



Kraków, 04.03.2024

Prof. dr hab. Katarzyna Zarębska
Wydział Inżynierii Środowiska, Geodezji i Energetyki Odnawialnej

Politechnika Świętokrzyska
kzarebska@tu.kielce.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej

mgr inż. Piotra Zawadzkiego

pt. „Zastosowanie procesów zaawansowanego utleniania w świetle widzialnym do oczyszczania ścieków zawierających mikrozanieczyszczenia”

1. Podstawa prawna sporządzenia recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pana mgr inż. Piotra Zawadzkiego pt.: „Zastosowanie procesów zaawansowanego utleniania w świetle widzialnym do oczyszczania ścieków zawierających mikrozanieczyszczenia” opracowana pod kierunkiem promotora Prof. hab. inż. Adama Smolińskiego i promotora pomocniczego dr inż. Beaty Kończak.

Formalną podstawą przygotowania opracowania jest pismo Prof. dr. hab. inż. Stanisława Pruska, Dyrektora Głównego Instytutu Górniczo-Hutniczego w Katowicach, z dnia 09 stycznia 2024r (NOP/3/2024/R).

2. Dane o Kandydacie

Kandydat jest absolwentem Politechniki Śląskiej w Gliwicach; studia II stopnia ze stopniem mgr inż. nadanym przez Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki Politechniki Śląskiej w roku 2018 na kierunku inżynieria środowiska. Temat pracy "Wyznaczanie zdolności sorpcyjnej i fotokatalizacyjnej fotokatalizatorów nowej generacji". Od tego czasu jest pracownikiem Głównego Instytutu Górniczo-Hutniczego w Zakładzie Ochrony Wód, w Pracowni Technologii Wody i Ścieków. Zawodowo zajmuje się zagadnieniami prawno-technicznymi w dziedzinie gospodarki wodno-ściekowej, w tym pozyskiwaniem zgód środowiskowych, wykonywaniem dokumentacji technologicznych do projektowania oczyszczalni ścieków komunalnych i przemysłowych oraz sieci kanalizacyjnych, linii przeróbki osadów ściekowych. Od czasu ukończenia studiów poszerzył zakres swoich zainteresowań naukowych o badania substancji służących do aktywacji katalizatorów i utleniaczy



w reakcjach zaawansowanego utleniania mikrozanieczyszczeń. W okresie realizacji doktoratu (2018 do 2023) był autorem lub współautorem łącznie 22 publikacji, w tym 17 publikacji punktowanych wg wykazu Ministerstwa Edukacji i Nauki. W tym pięć artykułów zostało opublikowanych w czasopismach branżowych. Uczestniczył w dwóch konferencjach o zasięgu międzynarodowym oraz trzech konferencjach krajowych. Był kierownikiem lub wykonawcą licznych dokumentacji środowiskowych, raportów oddziaływania na środowisko, programów funkcjonalno-użytkowych, koncepcji sieci kanalizacji sanitarnej i deszczowej, wdrożeń technologii przekształcenia odpadów poprocesowych i osadów ściekowych, badań określających warunki wdrożeniowe dla instalacji membranowych, analizy możliwości wytwarzania zielonego wodoru w oczyszczalni ścieków. Uczestniczył w trzech projektach międzynarodowych oraz pięciu krajowych. Aktualnie jest wykonawcą w pięciu projektach, w tym czterech międzynarodowych.

Dorobek naukowy i aktywność naukową Kandydata oceniam bardzo wysoko.

Dotychczas Kandydat nie ubiegał się o nadanie stopnia doktora.

3. Ocena rozprawy doktorskiej

3.1. Temat rozprawy

Wybrany temat rozprawy doktorskiej *Zastosowanie procesów zaawansowanego utleniania w świetle widzialnym do oczyszczania ścieków zawierających mikrozanieczyszczenia* mieści się w dyscyplinie Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki, jest aktualny i ściśle związany z problemem obecności zanieczyszczeń w środowisku wodnym oraz koniecznością poszukiwania nowych metod ich eliminacji. Doktorant w pracy zwraca uwagę zarówno na procesy uzdatniania wody, jak i oczyszczania ścieków w kontekście zaawansowanego utleniania mikrozanieczyszczeń z zastosowaniem indywidualnych modyfikacji doboru parametrów procesu.

3.2. Układ pracy

Przedmiotem rozprawy jest zbiór dziewięciu (9) publikacji wydanych w latach 2019-2023 o sumarycznym IF 27,2 oraz liczbie punktów MEiN równej 950. Pan mgr inż. Piotr Zawadzki jest jedynym autorem 8 z 9 artykułów, zaś w jednym artykule jest pierwszym autorem, o znaczącym (80%) wkładzie autorskim. Z zestawu dziewięciu publikacji naukowych, sześć miało charakter eksperymentalny, dwie obejmowały przegląd literaturowy, a jedna stanowiła studium przypadku.

Rozprawa zawiera spis treści, dziewięć ponumerowanych rozdziałów, zawierających: wykaz publikacji będących przedmiotem dysertacji, aktualny stan wiedzy w omawianym temacie, cel pracy i koncepcję badań, materiały i metody badawcze, wyniki badań wraz z dyskusją oraz podsumowanie i wnioski. W rozdziale 6 Autor w sposób syntetyczny



przedstawił najważniejsze informacje wynikające z Jego pracy naukowej, a ich rozwinięcie można znaleźć w załączonych artykułach. Literatura stanowi zwartość rozdziału 7 obejmuje 308 pozycji, głównie z 5 ostatnich lat o zasięgu międzynarodowym. Rozdział 8 zawiera spis 5 rysunków, które stanowią uzupełnienie lub rozwinięcie rysunków z przedstawionych artykułów naukowych. W rozdziale 9 umieszczono Załącznik nr 1 – oświadczenie współautorów publikacji 1, Załącznik nr 2 – informacja o dorobku naukowym Kandydata zawierający wykaz dodatkowych 13 publikacji współautorskich, opublikowanych w latach 2018-2023, który nie stanowią przedmiotu rozprawy, ale pozwalają na poszerzenie wiedzy o zainteresowaniach naukowych Kandydata. Załącznik nr 3 stanowi wydruki publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej. Ponieważ zasadniczą część rozprawy stanowią opublikowane prace, stąd też one stanowią główną część rozprawy.

Układ pracy jest przejrzysty.

3.3. Ocena celowości podjętej tematyki

Zastosowanie procesów zaawansowanego utleniania (AOPs) w oczyszczaniu ścieków zawierających zanieczyszczenia stanowi ważny obszar badawczy, z uwagi na skuteczność w redukcji zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych. AOPs wykorzystują działanie utleniaczy, takich jak nadtlenek wodoru, ozon, nadtlenki organiczne, promieniowanie UV lub procesy elektrochemiczne, aby generować reaktywne formy tlenu, w tym rodniki hydroksylowe ($\cdot\text{OH}$), które są bardzo reaktywne. Podczas procesu, zanieczyszczenia w ściekach są poddawane reakcjom utleniania z wytworzonymi rodnikami hydroksylowymi lub innymi reaktywnymi w tym celu wytworzonymi formami tlenu. Reakcje te prowadzą do degradacji zanieczyszczeń organicznych poprzez zachodzące reakcje chemiczne, co w konsekwencji prowadzi do powstania związków bardziej biodegradowalnych lub łatwiejszych do usunięcia w kolejnych procesach oczyszczania. Ponadto, AOPs mogą być skuteczne w redukcji zanieczyszczeń nieorganicznych poprzez przekształcenia chemiczne lub koagulację. Wprowadzenie procesów zaawansowanego utleniania do systemów oczyszczania ścieków może przynieść wiele korzyści, takich jak poprawa efektywności usuwania trudno biodegradowalnych substancji organicznych, zwiększenie odporności na zmienne warunki operacyjne oraz zmniejszenie ilości osadów lub ułatwienie ich dalszego zagospodarowania. Jednakże, podczas ich realizacji należy także wziąć pod uwagę koszty związane z zastosowaniem AOPs, takie jak zużycie energii, środków chemicznych i konieczność właściwej obróbki osadów czy produktów ubocznych procesu.

3.4. Struktura i ocena kluczowych rozdziałów rozprawy

Treść stanowiących rozprawę doktorską publikacji jest zgodna z tytułem pracy i zawiera tematycznie powiązane oryginalne badania Autora, dotyczące możliwości zastosowania substancji organicznych do aktywacji katalizatorów i utleniaczy w procesach



zaawansowanego utleniania mikrozanieczyszczeń. Wyniki uzyskane podczas badań zostały szczegółowo opisane w dziewięciu, będących integralną całością pracy publikacjach. Autor zwrócił uwagę na istotę prowadzenia badań dotyczących zastosowania substancji organicznych, w tym wytypowanych cukrów i kwasów karboksylowych, jako naturalnych aktywatorów dla fotokatalizatorów i utleniaczy dla TiO_2 oraz nadsiarczanu sodu.

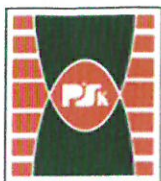
Badania obejmowały zbadanie degradacji wytypowanych barwników, w tym błękitu metylenowego, rodaminę oraz pectocydu – chlorfenwinfosu w procesach zaawansowanego utleniania prowadzonych pod wpływem promieniowania widzialnego. W celu zbadania możliwości aktywacji tlenu tytanu (IV) Autor zastosował kwas bursztynowy i pirogronowy. Do aktywacji nadsiarczanu sodu glukozę i sacharozę. Dobór aktywatorów dał pozytywny wynik eksperymentu. Na podstawie analizy stopnia usunięcia mikrozanieczyszczeń oraz parametrów kinetycznych reakcji redoks wykazał wyższy stopień przereagowania badanych związków.

Ponieważ zasadniczą część rozprawy omówienia przedstawionego problemu badawczego stanowią opublikowane prace, stąd też one stanowią główną część rozprawy i zostały pokrótce przybliżone w recenzji.

Artykuł 1 obejmuje zagadnienia dotyczące eksperymentu degradacji błękitu metylenowego (MB) za pomocą nadsiarczanu sodu, jako źródła rodników siarczanowych (VI) wobec światła widzialnego, w środowisku zaproponowanych do badań cukrów. Ich zastosowanie jako aktywatorów organicznych stanowi nowatorskie podejście Autora. Przebiegu reakcji Kandydat upatruje w ich czynności optycznej i utlenieniu glukozy. W wyniku przeprowadzonych badań wyznaczono parametry użytkowe procesu oczyszczania jak czas procesu, wartość pH, ilości PS oraz stężenia użytych cukrów. Oprócz wyższego stopnia degradacji MB uzyskano skrócony czas reakcji w porównaniu do fotokatalizy czy ozonowania, w porównaniu do trzeciego stopnia oczyszczania ścieków o zawartości MB ($1-4 \text{ mg/dm}^3$), co stanowi alternatywę dla konwencjonalnych systemów usuwania MB.

Celem badań opisanych w **artykule 2** było opracowanie metody otrzymywania modyfikowanych fotokatalizatorów aktywowanych w świetle widzialnym. Poprzez uzyskanie dodatkowych stanów energetycznych osiągnięto intensyfikację przewodności katalizatorów, w celu zahamowania lub ograniczenia procesu przekształcenia anatazu w rutyl. Wykazano, iż zastosowanie kwasu bursztynowego i pirogronowego przyczyniło się do rozszerzenia zakresu absorpcji promieniowania w kierunku światła widzialnego poprzez reakcję z TiO_2 , co dodatkowo potwierdziły przeprowadzone badania spektrofotometryczne. Stwierdzone zmiany w strukturze TiO_2 świadczą o skuteczności zastosowanej metody, jako alternatywnej do fotodegradacji chlorfenwinfosu o stężeniu około 1 mg/dm^3 .

Artykuł 3, jest pracą opisującą możliwość wspomaganie procesu aktywacji SPS światłem widzialnym w obecności glukozy za pomocą ultradźwięków. Wspomagana aktywacja umożliwiła dekoloryzację barwnika o wysokich stężeniach środowiskowych (do 20 mg/dm^3). Bazując na uzyskanych wynikach badań Autor zaproponował mechanizm reakcji, jako powstawanie rodników siarczanowych (VI), hydroksylowych i ponadtlenkowych, uznając iż proces dekoloryzacji RhB zachodzi według mechanizmu rodnikowego. W celu



potwierdzenia proponowanego mechanizmu przeprowadził dodatkowo badanie kinetyki reakcji oraz dokonał analizy widm absorpcyjnych zestawiając je z literaturą tematu.

Artykuły 4 i 5 dotyczą badań zaawansowanego utleniania chlorfenwinfosu z próbek rzeczywistych ścieków komunalnych, pochodzących z odpływów z oczyszczalni ścieków. W przypadku eksperymentów prowadzonych na materiałach rzeczywistych, istotny jest fakt uwzględnienia zmienności ich składu i jakości, w zależności od parametrów takich jak nieregularność procesów technologicznych czy pory roku.

Artykuł 4 zawiera opis badań rozkładu CFVP w oczyszczonych ściekach komunalnych za pomocą SPS aktywowanego glukozą i światłem widzialnym. Bazując na uzyskanych danych, Autor wyznaczył czas procesu i ilość SPS, jako podstawowe parametry procesowe. W pracy uwzględniono także wpływ obecności innych jonów, w tym, anionów kwasów nieorganicznych na możliwość obniżenia skuteczności degradacji zanieczyszczeń, na przykład poprzez ich reakcję z obecnymi w próbkach rodnikami. Artykuł 5 stanowi kontynuację i rozwinięcie tych badań, z naciskiem na aspekty praktyczne procesu zaawansowanego utleniania. W tym celu zrealizowano badania porównawcze konwencjonalnych procesów AOPs, w tym fotokatalizy (TiO_2/UV) oraz fotokatalizy ozonu (O_3/UV). Zastosowano aktywację SPS za pomocą glukozy i światła widzialnego (SPS/Vis), uzyskując wyższy stopień usunięcia TOC. Ze względu na niecałkowity rozkład CFVP konieczne okazało się zbadanie toksyczności roztworów poprocesowych. Stwierdzono, iż otrzymane próbki odznaczają się niższą zawartością CFVP w odniesieniu do ścieków zanieczyszczonych CFVP, przy niższych kosztach ekonomicznych procesu.

Kolejne **artykuły 6 i 7** to podsumowanie badań naukowych dokonanych przez Autora wraz z ich porównaniem do wyników opisanych w aktualnej literaturze tematu. Artykuł 6 obejmuje metody usuwania zanieczyszczeń z wody i ścieków za pomocą AOPs w obecności światła widzialnego. Autor skoncentrował się na takich procesach jak fotokataliza, fotoelektrokataliza oraz utlenianie za pomocą rodników siarczanowych (VI). Istotnym elementem pracy jest omówienie wpływu stężenia początkowego zanieczyszczeń, dodatku i rodzaju katalizatora, utleniacza, pH roztworu oraz czasu na efektywność prowadzenia procesu. Szczególną uwagę Autor zwrócił na mechanizm reakcji podczas aktywacji światłem widzialnym. Wnioski wyciągnięte w artykule wskazują na celowość dotychczasowych badań i kontynuację realizacji podjętej tematyki.

Artykuł 7 dotyczy tematyki aktywacji SPS aktywatorami na bazie związków organicznych i ocenie wpływu ich zastosowania na skuteczność usuwania zanieczyszczeń z wody i ścieków. W artykule rozszerzono wcześniejszą analizę procesów oczyszczania o dane dotyczące wpływu mocy i rodzaju lamp stosowanych do aktywacji SPS w celu usuwania mikrozanieczyszczeń.

Dokonując analizy literatury Autor zwrócił uwagę na lukę w tematyce badań dotyczących obszaru jednoczesnej dekoloryzacji barwników, w tym błękitu metylenowego i rodaminę B. Stanowiło to inspirację do podjęcia przez Kandydata badań degradacji dwóch barwników z wykorzystaniem SPS aktywowanego glukozą i światłem widzialnym. Wśród parametrów istotnych w cyklu przeprowadzonych eksperymentów wykazano wysokie stężenie glukozy,



jako czynnik negatywnie wpływający na efektywność procesu dekoloryzacji barwników (zahamowanie procesu). Z kolei wykazano, iż dodatek SPS powinien być dobrany indywidualnie, ponieważ jego niedomiar skutkuje niską gęstością generowanych rodników, a więc obniżeniem wydajności, zaś zastosowanie zbyt wysokiej ilości wpłynie negatywnie poprzez konkurencyjną reakcję anionu siarczanowego (VI) z rodnikami hydroksylowymi. W przypadku realizowanych w pracy badań wykazano możliwość większej efektywności procesu, poprzez zastosowanie roztworów o niskich wartościach pH, co wynika z udziału form tworzących się/ zużywanych rodników.

Eliminacja jednocześnie kilku barwników obecnych w ściekach stała się inspiracją badań opisanych w **artykule 8**. Ich współobecność może być odpowiedzialna za intensyfikację lub osłabienie procesu degradacji zanieczyszczeń. Nowością badań zaproponowanych i zrealizowanych przez Autora było usunięcie rodaminę B oraz błękitu metylenowego wraz z podjęciem próby przedstawienia mechanizmu reakcji. Kluczowe w tym przypadku okazało się stężenie użytej glukozy, które determinuje ilość powstających rodników. Niepożądanym czynnikiem okazała się być wysoka zawartość barwników, prawdopodobnie ze względu na możliwość konkurencyjnych reakcji pomiędzy ich cząsteczkami, produktami rodników i samymi rodnikami. W tym przypadku również potwierdzono istotny wpływ pH na tworzenie rodników, co skutkowało zmianą szybkości reakcji. Za optymalne uznano pH mniejsze od 6, czego potwierdzeniem było studium literatury tematu. Dokonując oceny różnic usuwania pojedynczego barwnika i ich dwuskładnikowej mieszaniny posłużono się analizą stopnia usunięcia barwników (R%), analizą widma UV-Vis oczyszczanych roztworów oraz parametrami kinetycznymi reakcji. Przeprowadzone eksperymenty potwierdziły preferencyjne usuwanie błękitu metylenowego, zarówno w odniesieniu do pojedynczych substancji, jak i mieszaniny z rodaminą. Przyczyny takiego zachowania Kandydat upatruje w różnicach fizykochemicznych obydwu związków, a przede wszystkim ich różnej rozpuszczalności w wodzie w temperaturze eksperymentu (25 °C). Autor zwraca uwagę na różnice w występowaniu formy kationowej dla błękitu metylenowego, zaś formy kationowej lub/i zwitterjonowej w przypadku rodaminę (RHB). Tłumaczy to możliwością przeniesienia elektronów z barwników do PS i w konsekwencji odbarwieniem badanych roztworów. Zaletą przedstawionej w publikacji metody jest krótki czas reakcji, wysoki stopień usunięcia barwników oraz uzyskanie ponad 38-krotnie niższej efektywności energetycznej procesu, w stosunku do metody elektrochemicznej.

Jako cel użyteczny badań zebranych w pracy doktorskiej Kandydat obrał zaproponowanie metody oczyszczania ścieków, w celu uzyskania jakości wody wymaganej w procesie elektrolizy. Wybór optymalnego systemu podczyszczania oczyszczonych ścieków komunalnych z zastosowaniem procesów membranowych był przedmiotem **artykułu 9**. Zintegrowanie AOPs z techniką membranową jest również podyktowane próbą eliminacji zanieczyszczeń membran dzięki podwyższeniu hydrofilowości membran, indukcji właściwości przeciwbakteryjnych oraz degradacji zanieczyszczeń poprzez rodniki utleniające. Proponowana integracja rozwiązań ma również na celu ochronę przed korozją instalacji oraz rozwojem mikroorganizmów. Zaprojektowanie instalacji demineralizacji



oczyszczanych ścieków komunalnych, jest także przedmiotem artykułu. Z zastosowaniem oprogramowania WAVE firmy DuPont Water Solutions przeprowadzono symulację możliwości odzysku wody ze ścieków jako surowca procesu elektrolizy. Jednym z przyjętych przez Autorów założeń było uzyskanie wody o przewodności mniejszej od $5 \mu\text{S}/\text{cm}$. Takie podejście do tematu nie było dotąd rozpatrywane w literaturze, stanowiąc cenne uzupełnienie, determinujące oczekiwaną jakość i docelowe parametry użytkowe wody.

Planując badania oraz realizując powyższą tematykę zamysłem Kandydata było stworzenie i opracowanie pomocnych procedur wraz ze ścieżką postępowania, dedykowanych przedsiębiorstwom wodociągowo-kanalizacyjnym, we wtórnym oczyszczaniu ścieków do celów użytkowych, w tym procesie elektrolizy. Tematyka wpisuje się ściśle w aktualne zagadnienia ochrony środowiska oraz dotyczące gospodarki wodorowej, w tym „Strategii wodorowej na rzecz Europy neutralnej dla klimatu”. Na podstawie przeprowadzonych symulacji układów technologicznych, bazujących na procesie ultrafiltracji oraz odwróconej osmozy, wytypowano układy technologiczne umożliwiające odzysk wody o oczekiwanych parametrach. Za obiecujące uznano układy bazujące na zaawansowanej dwustopniowej odwróconej osmozie, pozwalające na szacunkowe odzyskanie wody dejonizowanej (przewodność około $2 \mu\text{S}/\text{cm}$) w ilości 100 m^3 w ciągu 1 godziny pracy.

Zebrane w postaci powiązanych i stanowiących integralną część pracy artykułach naukowych wyniki badań oraz ich analiza pozwoliły Kandydatowi na sformułowanie wniosków zebranych w rozdziale 6 rozprawy. Wśród najbardziej reprezentatywnych i kluczowych zdaniem Autora wymienić można kilka najważniejszych. Autor wykazał, iż jest możliwe zastosowanie związków organicznych powodujących aktywację tlenku tytanu (IV) i nadsiarczanu sodu pod wpływem światła widzialnego, uzyskując potwierdzenie jednego z postawionego na wstępie pracy pytania badawczego. Uzyskał rozkład błękitu metylenowego, rodaminę B i chlorfeninfosu pod wpływem światła widzialnego, podając parametry krytyczne reakcji. Otrzymane wyniki stanowią potwierdzenie kolejnego pytania badawczego postawionego na wstępie realizacji badań. Autor uzyskał również pozytywną odpowiedź na kolejne pytanie badawcze, wykazując możliwość zmniejszenia toksyczności roztworów poddanych zaawansowanemu procesowi utleniania pod wpływem światła widzialnego. Przedstawiając efektywność procesu usuwania wytypowanych barwników metodą aktywacji wykazał skuteczność metody, tym samym rozwiązując postawiony problem badawczy. Jednocześnie potwierdzono aktywację SPS za pomocą glukozy i sacharozy, wynikającą z ich czynności optycznej i aktywności w świetle widzialnym. Poprzez realizację szeregu badań eksperymentalnych potwierdził również możliwość zastosowania kwasu bursztynowego i pirogronowego do aktywacji TiO_2 oraz w konsekwencji zaawansowanego utleniania chlorfeninfosu, co stanowi realizację celu naukowego pracy.

Uzyskane wyniki eksperymentalne i ich analiza potwierdziły możliwość rozkładu mikrozanieczyszczeń w wyniku zaawansowanych procesów utleniania pod wpływem światła widzialnego co pozwoliło na weryfikację i potwierdzenie postawionej hipotezy badawczej.



Cele i tezy postawione w pracy uważam za prawidłowe i w sposób wyczerpujący zrealizowane przez Kandydata.

Metodyka przeprowadzonych i opisanych badań/ procedur badawczych jest wystarczająca i właściwa.

Podjęty temat jest aktualny i omawiany w literaturze, jednak podejście Doktoranta do tematu jest **oryginalne i nowatorskie**, stanowi istotny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki w zakresie procesu uzdatniania wód i ścieków.

W trakcie czytania rozprawy nasuwają się drobne uwagi, przedstawione poniżej, w mojej opinii najistotniejsze:

- Wykaz ważniejszych skrótów, powinien zostać poszerzony i uzupełniony, ponieważ w tekście znajdują się skróty w nim nie zawarte, jak chociażby z równań str. 29 wraz z jednostkami;
- Autor często posługuje się żargonem branżowym lub popularnonaukowym, np.: kwasu fosforowego, brakuje wartościowości fosforu, podobnie dla siarki w anionie lub kwasie; procesy utleniania oparte na; silna moc utleniająca; biofuling; jony żelazowe; dawka; proporcja wagowa; rotacja płaszczyzny światła; str. 39 #7, 61 i 82% usunięcia;
- Rozdział 6 – Podsumowanie i wnioski stanowi zbiór ogólnych konkluzji. Według mnie zasadne byłoby krótkie przedstawienie czy omówienie tych szczególnie istotnych, na przykład w formie porównania czy też podsumowania całego obszaru przeprowadzonych badań w kontekście otrzymanych wyników.

Powyższych uwag nie należy odczytywać jako zarzutów, gdyż należy podkreślić, iż temat jest aktualny, przeprowadzone przez Autora badania bardzo ciekawe i istotne zarówno w aspekcie naukowym jak i ich potencjalnego zastosowania. Poniżej komentarze i uwagi, o których wyjaśnienie poproszę podczas publicznej obrony:

- 1) Proszę o wyjaśnienie pojęcia: degradacja pestycydu.
- 2) Autor wyciąga szereg wniosków dla glukozy i sacharozy powołując się na ich czynność optyczną, proszę o wyjaśnienie, które izomery glukozy i sacharozy zostały użyte do badań. Czy zmiana izomeru z α na β lub odwrotnie może wpłynąć i w jaki sposób na otrzymane wyniki?
- 3) Czy określano wpływ zablokowania wiązania O-glikozydowego w celu zahamowania procesu hydrolizy w środowisku kwasowym ($\text{pH} < 6$)?
- 4) Czy badano wpływ innych związków na usuwanie barwników?
- 5) Sam proces zmiany pH może wpłynąć na uzyskanie formy bezbarwnej. Czy w pracy uwzględniono wyłącznie zmianę barwy czy produkt otrzymanej reakcji i ze względu na jakie jego właściwości?



Rozprawa została napisana poprawnie. Na podkreślenie zasługuje opracowanie obszernych wyników badań w renomowanych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym i wysokim współczynniku oddziaływania, co czyni Autora rozpoznawalnym na arenie międzynarodowej w tematyce oczyszczania wód i ścieków. Wyróżnia się biegłość Autora w doborze materiału, zaplanowaniu eksperymentu oraz analizie uzyskanych wyników doświadczalnych.

Sformułowany cel naukowy został przez Doktoranta osiągnięty. Mimo drobnych uwag o charakterze dyskusyjnym pracę oceniam wysoko.

4. Wniosek końcowy

Pan mgr inż. Piotr Zawadzki wykazał się odpowiednią znajomością aktualnego stanu wiedzy w zakresie opracowanej dysertacji, umiejętnością planowania i prowadzenia badań, wykorzystania metod badawczych, analizy wyników i formułowania wniosków. Rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę Pana mgr inż. Piotra Zawadzkiego w dyscyplinie Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki oraz umiejętność samodzielnego planowania i prowadzenia pracy naukowej. Przedstawione w recenzji uwagi mają na celu poprawę warsztatu naukowego, gdyż jak podkreślono, temat jest aktualny, przeprowadzone przez Autora badania bardzo interesujące i istotne, zarówno w aspekcie naukowym jak i ich potencjalnego zastosowania. Rozprawę doktorską mgr inż. Piotra Zawadzkiego oceniam pozytywnie, a oryginalne rozwiązanie problemu naukowego wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki.

Opiniowana rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez obowiązującą ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Na tej podstawie wnioskuję o dopuszczenia Pana mgr inż. Piotra Zawadzkiego do publicznej obrony rozprawy. Jednocześnie, uwzględniając bardzo wysoką wartość merytoryczną oraz ponadprzeciętne osiągnięcia naukowe Kandydata zwracam się do Wysokiej Rady Naukowej Głównego Instytutu Górnictwa z **wnioskiem o wyróżnienie rozprawy**.

Krzysztof Szepiński