błony biologicznej). Pozostałe trzy punkty umieszczone w zakresie pracy obejmują analizę wyników, dyskusję i sformułowanie wniosków.

Tezę rozprawy sformułowano następująco: „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”.

W rozdziale piątym opisano metodykę badań własnych. Bardzo szczegółowo opisano koncepcję badań, scharakteryzowano układy technologiczne i ścieki surowe oraz metodykę analityczną i obliczeniową. Rozdział ten zakończono opisem przyjętego sposobu interpretacji wyników badań. Badania prowadzono w trzech etapach, w tym – 16 seriach. Pierwszy etap realizowano w układzie reaktora SBR z osadem czynnym, drugi – ze złożem biologicznym ruchomym MBSBBR, a trzeci – w układzie hybrydowym złoża ruchome i osad czynny IFAS-MBSBBR. Przebieg badań przedstawiono w czytelnej tabeli i na rysunku. W rozdziale dotyczącym metod analitycznych wymieniono zakres analiz, który obejmował oznaczenia ChZT, azotu ogólnego, azotu amonowego, azotu azotanowego(III), azotu azotanowego(V), ortofosforanów, fosforu ogólnego, zasadowości, wartości pH. W kolejności opisano badania monitoringowe procesu oczyszczania ścieków, sposób wykonania porcjowego testu poboru fosforu i testu szybkości poboru tlenu. Na podstawie wyników oznaczeń wskaźników jakości

ścieków wykonano obliczenia efektywności i wydajności procesów jednostkowych w kolejnych fazach cyklu pracy reaktorów, efektywność i wydajność fazową i etapową, obciążenie fazowe, ładunek zanieczyszczeń na początku i końcu fazy/etapu badań, obciążenie fazowe/etapowe oraz wydajności całkowitej w cyklu. W podpunkcie 5.8 przedstawiono sposób interpretacji wyników badań, wyszczególniając:

- usuwanie związków organicznych wyrażonych wskaźnikiem ChZT
- usuwanie związków azotu z uwzględnieniem amonifikacji w technologii osadu czynnego i błony biologicznej. Interpretację przemian azotu amonowego w badanych reaktorach porcjowych przeprowadzono w dwóch aspektach: w oparciu o wartości stężenia $N-NH_4$ i NTK kontrolowane w ściekach surowych i oczyszczonych („pozorna efektywność/wydajność nityfikacji”) oraz na podstawie zmian stężenia tych związków podczas badań monitoringowych w warunkach tlenowych (rzeczywista efektywność/wydajność nityfikacji w fazach tlenowych cyklu) i w warunkach bez napowietrzania (de-amonifikacja*) w pozostałych fazach cyklu. W badaniach zawarto istotne uszczegółowienie przemian związków azotu uwzględniające zjawisko de-amonifikacji*, która zachodzi w ściekach w tych fazach procesu, kiedy w reaktorach nie prowadzi się napowietrzania. Zjawisko to zostało przebadane przez Doktorantkę i opisane w rozprawie w odróżnieniu od procesu de-amonifikacji, który jest szeroko opisywany w literaturze.
- wyznaczanie „pozornej efektywności denityfikacji” i „pozornej wydajności denityfikacji” - ze spadku stężenia azotu ogólnego na podstawie analizy ścieków surowych i oczyszczonych co uwzględnia ukrytą redukcję azotu utlenionego oraz ukryty ubytek azotu amonowego w fazach bez napowietrzania. Rzeczywista efektywność i wydajność procesu denityfikacji były wyznaczone z ubytku azotu utlenionego w kolejnych fazach cyklu oczyszczania (z pominięciem ubytku azotu amonowego w fazach bez napowietrzania)
- usuwanie związków fosforu oraz synergiczne usuwanie biogenów w procesie defosfatacji denityfikacyjnej, w ramach których określono ilości ortofosforanów zakumulowanych w warunkach tlenowych i anoksydacyjnych oraz wyliczono procentowy udział denityfikujących mikroorganizmów defosfatacyjnych w ogólnej liczbie mikroorganizmów defosfatacyjnych

W kolejnych trzech rozdziałach przedstawiono wyniki kolejnych etapów badań.

- rozdział 6: I Etap badań - Analiza wpływu poziomu stężenia tlenu w fazach tlenowych cyklu na przebieg i efektywność usuwania związków biogennych w SBR,
- rozdział 7: II Etap badań - Analiza wpływu poziomu stężenia tlenu w fazach tlenowych cyklu na przebieg i efektywność usuwania związków biogennych w MBSBBR
- rozdział 8: III Etap badań - Analiza wpływu poziomu stężenia tlenu w fazach tlenowych cyklu na przebieg i efektywność usuwania związków biogennych w IFAS-MBSBBR.

Wyniki badań zrealizowanych we wszystkich etapach opisywano w ustalonym porządku, wyróżniając usuwanie związków organicznych, usuwanie związków azotu (amonifikacja, pozorna

nitryfikacja, de-amonifikacja*, nitryfikacja, pozorna denitryfikacja, denitryfikacja), usuwanie związków fosforu, synergiczne usuwanie związków biogennych w procesie defosfatacji denitryfikacyjnej oraz podsumowanie wyników poszczególnych etapów.

Uporządkowany sposób przedstawiania wyników w formie opisu, wykresów w liczbie 21 i 17 tabel dla każdego etapu ułatwia czytelność rozprawy. Na podstawie wyników badań zaplanowanych w etapie I sformułowano 14 wniosków szczegółowych. Efektywność usuwania zanieczyszczeń organicznych, azotu i fosforu w zależności od stężenia tlenu zestawiono w tabeli. W reaktorach SBR w przyjętych warunkach badań efektywność usuwania związków organicznych i biogennych była zróżnicowana. Potwierdzono występowanie i określono wydajność zjawiska de-amonifikacji*, symultanicznej nitryfikacji-denitryfikacji oraz defosfatacji denitryfikacyjnej. W podobny sposób podsumowano wyniki II oraz III etapu badań. Rozdział dziewiąty to porównanie wyników wszystkich etapów w ustalonej kolejności odpowiadającej opisowi poszczególnych etapów wraz z dyskusją w odniesieniu do wyników badań innych autorów. Ten rozdział zajmuje 49 stron tekstu, zawiera 15 rysunków, 2 tabele i konkluzję. Analiza porównawcza otrzymanych wyników badań prowadzonych w trzech etapach różniących się rodzajem biotopu w reaktorze porcjowym, potwierdziła zależność efektywności usuwania ze ścieków związków azotu i fosforu od stężenia tlenu w tlenowych fazach cyklu pracy bioreaktora. Wykazano także, że określenie udziału poszczególnych procesów jednostkowych przemian związków azotu i fosforu takich jak de-amonifikacja*, symultaniczna nitryfikacja-denitryfikacja, defosfatacja denitryfikacyjna, wymaga monitorowania stężeń poszczególnych form tych związków w różnych fazach procesu. Monitorowanie stężeń form azotu i fosforu jedynie w ściekach surowych i oczyszczonych nie jest wystarczające, aby określić przebieg i efektywność procesów jednostkowych.

W rozdziale 10 zawarto podsumowanie i wnioski. Powtórzono w nim ogólnie informacje literaturowe, tezę, streszczenie i główne założenia rozprawy, a także wnioski z poszczególnych etapów co niepotrzebnie zwiększa objętość rozprawy. Sformułowano także 12 wniosków szczegółowych, które są bardzo rozbudowane.

Do najważniejszych osiągnięć przeprowadzonych badań w przyjętych warunkach można zaliczyć:

- wykazanie, że w sekwencyjnych reaktorach porcjowych stężenie tlenu w tlenowych fazach cyklu ma wpływ na efektywność i wydajność usuwania związków biogennych, ścieżki przebiegu procesów denitryfikacji i defosfatacji biologicznej, co jest zróżnicowane od biotopu w jakim rozwija się biomasa w reaktorze
- dokonanie oceny ilościowej udziału zjawiska de-amonifikacji* w usuwaniu azotu oraz procesu symultanicznej nitryfikacji-denitryfikacji,
- potwierdzenie, że ocena rzeczywistej wydajności procesów nitryfikacji i denitryfikacji w reaktorach porcjowych jest możliwa tylko z wykorzystaniem badań monitoringowych poszczególnych faz oczyszczania ścieków,

- wyznaczenie zakresu stężenia tlenu w tlenowych fazach cyklu warunkującego przebieg procesu defosfatacji denitryfikacyjnej wraz z oszacowaniem teoretycznej ilości ortofosforanów możliwych do usunięcia w tym procesie oraz wyznaczenie (testy poboru fosforu) zależności udziału denitryfikujących mikroorganizmów defosfatacyjnych w ogólnej liczbie mikroorganizmów zdolnych do zwiększonej akumulacji fosforu od stężenia tlenu w tlenowych fazach cyklu i od rodzaju biotopu, na którym rozwija się biomasa,
- wykazanie (na podstawie testów poboru tlenu OUR), zróżnicowanego wpływu stężenia tlenu w tlenowych fazach cyklu na aktywność grup mikroorganizmów biorących udział w usuwaniu związków biogenych i obecnych w osadzie czynnym/ lub i błonie biologicznej na złożu ruchomym (takich jak: tlenowe heterotrofy, nityfikatory, mikroorganizmy zdolne do syntezy PHA w warunkach beztlenowych) oraz zróżnicowanej ich reakcji na warunki tlenowe w procesie hybrydowym,
- wykazanie, że w reaktorze hybrydowym obecność biofilmu sprzyja synergicznemu usuwaniu biogenów w procesie defosfatacji denitryfikacyjnej, a obecność osadu czynnego ogranicza niekorzystny wpływ niskiego poziomu stężenia tlenu na proces biologicznej defosfatacji co wskazuje, że połączenie dwóch biotopów w jednym reaktorze może przynosić dodatkowe korzyści technologiczne,
- wskazanie, w przyjętych warunkach badań, zakresów stężenia tlenu w reaktorach SBR i IFAS-MBSBBR zapewniających najlepszy możliwy efekt ekologiczny określony w przepisach prawnych dla oczyszczalni > 100 000 RLM oraz, z uwagi na różną uzyskiwaną efektywność usuwania azotu i fosforu, optymalnego poziomu stężenia tlenu, różnego dla każdego wariantu (SBR, MBSBBR i IFAS-MSBBR).

Przeprowadzone badania pozwoliły na uzyskanie dużego materiału wynikowego, który został przedstawiony w postaci tabel oraz czytelnych wykresów oraz szczegółowo opisany i zinterpretowany. Analizując treść pracy, opis wyników i podsumowanie należy stwierdzić, że teza została udowodniona, a cele osiągnięte i udokumentowane wynikami badań. Na podkreślenie zasługuje przyjęcie szerokiego zakresu badań technologicznych, które są długotrwałe i pracochłonne. Pozwoliły jednak na porównanie przebiegu poszczególnych procesów przemian związków biogenych w sekwencyjnych reaktorach porcjowych, w których hodowla mikroorganizmów była prowadzona w różny sposób: w typowym SBR z osadem czynnym, na złożu biologicznym ruchomym i w układzie hybrydowym. Przyjęty zakres analityczny (wskaźniki jakości ścieków, testy szybkości poboru tlenu, porcjowe testy poboru fosforu) umożliwił kontrolę przebiegu procesów przemian związków azotu i fosforu takich jak: amonifikacja, nityfikacja, denitryfikacja, uwalnianie i pobór ortofosforanów a także de-amonifikacji*, symultanicznej nityfikacji-denitryfikacji, defosfatacji denitryfikacyjnej. Jest to kompleksowe podejście do wyjaśnienia przebiegu procesów jednostkowych przemian związków azotu i fosforu.

Tematyka doktoratu wpisuje się w aktualne problemy inżynierii środowiska w zakresie określenia efektywności i przebiegu poszczególnych procesów przemian związków biogenych w sekwencyjnych reaktorach biologicznych w technologii osadu czynnego, złóż biologicznych i układzie hybrydowym. Wyniki badań mają także znaczenie użytkowe, gdyż mogą posłużyć do projektowania układów oczyszczania ścieków w skali technicznej.

4. Uwagi edycyjne

Podkreślając profesjonalne podejście Doktorantki do zagadnienia, zarówno w kwestii przeglądu literatury jak i organizacji badań a także opisu wyników, w rozprawie znalazły się drobne niedociągnięcia edycyjne. Nie mają one jednak wpływu na ocenę strony merytorycznej rozprawy. Uwagi te są następujące:

- nieprawidłowe sformułowania: „symultaniczne zachodzenie procesów” (str. 19), „biomasa prowadząca procesy oczyszczania” (str.32), „niebagatelne znaczenie ma ...” (str.36), „nie da się wskazać zakresu stężenia” (str.38), „nie sposób ...wnioskować ...ani wyrokować” (str.39), „należy mieć świadomość” (str.42), „porównanie technologii podyktowane chęcią znalezienia” (str.44), „nastawa stężenia tlenu” (wielokrotnie), „zachodzenie zjawiska/ procesu” (str. 120, 152,153, 194), „niższym obciążeniem reaktora ... dostarczonym wraz z dawkowanymi ściekami” (str. 111)
- rysunki umieszczono przed odwołaniem (rys.1.1) kilka stron za odwołaniem (np. rys. 5.1)
- brak wyjaśnienia skrótów (np. tab. 1.1, na rys. 5.3)

5. Zagadnienia do wyjaśnienia w ramach obrony pracy

- Wyjaśnić przyjęte wartości początkowe stężenie tlenu, które w etapie I wynosiło 3 mg/L, a w etapach – II i III etapie wynosiło 6 mg/L w kontekście informacji na str. 12: „założeniem eksperymentu..... było utrzymanie możliwie porównywalnych warunków technologicznych”
- Omówić zapotrzebowanie na tlen z uwzględnieniem powstawania hydroksyloaminy podczas utleniania azotu amonowego
- Zdefiniować określenie „zjawisko de-amonifikacji*”
- Wyjaśnić komentarz na str. 57 – „ długość faz została przyjęta tak, aby zapewnić całkowite usunięcie ze ścieków łatwo biodegradowalnych związków organicznych”, przy czym w badaniach nie oznaczano frakcji biodegradowalnej związków organicznych
- Wyjaśnić jednostki we wzorach na str. 68-70 (mg x/l; m x/faza; mg x/etap; mg x/l- cykl) w opisie jest oznaczenie „x” jako proces jednostkowy oraz jako stężenie charakterystycznego wskaźnika
- Wyjaśnić podstawę przyjęcia składu ścieków syntetycznych (wartości początkowe stężenia zanieczyszczeń w ściekach po mechanicznym oczyszczaniu)

- Wyjaśnić - czy pozorna jest nityfikacja/denitryfikacja czy pozorna jest efektywność/wydajność nityfikacji/denitryfikacji? (w tekście stosuje się określenia: „pozorna efektywność nityfikacji/denitryfikacji”, „pozorna wydajność procesu nityfikacji/denitryfikacji”).

5. Wniosek końcowy

Uwzględniając zakres badań przedstawiony w rozprawie, stwierdzam, że opracowanie otrzymane do recenzji spełnia aktualne warunki prawne określone dla rozpraw doktorskich. Wobec powyższego, wnioskuję do Rady Naukowej Wydziału Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie mgr inż. Katarzyny Sytek-Szmeichel do dalszego postępowania kwalifikacyjnego przewidzianego w procedurze do uzyskania stopnia doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Ze względu na bardzo szeroki zakres badań, aktualność tematyki związanej z wyjaśnieniem procesów przemian związków azotu i fosforu podczas oczyszczania ścieków w technologii osadu czynnego, złoża biologicznego ruchomego i w układzie hybrydowym, znaczenie naukowe i użyteczne wyników badań wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.

Marta Ambrazewska-Malecka

