

## Recenzja

rozprawy doktorskiej **mgr inż. Aleksandry Sowinskiej**  
pt. „ **Wpływ zredukowanych związków siarki na nityfikację i denityfikację w procesie osadu czynnego**”

wykonanej pod kierunkiem

Promotora: dr hab. inż. Małgorzaty Makowskiej z Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu  
oraz Promotora pomocniczego: dr hab. Marcina Spychały

Podstawą wykonania recenzji była decyzja Rady Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego w Zielonej Górze przekazana pismem WI-P/52/2019 z dnia 27 lutego 2019r.

Rozprawa doktorska mgr inż. mgr inż. Aleksandry Sowińskiej pod tytułem „Wpływ zredukowanych związków siarki na nityfikację i denityfikację w procesie osadu czynnego” jest 132 - stronicowym opracowaniem. W opracowaniu wyróżniono 6 głównych rozdziałów podzielonych na podrozdziały. Na początku umieszczono streszczenie po polsku i angielsku, spis treści oraz wykaz skrótów. We wprowadzeniu nakreślono problem badawczy, uzasadniając celowość podjęcia tematu. Następnie na 26 stronach zamieszczono przegląd doniesień literaturowych. Scharakteryzowano procesy nityfikacji, denityfikacji oraz redukcji siarczanów z uwzględnieniem warunków ich przebiegu. W punkcie 3 podano hipotezę i cel badań. W części dotyczącej metodyki badań wydzielono siedem podrozdziałów, przedstawiając metodykę badań technologicznych i analitycznych oraz sposób statystycznej obróbki wyników, a także algorytmy obliczeń podstawowych parametrów technologicznych badanych procesów. W punkcie 5 przedstawiono wyniki badań. Podsumowanie badań własnych wraz z dyskusją wyników zamieszczono w oddzielnym punkcie, a na zakończenie sformułowano wnioski wynikające z przeprowadzonych eksperymentów. Całość zamyka spis literatury, tabel i rycin. W spisie literatury znajduje się 85 pozycji; w tym 85% - z angielskojęzycznym tytułem (70). Większość cytowanych pozycji zostało opublikowane w ostatnich latach. Zacytowano także dwie prace współautorskie Doktorantki w tematyce związanej z obszarem badań. Zatem można stwierdzić, że układ pracy jest prawidłowy i zgodny z przyjętymi zasadami redagowania rozpraw doktorskich.

W części literaturowej zatytułowanej „Przegląd literatury” scharakteryzowano w pierwszej kolejności związki siarki występujące w środowisku. Następnie opisano przemiany biologiczne związków azotu takie jak nityfikacja, asymilacja azotu i denityfikacja.

Szczegółowo opisano proces nitryfikacji uwzględniając etapowość reakcji oraz charakterystykę bakterii biorących udział w tym procesie. Opisano kinetykę nitryfikacji oraz podstawowe parametry technologiczne procesu takie jak: zapotrzebowanie na tlen, wiek osadu, temperatura czy proporcja pomiędzy ilością biodostępnych związków organicznych a zawartością azotu ogólnego. Określono przy tym warunki prawidłowego przebiegu procesu utleniania azotu amonowego, czynniki inhibitujące i zależności między nimi. W opisie przemian biologicznych związków azotu uwzględniono także asymilację, która zachodzi zarówno w warunkach tlenowych jak i beztlenowych. W następnej kolejności opisano asymilacyjną i dysymilacyjną redukcję azotanów. Podobnie jak w przypadku nitryfikacji opisano szlaki denitryfikacji heterotroficznej i autotroficznej z uwzględnieniem charakterystyki mikroorganizmów oraz czynników mających wpływ na ich przebieg. Z punktu widzenia tematyki badań jest to ważne zagadnienie. Szczególnie dokładnie opisano denitryfikację autotroficzną jako proces, w którym chemolitoautotroficzne bakterie wykorzystują zredukowane związki siarki jako donory elektronów podczas redukcji azotanów. Mechanizmy reakcji przedstawiono w postaci równań uwzględniających różne formy siarki, różne bakterie oraz przyrost biomasy. Uzupełnieniem tej części jest opisanie utleniania siarczków w obecności węgla organicznego oraz przedstawienie problemu inhibicji procesu denitryfikacji autotroficznej czyli czynników hamujących przebieg procesu. W dalszej kolejności zaczerpnięto z literatury informacje na temat redukcji siarczanów wyróżniając asymilacyjny i dysymilacyjny przebieg tego procesu oraz proces określany jako Anammox. W literaturowej części pracy poruszono także problem wpływu zredukowanych związków siarki na przebieg procesu nitryfikacji. Nieliczne prace w tym temacie wskazują na zmniejszenie szybkości tego procesu już przy małych stężeniach siarczków. Na zakończenie scharakteryzowano mikroorganizmy zasiedlające osad czynny wskazując na możliwości zastosowania analizy mikroskopowej do oceny jakości osadu czynnego i efektywności oczyszczania ścieków. Opisano także indeks biotyczny osadu czynnego (Madonniego), który może być zastosowany do opisu kondycji osadu, ale nie zawsze pozwala na prognozowanie efektywności oczyszczania ścieków.

Po zapoznaniu się z przedstawionym przeglądem danych literaturowych można stwierdzić, że wszystkie aspekty zagadnienia ściśle związanego z przedmiotem badań własnych zostały wnikliwie rozpoznane i opisane przez Doktorantkę. Przegląd literatury oparty na aktualnych, głównie zagranicznych artykułach jest wykonany i przedstawiony ze szczególną starannością. Świadczy to o dobrych predyspozycjach Autorki do zgłębiania tematu. Dokonano bowiem szczegółowej analizy dotychczasowych doniesień na podstawie szerokiego przeglądu publikacji innych naukowców włączając w to własne dwie współautorskie prace.

Na podstawie przeglądu danych literaturowych, Doktorantka wykazała, że w dostępnych źródłach znajdują się informacje na temat przemian związków azotu w obecności zredukowanych związków siarki w warunkach beztlenowych i anoksydacyjnych, natomiast brakuje wyników badań przemian tych związków w warunkach tlenowych. Dlatego kolejny punkt w dysertacji Autorka przeznaczyła na przedstawienie hipotezy i celów pracy doktorskiej. Hipotezę sformułowano następująco: **Zredukowane związki siarki mają pozytywny wpływ na nityfikację i denityfikację w reaktorach ze zmiennym napowietrzaniem.** W opinii recenzenta takie sformułowanie tezy jest zbyt ogólne, gdyż wyniki przedstawione w dalszej części pracy wskazują, że należałoby tę hipotezę zawęzić. Określenie pozytywnego wpływu zredukowanych związków siarki na nityfikację i denityfikację wskazuje bowiem, że niezależnie od stężenia, zredukowane związki siarki będą miały pozytywny wpływ na przebieg w/w procesów. Cele pracy były następujące:

- określenie wpływu fazy tlenowej na procesy biochemiczne zachodzące w obecności zredukowanych związków siarki w reaktorze przepływowym o zmiennych warunkach tlenowych (czy celem jest wyjaśnienie wpływu fazy tlenowej czy czasu jej trwania)
- określenie możliwości występowania denityfikacji autotroficznej podczas dawkowania zredukowanych związków siarki w reaktorze pracującym w warunkach zmiennego napowietrzania
- określenie relacji pomiędzy długością fazy tlenowej a stężeniem związków organicznych  $S^{2-}$ ,  $S-SO_4$ ,  $N-NH_4$  w celu ograniczenia procesu utleniania w strefie tlenowej (utlenianie związków organicznych)
- określenie wpływu związków siarki na biomasę udział w przemianach biochemicznych w reaktorach ze zmiennym napowietrzaniem (czy dotyczy wpływu związków siarki na skład biomasy czy na przyrost biomasy).

Następnie określono zakres badań, które przeprowadzono w dwóch układach modelowych (badawczy, kontrolny) każdy złożony z reaktora i osadnika z recyrkulacją osadu. Reaktory były wyposażone w urządzenia napowietrzające. Badania prowadzono w dwóch etapach zachowując 1-godzinny cykl pracy reaktora lecz różniących się czasem trwania fazy tlenowej (15 lub 30 minut). Badania prowadzono z wykorzystaniem ścieków rzeczywistych o zróżnicowanej charakterystyce jakościowej. W drugim etapie badań wykonano analizę mikroskopową kłaczek osadu czynnego polegającą na określeniu liczebności wybranych mikroorganizmów wskaźnikowych.

Kolejny punkt dysertacji to opis części doświadczalnej, w której przedstawiono szczegółowe informacje dotyczące materiałów, metodyki badań technologicznych a także algorytmy wyznaczania podstawowych parametrów technologicznych i analizy statystycznej wyników badań. Układ badawczy przedstawiono na rysunku oraz na zdjęciach. Charakterystykę ścieków przedstawiono w tabeli wyszczególniając dwa etapy badań, w tym

sześć serii w pierwszym etapie, a osiem – w drugiej, trwających po 3 tygodnie każda. Wyniki badań analitycznych wskazują na znaczne zróżnicowanie stężenia związków organicznych wyrażonych wskaźnikiem ChZT oraz wartości innych wskaźników ( azot amonowy, azot azotanowy(III) , azot azotanowy(V), siarczany(IV) i siarczany(VI) a także dozowanych siarczków. Przy takich rozbieżnościach nie jest łatwa interpretacja wyników badań. W podpunkcie dotyczącym przebiegu badań technologicznych brakuje informacji o sposobie kontroli/sprawdzenia warunków beztlenowych w reaktorze. Zakres badań analitycznych obejmował oznaczanie ChZT, azotu amonowego, azotu azotanowego(III), azotu azotanowego(V), siarki siarczanowej(IV), siarczanowej(VI), jonów siarczkowych, zawartości zawiesiny ogólnej, mineralnej i organicznej, stężenie tlenu, wartości pH i temperatury. Oznaczenia tych wskaźników wykonywano co najmniej 2-krotnie w ciągu tygodnia. Uwzględniając dwa etapy badań w założonym okresie 24 tygodni (to stanowi łącznie 48 tygodni badań), dwa układy technologiczne pracujące równolegle oraz wymienione wyżej analizy należy stwierdzić, że wykonano prawie 2,5 tys. różnych analiz chemicznych. Ponadto w celu utrzymania stałej zawartości zawieszin osadu czynnego wyznaczano stężenie biomasy w całym układzie. Natomiast w celu oceny kondycji osadu czynnego wyznaczano indeks biotyczny Madoni'ego (IBO). Spośród parametrów technologicznych procesu osadu czynnego wyznaczano: stężenie zawieszin w reaktorach, ładunek zanieczyszczeń w ściekach surowych, obciążenie osadu ładunkiem zanieczyszczeń, efektywność usuwania zanieczyszczeń oraz stałą wydajność biomasy, szybkość usuwania zanieczyszczeń w odniesieniu do stężenia biomasy organicznej oraz szybkość nityfikacji. Wyznaczono także bilans biochemiczny uwzględniając odpowiednio procesy fazy tlenowej takie jak: utlenianie jonów siarczkowych, siarczanowych(IV) i związków organicznych, nityfikację (nitritację i nitratację) oraz fazy beztlenowej: denityfikację heterotroficzną i utlenianie amoniaku w obecności siarczanów(VI). Analizę statystyczną otrzymanych wyników dokonano z wykorzystaniem podstawowych miar zmienności: średniej arytmetycznej, odchylenia standardowego pojedynczego wyniku i błędu standardowego. Ponadto zastosowano test Wicoxona dla par wiązanych oraz analizę wariancji w klasyfikacji prostej.

Wyniki jakie otrzymano realizując cel i zakres badań przedstawiono na 54 stronach maszynopisu w rozdziale piątym podzielonym na sześć podrozdziałów. W nietypowy sposób zatytułowano poszczególne rozdziały i podrozdziały dodając za każdym razem etap pierwszy/drugi. Można jednak uznać to za uzasadnione, ponieważ w ten sposób uniknięto powtórek odnośnie opisu wyników eksperymentów prowadzonych w obu etapach. W pierwszym podrozdziale podano charakterystykę ścieków surowych, a następnie w podobny sposób opisano wyniki pierwszego i drugiego etapu badań podsumowując każdy etap. Ostatni podpunkt dotyczy analizy statystycznej otrzymanych wyników i obliczeń. W obu etapach badań przeanalizowano zmiany stężenia azotu amonowego, jonów

azotanowych(III), azotanowych(V), jonów siarczkowych, siarczanowych(IV), siarczanowych(VI) oraz związków organicznych w obu etapach badań w reaktorze badanym i kontrolnym. Opisano także zmiany stężenia biomasy organicznej oraz jej udziału w biomacie ogólnej. Analizę procesów biochemicznych przedstawiono w tabelach zawierających przebieg podstawowej reakcji, a następnie wartości usuniętego w opisywanym procesie ładunku siarczków, siarczanów(IV), azotu amonowego. Wyliczono także ładunek powstających siarczanów(VI) i azotanów(V). Wątpliwości budzi wartość ładunku w ściekach oczyszczonych ze znakiem ujemnym, ponieważ z definicji ładunku wynika, że ładunek jest iloczynem stężenia i wielkości strumienia ścieków. Ponadto obliczono teoretyczny ładunek związków organicznych zużytych podczas denitryfikacji oraz usunięty ładunek tych związków podczas procesu wyrażony wskaźnikiem ChZT. Obliczenia uzupełniono o obliczenia bilansowe tlenu. Bilans biochemiczny wykonano dla reaktora kontrolnego oraz badanego, w którym proces oczyszczania prowadzono z dodatkiem jonów siarczkowych. Wyniki otrzymane w ramach realizacji I etapu badań przedstawiono w dwóch tabelach i na 18 rysunkach. Na zakończenie etapu pierwszego podsumowano wyniki. Efektywność usuwania azotu amonowego w reaktorze badanym ( w obecności siarczków) była większa od efektywności usuwania tych związków w reaktorze kontrolnym w seriach IV - VI. Efektywność denitryfikacji natomiast była większa w reaktorze badanym w odniesieniu do kontrolnego w seriach II – V. Odnotowane zmiany stężenia jonów siarczkowych potwierdzają przebieg ich utleniania, a jonów siarczanowych(IV) i siarczanowych(VI) wskazują na możliwość wykorzystania tych drugich do utleniania azotu amonowego. Zmiany stężenia związków organicznych wyrażonych wskaźnikiem ChZT. wskazują, że w pięciu seriach (na sześć) efektywność ich usuwania w reaktorze badanym była mniejsza od kontrolnej. Odnotowano przy tym zwiększoną efektywność denitryfikacji co świadczy o możliwości przebiegu denitryfikacji autotroficznej w warunkach dodatkowej ilości zredukowanych związków siarki. W obecności tych związków odnotowano zwiększony przyrost biomasy w porównaniu z kontrolą. Często używa się określenia ChZT do opisu stężenia związków organicznych chociaż z definicji wynika, że należałoby uwzględnić także niektóre nieorganiczne związki jest to jednak powszechnie stosowane w literaturze.

W identyczny sposób opisano wyniki badań prowadzonych w etapie II, podczas którego wydłużono dwukrotnie czas trwania fazy tlenowej i tym samym zrównano czas trwania tej fazy z czasem trwania fazy beztlenowej. Podobnie jak w etapie pierwszym także i w drugim badania prowadzono równolegle w reaktorze kontrolnym i badanym, do którego dozowano siarczki (3 dawki identyczne jak w etapie I, pozostałe cztery - inne). Wyniki otrzymane w tym etapie przedstawiono w 3 tabelach i 25 rysunkach. Wykonano podobne obliczenia bilansu biochemicznego dla obu reaktorów. W tym etapie efektywność usuwania azotu amonowego była wyższa w obecności siarczków w ostatniej serii przy największej

dawce siarczków co wyjaśniono możliwością utleniania azotu amonowego w obecności siarczanów. Jednak szybkość usuwania tej formy azotu była wyższa w obecności siarczków przez cały okres badań. Zaobserwowano, że wydłużenie czasu trwania fazy tlenowej skutkowało spadkiem efektywności procesu denitryfikacji i zahamowaniem denitryfikacji autotroficznej. Dodatkowo wykonano analizę mikroskopową osadu czynnego. Przeanalizowano zmiany ilości orzęsków osiadłych, wolnopływających i pełzających a także wrotków w odniesieniu do procesów przebiegających w poszczególnych fazach pracy reaktorów. Potwierdzeniem tej analizy są załączone zdjęcia mikroskopowe. Nie zaobserwowano znaczących różnic w biocenozie osadu czynnego w obecności siarczków w porównaniu z kontrolną. Wykazano, że dozowane siarczki nie miały znaczącego wpływu na liczebność i rodzaj oznaczanych mikroorganizmów. Na podstawie wyników analizy mikroskopowej wyznaczono indeks biotyczny osadu IBO. Wartości IBO dla obu reaktorów wahały się co wskazuje na zmienną kondycję osadu czynnego tak w reaktorze badanym jak i kontrolnym. Potwierdzono przy tym, że wskaźnik ten jest niejednoznaczny w przypadku procesu prowadzonego zmiennych warunkach tlenowych/beztlenowych.

W kolejnym podpunkcie dotyczącym wyników badań zamieszczono obliczenia statystyczne. Test Wilcoxon dla par wiązanych zastosowano do oceny istotności różnic w stężeniach azotu amonowego, azotanowego(III), azotanowego(V), siarczanów(IV), siarczanów(VI) oraz wartości ChZT i wybranych parametrów technologicznych procesu w dwóch etapach i 8 seriach w każdym etapie. Ponadto przeprowadzono analizę wariancji prostej w celu ustalenia istotności różnicy pomiędzy badanymi wskaźnikami i parametrami technologicznymi pomiędzy dwoma reaktorami (badanym i kontrolnym).

Kolejnym punktem rozprawy jest rozdział 6 zatytułowany *Podsumowanie i dyskusja*. Zawarto w nim porównanie otrzymanych wyników badań własnych z wynikami innych autorów. Wyniki badań przeprowadzonych przez Doktorantkę potwierdzają doniesienia literaturowe dotyczące możliwości utleniania azotu amonowego z wykorzystaniem siarczanów. Podczas I etapu badań, gdy czas trwania fazy tlenowej był dwukrotnie krótszy od beztlenowej, efektywność procesu nitryfikacji była wyższa w reaktorze do którego dozowano siarczki w dawkach przekraczających  $53,3 \text{ mgS}^{-1}/\text{d}$ . Warto byłoby przeliczyć tę dawkę w odniesieniu do stężenia azotu amonowego, gdyż stężenie to nie było stałe podczas badań. Potwierdza to również uwagę recenzenta do sformułowanej w obecnej formie tezie pracy. Uwaga wydaje się być zasadna analizując wyniki otrzymane w II etapie badań, gdzie czas trwania fazy tlenowej i beztlenowej był jednakowy. W tym przypadku efektywność usuwania azotu amonowego była wyższa od kontrolnej przy dawce  $133 \text{ mgS}^{-1}/\text{d}$ . Monitorowanie zmian wartości ChZT oraz związków azotu podczas procesu wskazały na możliwość wystąpienia denitryfikacji autotroficznej w warunkach ograniczonej ilości tlenu (etap I) i zahamowanie tego procesu w etapie II.

Końcowym punktem rozprawy są wnioski. Wnioski te sformułowano następująco:

1. Długość trwania fazy tlenowej determinuje kierunek przemian biochemicznych zachodzących w obecności zredukowanych związków siarki
2. W fazie tlenowej następuje symultaniczne utlenianie jonu siarczkowego, związków organicznych i azotu amonowego
3. Odpowiednio krótka faza tlenowa (ograniczony dopływ i niskie stężenie tlenu umożliwia denitryfikację autotroficzna w warunkach beztlenowych (należy podać stężenie tlenu w celu uściślenia określenia „niskie stężenie tlenu”)
4. Zmienne warunki tlenowe panujące w reaktorze badanym umożliwiły utlenianie dawkowanych związków siarki w formie siarczków do siarki siarczanowej. Siarka siarczanowa może wspomagać proces utleniania azotu amonowego – pełni rolę akceptora elektronów
5. Niskie stężenie tlenu w reaktorze badanym umożliwiło utlenianie azotu amonowego z jednoczesną redukcją siarki siarczanowej (należy skończyć zdanie do jakich produktów)
6. Krótka faza tlenowa i dawkowane związki siarki stymulowały przyrost biomasy; reaktor badany charakteryzował się wyższym stężeniem biomasy znajdującej się w układzie
7. Dawkowane związki siarki i wydłużona faza tlenowa spowodowały rozdrobnienie kłaczków osadu czynnego i ich wymywanie poza układ; reaktor badany charakteryzował się niższym stężeniem biomasy znajdującej się w układzie
8. W reaktorze badanym procentowa zawartość biomasy organicznej w biomase ogólnej była niższa niezależnie od długości fazy tlenowej; wyższa zawartość substancji mineralnych prawdopodobnie była związana z magazynowaniem substancji nieorganicznych w osadzie czynnym
9. Analiz mikroskopowa przeprowadzona dla II etapu badań nie wykazała toksycznego wpływu zredukowanych związków siarki na obserwowane mikroorganizmy osadu czynnego. Najwyższa obliczona wartość IBO dla reaktora badanego wynosiła 5, co klasyfikuje osad w systemie o słabym biologicznym oczyszczaniu (warunki niedoboru tlenu).

Analizując treść pracy, opis wyników, podsumowanie i wnioski należy stwierdzić, że hipoteza została udowodniona w pewnym zakresie stężeń zredukowanych związków siarki, cele zostały osiągnięte i podsumowane. Wnioski jednak powinny ściśle i wprost odpowiadać w pierwszej kolejności na postawioną hipotezę i cele badawcze i wynikać bezpośrednio z przeprowadzonych eksperymentów. Zatem byłoby celowe sformułowanie wniosków głównych oraz wniosków szczegółowych. Wniosek/wnioski główne należy odnieść ściśle do hipotezy pracy, natomiast wnioski szczegółowe powinny odnosić się do celów i zawierać pozostałe informacje i osiągnięcia uzyskane podczas badań.

Podsumowując można stwierdzić, że Doktorantka przeanalizowała bardzo wiele próbek, przeprowadzając badania technologiczne dla ścieków rzeczywistych. Należy zaznaczyć, że analiza wyników i ich interpretacja byłaby zapewne łatwiejsza, gdyby badania prowadzone były z wykorzystaniem roztworów modelowych. Należy tu podkreślić, że badania były szczególnie długotrwałe i praco- i czasochłonne. Doktorantka dokonała wnikliwego opisu otrzymanych wyników, uzupełniając je rysunkami (56), tabelami (26). Autorka wyczerpująco zinterpretowała wszystkie otrzymane wyniki, w tym także dokonała analizy statystycznej, co jest szczególnie istotne w pracach naukowych.

Warto podkreślić, że obszar badań wpisuje się w najnowsze trendy inżynierii środowiska w zakresie technologii oczyszczania ścieków skierowanej na intensyfikację usuwania mineralnych form związków azotu. Element nowatorski polega na przebadaniu przebiegu przemian tych form azotu w obecności zredukowanych związków siarki w procesie osadu czynnego w zmiennych warunkach tlenowych. Aspektem użytkowym dysertacji jest wyznaczenie parametrów procesowych dla przebiegu reakcji utleniania azotu amonowego w obecności zredukowanych związków siarki. Dlatego można stwierdzić, że rozprawa doktorska mgr inż. Aleksandry Sowińskiej wnosi do dyscypliny inżynierii środowiska nie tylko elementy poznawcze, lecz także możliwości aplikacyjne, a postawione zadanie zostało potraktowane w sposób kompleksowy i wyczerpujący. Podkreślając profesjonalne podejście Doktorantki do zagadnienia, zarówno w kwestii przeglądu literatury jak i organizacji badań, ich przeprowadzenia a także dokładnego opisu wyników oraz ich dyskusji, w rozprawie znalazły się pewne niedociągnięcia edycyjne czy nieprawidłowe sformułowania. Nie mają one jednak wpływu na moją wysoką ocenę strony merytorycznej rozprawy. Uwagi edycyjne to przykładowo:

- w całym tekście używane jest określenie „siarka siarczynowa/siarczanowa”, azotyny/azotany podczas gdy powinno być siarka siarczanowa(IV)/siarczanowa(VI) oraz odpowiednio azotany(III)/azotany(V) (Wyjątek – str. 22-25)
- nieprawidłowe sformułowania i uwagi edycyjne to przykładowo:
  - str. 15 „związki siarki występują w trzech wariantach”, „działalność enzymów”
  - str.17 dwa pierwsze zdania w akapicie zaczynającym się od „Niewątpliwie...”
  - str.19 brak objaśnień AOB, NOB pod tab.2.1
  - str.21 „wiek osadu jest uzależniony”
  - str.26 zdanie zaczynające się od „ Azot azotanowy wykorzystywany jest na potrzeby metabolizmu” w porównaniu ze zdaniem na str. 39 „ Amoniak jest jedynym wykorzystywanym przez mikroorganizmy związkiem azotu”
  - str.39 „wodór jest całkowicie konsumowany przez bakterie..”
  - str.40 akapit zaczynający się od „Wzrost stężenia azotu azotynowego...” w tym rozdziale wydaje się być nieuzasadniony



- str.42 w tab.2.7 brakuje wyjaśnienia  $os/dm^3$
- str.43 komentarz do tab.2.7 - wartość indeksu biotycznego maleje od góry ku dołowi czy od prawej do lewej ( to zależy przecież od układu danych w tabeli)
- str. 74, 77, 99 opis ósmego wiersza w porównaniu z wierszem siódmym
- str.80 utleniane /zredukowane związki siarki akumulują się w osadzie czynnym (czy to oznacza, że są słabo rozpuszczalne?)
- str.86 tab.5.5 „średnie stężenie jonu siarczkowego dopływające do reaktora”
- str 103 – „świadczyło o braku toksyczności wprowadzanych związków”
- str.115 – „nie odnotowano wzrostu wykorzystania związków organicznych”

Ponadto komentarza wymagają następujące zagadnienia :

- wyjaśnienie roli oznaczenia zasadowości w przebiegu procesów biologicznych przemian związków azotu ( amonifikacji, asymilacji, nityfikacji, denityfikacji)
- wyjaśnienie ujemnych wartości ładunku azotanów w ściekach oczyszczonych
- czy dokonywano pomiaru stężenia tlenu rozpuszczonego podczas procesu, na jakiej podstawie założono czas trwania poszczególnych faz i czas trwania jednego cyklu
- jaka mogła być przyczyna wypływania osadu czynnego poza układ

### **Wniosek końcowy**

**Odnosząc się do aktualnie obowiązujących przepisów prawnych ( Dz. U 2011, Nr 84 poz. 455, Dz. U z 2015 r. poz. 249, 1767, Dz. U 2016 poz. 882, Dz. U z 2018r. poz. 1669) rozprawa doktorska, przygotowywana pod opieką Promotora, powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną Doktoranta w danej dyscyplinie naukowej a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Na podstawie przekazanej do recenzji rozprawy doktorskiej, stwierdzam, że opracowanie otrzymane do recenzji spełnia podane warunki. Dysertacja potwierdza także wiedzę teoretyczną Doktorantki, a rzeczowe sprecyzowanie celu i zakresu badań, ich zaplanowanie i opis a także wyczerpująca interpretacja wyników i ich dyskusja świadczą o dojrzałości naukowej Doktorantki i umiejętności do samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Zatem wnioskuję do Rady Wydziału Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Zielonogórskiego w Zielonej Górze o dopuszczenie mgr inż. Aleksandry Sowinskiej do dalszego postępowania kwalifikacyjnego przewidzianego w procedurze do uzyskania stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska.**

*Manka Luborawczyk-Kalucka*