

Kielce, 18.07.2024r.

Dr hab. Lidia Dąbek, prof. PŚk  
Katedra Inżynierii Sanitarnej  
Wydział Inżynierii Środowiska, Geodezji i Energetyki Odnawialnej  
Politechnika Świętokrzyska  
al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7  
25-314 Kielce

**Recenzja**  
**rozprawy doktorskiej**  
**mgr inż. Anity Parzentnej-Gabor**  
**pt.: „Adaptacja technologii usuwania odorów w Kompaktowych Reaktorach Trójfazowych**  
**do sektora komunalnego, w szczególności do oczyszczalni ścieków”**

**Podstawa wykonania recenzji**

Przedstawiona recenzja przygotowana została na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej RIE-BD.512.24.2024 oraz umowy o dzieło UMC/1838/2024.

**Recenzja rozprawy doktorskiej wg zasad określonych w §2.ust.5 Umowy UMC/1838/2024**

**a. Tytuł rozprawy doktorskiej stanowiącej podstawę ubiegania się o w aktualnym postępowaniu o nadanie stopnia doktora**

Przedstawiona recenzja dotyczy rozprawy doktorskiej pt. „*Adaptacja technologii usuwania odorów w Kompaktowych Reaktorach Trójfazowych do sektora komunalnego, w szczególności do oczyszczalni ścieków*” przygotowanej pod kierunkiem Prof. dr hab. inż. Krzysztofa Barbusińskiego, realizowanej w Politechnice Śląskiej na Wydziale Inżynierii Środowiska i Energetyki, w Katedrze Inżynierii Wody i Ścieków. Opiekunem Pomocniczym był Pan dr inż. Damian Kasperczyk. Rozprawa została zrealizowana w ramach programu Doktoraty Wdrożeniowe.

Recenzowana rozprawa doktorska dotyczy ważnego, aktualnego i wciąż nierozwiązanego problemu przeciwdziałania uciążliwości zapachowej wynikającej z emisji odorów zarówno ze źródeł naturalnych jak i antropogenicznych. Poszukiwanie skutecznych metod ograniczania emisji i rozprzestrzeniania się odorów stanowi obecnie jedno z ważniejszych wyzwań stojących przed inżynierią środowiska w zakresie ochrony powietrza. Emisja odorów jest jedną z największych uciążliwości dla środowiska wielu jednostek przemysłowych i przyczyną skarg osób mieszkających w ich pobliżu, a wśród obiektów szczególnie uciążliwych najczęściej wymieniane są obiekty gospodarki komunalnej. Z tego też względu podjęta w pracy doktorskiej tematyka ograniczania emisji odorów powstających na oczyszczalni ścieków wpisuje się w aktualny trend poszukiwań skutecznych rozwiązań niniejszego problemu i jest ważna zarówno z naukowego jak utylitarne punktu widzenia. Tytuł rozprawy doktorskiej jest zgodny z treścią. W celu ograniczenia emisji odorów Doktorantka zaproponowała zastosowanie Kompaktowego Bioreaktora Trójfazowego firmy Ekoinwentyka sp. z o.o (KBT), który dotychczas nie był

wykorzystywany do usuwania odorów powstających w procesie oczyszczania ścieków. Nowością proponowanego rozwiązania jest wykorzystanie w procesie usuwania odorów mikroorganizmów pochodzących zarówno z oczyszczalni ścieków jak z hodowli własnej firmy Ekoinwentyka sp. z o.o oraz testowanie niniejszego bioreaktora w skali pilotażowej w dwóch oczyszczalni ścieków komunalnych. Praca doktorska zgodnie z ideą doktoratu wdrożeniowego opiera się na badaniach aplikacyjnych, a wyniki badań mają charakter praktyczny i mogą być podstawą wdrożenia niniejszej technologii na obiektach gospodarki komunalnej.

***b. Ocena układu rozprawy doktorskiej, w tym informacje o jej poszczególnych częściach składowych***

Praca doktorska została przygotowana w postaci manuskryptu liczącego 201 stron i zawierającego 84 rysunki i 52 tabele. Układ pracy jest typowy dla prac doktorskich i obejmuje części składowe takie jak:

- Streszczenie w języku polskim i angielskim
- Wykaz ważniejszych skrótów
- Wprowadzenie
- Przegląd literatury odnoszący się do takich zagadnień jak:
  - ✓ Charakterystyka odorów
  - ✓ Emisja odorów pochodzenia komunalnego
  - ✓ Ograniczanie emisji odorów do środowiska
  - ✓ Kompaktowe Bioreaktory Trójfazowe
- Tezy i cel pracy
- Metodyka badań
- Wyniki badań
- Dyskusja wyników
- Podsumowanie
- Kierunki dalszych badań
- Literatura
- Spis tabel i spis rysunków.

W rozdziale „Wprowadzenie” Doktorantka krótko uzasadniła potrzebę prowadzenia badań dotyczących ograniczania emisji odorów powstających w procesie oczyszczania ścieków, wskazując na możliwość wykorzystania do tego celu Kompaktowego Bioreaktora Trójfazowego firmy Ekoinwentyka Sp. z o.o.

Cztery kolejne rozdziały rozprawy doktorskiej można określić jako przegląd literatury. W rozdziale 1 „Charakterystyka odorów” Doktorantka bardzo pobieżnie przedstawiła problematykę odorów odwołując się do definicji odorów podanej w publikacji Kodeks przeciwdziałania uciążliwości zapachowej MKiŚ z 2016r, ale koncentrując się głównie na lotnych związkach organicznych (LZO), pomijając praktycznie substancje nieorganiczne zaliczane do tej grupy, w tym np.:  $\text{NH}_3$  czy też  $\text{H}_2\text{S}$ , które były przez Doktorantkę badane w dalszej części pracy. Doktorantka bardzo krótko przedstawiła również główne antropogeniczne źródła odorów jak również wpływ substancji zaliczanych do tej grupy zarówno na ludzi jak i środowisko oraz wybrane krajowe regulacje prawne odnoszące się do uciążliwości zapachowej. W tym punkcie pracy zdecydowanie zabrakło informacji na temat problemu



identyfikacji uciążliwości odorowej wynikającej z braku jednoznacznej definicji odorów, przedstawienia problemu pomiaru stężenia odorów oraz powszechnie wykorzystywanej normy PN-EN 13725:2022-07, wyrażania stężenia odorów w jednostkach  $\text{ouE}/\text{m}^3$ , jak również podania definicji progu wyczuwalności węchowej, do którego Doktorantka odnosi się w tabeli 2.

W rozdziale 2 pracy Doktorantka skoncentrowała się na problemie emisji odorów z obiektów gospodarki komunalnej, w szczególności na przyczynach powstawania odorów w oczyszczalniach na poszczególnych etapach oczyszczalni ścieków, uzasadniając tym samym konieczność podejmowania działań zmierzających do ograniczenia tej emisji.

Rozdział 3 rozprawy obejmuje przegląd fizycznych i biologicznych metod ograniczania emisji odorów. Doktorantka dość ogólnikowo omówiła możliwości wykorzystania zarówno adsorpcji jak i absorpcji oraz spalania do usuwania odorów ze strumienia gazów, koncentrując się głównie na metodach biologicznych. W tym zakresie Kandydatka omówiła trzy technologie wykorzystywane do biologicznego oczyszczania gazów takie jak biofiltry, bioskrubery oraz bioreaktory ze złożem zraszanym przedstawiając zalety i wady tych rozwiązań, wskazując jednocześnie, że to te ostatnie są optymalnym rozwiązaniem dla usuwania odorów.

Część literaturową rozprawy doktorskiej kończy rozdział 4, w którym Doktorantka przedstawiła możliwości wykorzystania Kompaktowego Bioreaktora Trójfazowego do usuwania zanieczyszczeń gazowych, w tym odorów ze strumienia gazu. Doktorantka omówiła zarówno zasadę działania jak i mechanizm usuwania zanieczyszczeń oraz mikroorganizmy wykorzystywane w tym procesie. Zwróciła uwagę na wpływ takich czynników jak pH, temperatura, dostępność tlenu, wilgotność, czas przebywania oczyszczanego gazu w reaktorze, rodzaj złoża na skuteczność biodegradacji zanieczyszczeń zaliczanych do odorów, ze szczególnym uwzględnieniem  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  oraz LZO. Doktorantka zwróciła uwagę na parametry pracy bioreaktora określające skuteczność jego działania takie jak: efektywność degradacji zanieczyszczeń (K) jako stosunek różnicy stężeń zanieczyszczeń w gazach wlotowych i wylotowych z bioreaktora do stężenia zanieczyszczeń w gazach wlotowych, wylotowe obciążenie masowe (MS) jako stosunek stężenia zanieczyszczeń w gazie wlotowym do średniego czasu przebywania w złożu oraz zdolność eliminacji (EC) jako stosunek różnicy stężenia zanieczyszczeń w gazach wlotowych i wylotowych z bioreaktora do czasu przebywania fazy gazowej w bioreaktorze, które następnie wykorzystwała do oceny pracy testowanego Kompaktowego Bioreaktora Trójfazowego. Należy jednak zauważyć, że istotne aspekty dotyczące kinetyki biodegradacji oraz efektywności biodegradacji i zależności zdolności eliminacji EC od wlotowego obciążenia masowego MS Doktorantka zaprezentowała dopiero na etapie dyskusji wyników (rozdział 8), zamiast w części literaturowej, co znacznie ułatwiłoby interpretację wyników prezentowanych w rozdziale 7.

Na zakończenie tej części rozprawy Doktorantka przedstawiła wyniki oceny pracy KBT wykorzystywanego do usuwania  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  oraz LZO ze strumieni gazów z instalacji przemysłowych oraz oczyszczalni ścieków PKN Orlen S.A. Dane z instalacji pilotażowych jednoznacznie wskazywały na wysoką skuteczność działania bioreaktora przy jednoczesnym zwróceniu uwagi na problemy eksploatacyjne, w tym np. konieczność kontroli przyrostu biomasy poprzez sterowanie przepływem fazy ciekłej jak i gazu. Pozytywne wyniki badań pilotażowych dla KBT uzasadniały prowadzenie dalszych

badań nad wykorzystaniem bioreaktora do usuwania odorów z innych instalacji, w tym powstających na oczyszczalniach ścieków komunalnych, co było przedmiotem recenzowanej rozprawy doktorskiej.

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiony przegląd literatury choć niekiedy ogólnikowy lub pomijający część zagadnień związanych z odorami odnosi się jednak do istotnych aspektów rozprawy i uzasadnia celowość badań prowadzonych w ramach niniejszego doktoratu. Niestety należy również zauważyć, że przedstawiony przegląd literaturowy nie jest pozbawiony licznych błędów oraz lapsusów językowych, co zostanie omówione w dalszej części recenzji.

#### **c. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w ramach rozprawy doktorskiej**

Rozprawa doktorska została przygotowana w oparciu o 247 pozycje obejmujące publikacje z liczących się czasopism krajowych i zagranicznych z okresu 1998-2023 oraz informacje dostępne na stronach internetowych (6 pozycji, bez daty dostępu), zgodnych z tematyką rozprawy doktorskiej. Należy podkreślić, że zdecydowana większość pozycji to publikacje w języku angielskim. Z wykazu literatury wynika, że Doktorantka jest współautorem 15 publikacji, z czego w 9 jest pierwszym autorem, co świadczy dużej aktywności naukowej jak i umiejętności pracy w zespole.

Wobec powyższego należy stwierdzić, że recenzowana rozprawa doktorska została przygotowana w oparciu o najnowszą literaturę odnoszącą się do zagadnień dotyczących problematyki ograniczania emisji odorów, a liczba cytowanych pozycji wskazuje na gruntowną analizę aktualnego stanu wiedzy w tym obszarze i obejmuje również publikacje własne Doktorantki.

#### **d. Wskazanie oraz ocena celu pracy kandydata**

W rozdziale 5 Doktorantka przedstawiła tezy i cel rozprawy doktorskiej. W oparciu o dane literaturowe oraz wyniki badań własnych dotyczących oceny skuteczności usuwania odorów z instalacji przemysłowych z wykorzystaniem Kompaktowego Bioreaktora Trójfazowego Doktorantka uznała za celowe prowadzenie dalszych badań, w szczególności adaptacji niniejszej technologii do usuwania odorów powstających w procesie oczyszczania ścieków i sformułowała następujące tezy pracy:

- *Kompaktowe Bioreaktory Trójfazowe zapewniają wysoką efektywność usuwania odorów i LZO powstających w rzeczywistych warunkach eksploatacji komunalnych, mechaniczno - biologicznych oczyszczalni ścieków.*

- *Dzięki sterowaniu parametrami pracy (prędkością przepływu fazy gazowej i ciekłej, wartością pH fazy ciekłej), a także doborowi starannie wyselekcjonowanej grupy mikroorganizmów, w Kompaktowych Bioreaktorach Trójfazowych można uzyskać wysoką efektywność usuwania LZO, H<sub>2</sub>S i NH<sub>3</sub> nawet w warunkach znacznej zmienności stężeń tych zanieczyszczeń w emitowanych gazach.*

Celem głównym pracy było „wykazanie skuteczności i zasadności biooczyszczania powietrza z odorów i LZO w Kompaktowych Bioreaktorach Trójfazowych w skali pilotażowej, w warunkach rzeczywistej zmienności stężeń zanieczyszczeń w emitowanych gazach, pod kątem możliwości przeskalowania do pełnowymiarowej instalacji technicznej i wdrożenia do sektora komunalnego, w szczególności do komunalnych oczyszczalni ścieków.”

W celu udowodnienia postawionych tez oraz osiągnięcia celu rozprawy Doktorantka zaplanowała następujące zadania badawcze:



- Przeprowadzenie testu efektywności degradacji odorów, w tym LZO, z użyciem Kompaktowego Bioreaktora Trójfazowego (KBT) w skali pilotażowej, w dwóch biologicznych oczyszczalniach ścieków. Emisja zanieczyszczeń pochodziła z różnych źródeł i charakteryzowała się odmienną charakterystyką, co umożliwiło sprawdzenie uniwersalności technologii pod kątem zasadności jej wdrożenia w pełnowymiarowej skali.
- Określenie zakresu zmienności i wahań stężenia odorów i LZO emitowanych w oczyszczalniach ścieków, a także sprawdzenie wpływu nagłych przeciążeń reaktora KBT ładunkiem zanieczyszczeń na czas potrzebny na regenerację mikroorganizmów i powrotu do stabilnych warunków procesu.
- Określenie wpływu zmiennych parametrów pracy reaktora KBT (pH fazy ciekłej oraz przepływu fazy gazowej i ciekłej), na efektywność biooczyszczania powietrza.
- Określenie zakresu parametrów pracy reaktora KBT w rzeczywistych warunkach oczyszczalni ścieków, przy których badane mikroorganizmy są najbardziej efektywne.
- Ocenę stanu i możliwości adaptacyjnych mikroorganizmów w reaktorze KBT do biodegradacji odorów i LZO emitowanych w oczyszczalniach ścieków.
- Ocenę żywotności oraz aktywności mikroorganizmów w warunkach nagłych przeciążeń reaktora KBT, przestojów w dostawie prądu, a także zanieczyszczonego powietrza.
- Zoptymalizowanie pracy reaktora KBT w rzeczywistych warunkach panujących na terenie oczyszczalni ścieków, w celu maksymalizacji efektywności biooczyszczania powietrza.

W mojej ocenie tezy jak i cel pracy zostały poprawnie sformułowane i wskazują zarówno na naukowy jak i użytkowy charakter realizowanych badań, co jest właściwe dla doktoratu wdrożeniowego. Jednocześnie należy zwrócić uwagę, że zarówno w niniejszym rozdziale jak i w dalszych częściach pracy Doktorantka używa określenia „odory i LZO”, co nie jest właściwe, ponieważ jak sama wskazała w rozdziale 1 rozprawy LZO zaliczane są do związków odorotwórczych.

#### ***e. Wskazanie oraz ocena zastosowanych metod badawczych***

Prezentowane w rozprawie doktorskiej badania realizowane były w skali pilotażowej w warunkach rzeczywistych na stanowiskach badawczych ulokowanych na terenie Oczyszczalni Ścieków „Klimzowiec”, w okresie 06.2020 – 09.2021 oraz na Oczyszczalni Ścieków „Tychy-Urbanowiec” w okresie 10.2022 – 03.2023. W badaniach wykorzystano KBT firmy Ekoinwentyka Sp z o.o. Złoże reaktora z pierścieni polipropylenowych miało 1,2 m wysokości, pojemność 0,6 m<sup>3</sup>.

W przypadku obu oczyszczalni stanowisko badawcze było usytuowane w miejscu o największej uciążliwości odorowej. W przypadku Oczyszczalni „Klimzowiec” powietrze pobierane było z nad biofiltra oczyszczającego powietrze ze zbiorników osadu nadmiernego, zagęszczonego i prefermentowanego, przy czym przepływ zanieczyszczonego powietrza przez biofiltr wynosił 2800 m<sup>3</sup>/h, a przepustowość instalacji pilotażowej wynosiła 30 m<sup>3</sup>/h. W przypadku oczyszczalni „Tychy-Urbanowiec” gaz doprowadzany do instalacji badawczej pobierany był ze zbiornika, w którym poddawano procesowi fermentacji osady ściekowe oraz odpady zewnętrzne z przemysłu mleczarskiego jak również z produkcji oleju rzepakowego. Doktorantka nie podała jaka część strumienia zanieczyszczonego gazu kierowana była na KBT. W przypadku obu stanowisk badawczych

mikroorganizmy zasiedlające KBT pochodziły z danej oczyszczalni, z miejsca największej uciążliwości odorowej oraz z hodowli mikroorganizmów prowadzonej przez firmę Ekoinwentyka Sp z o.o.

Badania prowadzone były przy dwóch wartościach odczynu tj.  $\text{pH} = 7$  jako optymalnym dla rozwoju mikroorganizmów oraz  $\text{pH} = 5$  ułatwiającym rozwój bakterii utleniających siarkę. Stałość odczynu zapewniana była za pomocą dozowania roztworów buforowych. Natężenie przepływu fazy gazowej wynosiło  $7 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $15 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $20 \text{ m}^3/\text{h}$  oraz  $30 \text{ m}^3/\text{h}$ , a przepływ fazy ciekłej  $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$  i  $7,0 \text{ m}^3/\text{h}$ .

Skuteczność działania KBT Doktorantka oceniała w oparciu o analizę stężenia  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  oraz LZO na wlocie i wylocie z bioreaktora z wykorzystaniem przenośnych detektorów gazów. Na bieżąco kontrolowana była również obecność mikroorganizmów za pomocą analizy mikroskopowej, pomiaru absorbancji, mętności oraz z wykorzystaniem NEFERMtestów.

Oceniając całościowo metodykę badań należy stwierdzić, że badania realizowane przez Doktorantkę zostały prawidłowo zaplanowane i realizowane i były wystarczające dla oceny wpływu zmian parametrów procesu na skuteczności usuwania  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  oraz LZO. Istotne jest również to, że badania prowadzone były dla dwóch oczyszczalni ścieków i przy różnych poziomach stężeń zanieczyszczeń w powietrzu podawanym na bioreaktor. Szkoda, że Doktorantka nie wykorzystwała technik statystycznych planowania badań, co pozwoliłoby na stworzenie modelu do prognozowania efektywności usuwania odorów w KBT w zależności od parametrów procesu.

#### ***f. Ocena części rozprawy doktorskiej dotyczącej omówienia wyników badań***

Prezentacja wyników badań i ich omówienie zostały przedstawione w rozdziale 7 i 8 odpowiednio. W przypadku obu oczyszczalni w pierwszy etapie Doktorantka przeprowadziła immobilizację mikroorganizmów na złożu bioreaktora oraz oceniła jakość wpracowanego złoża. W oparciu o pomiary mętności oraz ciśnienia na wejściu i wyjściu z reaktora stwierdziła, że przyjęte warunki pracy bioreaktora były prawidłowe, nie obserwowano nadmiernego rozwoju biomasy ani tendencji do zatykania złoża.

W kolejnym etapie na bioreaktor podawany był strumień zanieczyszczonego powietrza z instalacji, a wyniki badań dla obu oczyszczalni ścieków (rozdział 7), przedstawione zostały w tabelach obejmujących wartości stężeń zanieczyszczeń gazowych  $C_{g\text{max}}$ ,  $C_{g\text{min}}$  oraz  $C_{g\text{sr}}$ , efektywność degradacji zanieczyszczeń  $K_{\text{sr}}$  oraz wartości wlotowego stężenia masowego  $MS_{\text{max}}$ ,  $MS_{\text{min}}$  i  $MS_{\text{sr}}$ , przy założonym przepływie fazy ciekłej i  $\text{pH}$  oraz przepływie fazy gazowej  $V_g$   $7\text{-}30 \text{ m}^3/\text{h}$ , jak również na wykresach obejmujących zależności takie jak: zdolność eliminacji  $EC=f(MS)$ ,  $K=f(MS)$ ,  $EC=f(V_g)$  oraz  $C_g=f(\text{czas})$ .

Analiza danych zaprezentowanych w tabelach i szczegółowo omówionych przez Doktorantkę, co do zasady, wskazuje na wysoką skuteczność usuwania wybranych zanieczyszczeń i potwierdza możliwość adaptacji KBT do usuwania wybranych zanieczyszczeń. Niemniej jednak należy zwrócić uwagę, że podawane wartości efektywności degradacji ( $K$ ) są wartościami średnimi, co oznacza, że były okresy pracy KBT, w których efektywność degradacji była niższa. Powstaje więc pytanie co mogło być przyczyną nierównomiernej pracy bioreaktora i jak długie były to okresy. Wyjaśnienia wymagają również zależności zmiany stężenia zanieczyszczeń na wlocie w czasie  $C_g=f(\text{czas})$  jak i efektywności degradacji  $K=f(\text{czas})$  przedstawione rys. 33b, 34b, 36b, 43, 44b, 45b, 55, 57, 60, 63, 65a, 66, 69b, 70, 71, 73, 75, 76, a dotyczące wybranych odcinków czasu pracy bioreaktora. Niezbędne jest wyjaśnienie w oparciu o jakie przesłanki wybrane zostały te przedziały czasowe oraz dlaczego są zróżnicowane na



poszczególnych wykresach. W mojej ocenie zabrakło również analizy wpływu temperatury (a badania prowadzono w różnych porach roku) oraz dostępności tlenu, mających istotne znaczenie dla funkcjonowania mikroorganizmów, a tym samym wpływających na skuteczność działania bioreaktora. Ważne byłoby również wyjaśnienie jak należy rozumieć wartość  $C_g \text{ min} = 0 \text{ [mg/m}^3\text{]}$  skoro na bioreaktor podawane było zanieczyszczone powietrze znad biofiltra (Klimzowiec) lub znad zbiornika odpadów tłuszczowych (Tychy-Urbanowiec), co według mnie oznacza, że zawsze obecne były analizowane zanieczyszczenia gazowe tylko na różnym poziomie stężenia.

Istotną częścią badań wykonanych i prezentowanych w ramach recenzowanej pracy doktorskiej było poszukiwanie zależności pomiędzy prędkością przepływu fazy gazowej i fazy ciekłej oraz pH, a skutecznością biodegradacji analizowanych zanieczyszczeń. Analizując zależności ilości zanieczyszczeń rozkładanych w bioreaktorze w jednostce czasu i objętości złoża (EC) w odniesieniu od wlotowego obciążenia masowego (MS), niezależnie od rodzaju usuwanej substancji, Doktorantka wskazuje na liniową zależność, świadczącą o tym, że reaktor KBT pracuje w reżimie kontrolowanym wymianą masy. Oznacza to, że dla efektywnej pracy bioreaktora konieczne jest jak najlepsze wymieszanie fazy ciekłej i gazowej, skutkujące zapewnieniem większej powierzchni kontaktu gaz-ciecz. Zwiększona cyrkulacja fazy ciekłej w układzie zapewnia lepsze zwilżenie biofilmu, a tym samym dostarczanie wody i składników odżywczych oraz wymywanie produktów biodegradacji, co zapobiega gromadzeniu się ich w biofilmie. Jednocześnie zdaniem Doktorantki w testowanych warunkach nie została przekroczona maksymalna zdolność eliminacji, czyli wartość krytyczna EC, co wskazuje na możliwość zwiększenia wlotowego obciążenia masowego zachowując efektywność degradacji. Trudno jednak zgodzić się z tą oceną. Należy zauważyć, że na większości wykresów (rys. 33a, 34a, 35a, 40b, 42, 46, 49a, 54a, 56b, 59, 67), rozrzut punktów jest tak znaczny, że trudno dopatrywać się zależności liniowych. Doktorantka zasadniczo pozostawia ten fakt bez komentarza, a wskazana byłaby analiza punktów odbiegających od prostej. Jest dalece prawdopodobne, że występowały okresy przekraczania wartości krytycznej EC, co nie zostało wychwycone, a co ma istotne znaczenia w przypadku zastosowania Kompaktowego Bioreaktora Trójfazowego w skali technicznej. Trudno również dopatrzeć się wpływu pH fazy ciekłej na skuteczność usuwania odorów w badanej instalacji.

Należy podkreślić, że istotną częścią prac prowadzonych przez Doktorantkę była analiza pracy i niezawodności testowanego bioreaktora w warunkach nagłych zmian zarówno parametrów zewnętrznych (temperatura, wilgotność, brak prądu), jak i zmian stężenia zanieczyszczeń. Występujące problemy eksploatacyjne, z którymi Doktorantka sobie poradziła wnoszą istotną wiedzę praktyczną, niezwykle ważną przy przejściu ze skali pilotażowej na techniczną.

Ostatnim etapem prezentowanych badań była analiza rozkładu biofilmu na pierścieniach polietylenowych stanowiących wypełnienie bioreaktora. Doktorantka wykazała, że chociaż rozkład biofilmu na pierścieniach w poszczególnych warstwach był zróżnicowany to jednocześnie nie stwierdziła spadków ciśnienia wskazujących na akumulację biomasy w złożu jak również nie zauważyła obecności szlamu, co świadczy o optymalnym doborze warunków pracy bioreaktora.

Rozdział 8 rozprawy obejmuje dyskusję wyników, która zasadniczo jest powtórzeniem rozważań przedstawionych na etapie prezentacji wyników, ale w odniesieniu do danych literaturowych. Doktorantka wykazała, że wyniki oceny skuteczności usuwania wybranych zanieczyszczeń gazowych z wykorzystaniem Kompaktowego Bioreaktora Trójfazowego w warunkach rzeczywistych są zgodne

z doniesieniami innych autorów badających podobne bioreaktory. Wyniki te wskazują, że proces biodegradacji  $H_2S$ ,  $NH_3$  oraz LZO jest limitowany szybkością przenoszenia masy z fazy gazowej do fazy ciekłej. Z tego też względu dla danego układu reakcyjnego istotny jest optymalny dobór szybkości przepływu fazy ciekłej w stosunku do fazy gazowej, co przekłada się na wartość wlotowego obciążenia masowego, a w konsekwencji zdolność eliminacji zanieczyszczeń. Doktorantka zwróciła również uwagę na istotną zaletę usuwania odorów z wykorzystaniem technologii KBT jaką jest ciągłość pracy bioreaktora oraz brak kosztów związanych z wymianą, regeneracją lub utylizacją złoża.

W rozdziale 9 Doktorantka przedstawiła wnioski wynikające z przeprowadzonych badań wskazujące, że możliwe jest określenie optymalnych parametrów pracy Kompaktowego Bioreaktora Trójfazowego obejmujących dobór wyselekcjonowanej grupy mikroorganizmów, określenie szybkości przepływu fazy gazowej oraz ciekłej i pH, zapewniające wysoką skuteczność usuwania  $H_2S$ ,  $NH_3$  oraz LZO, a tym samym możliwość adaptacji technologii KBT do ograniczania emisji odorów powstających w procesie oczyszczania ścieków komunalnych. Sformułowane wnioski wskazują, że tezy pracy zostały udowodnione i cel pracy został osiągnięty.

#### ***g. Informacje dotyczące praktycznego zastosowania uzyskanych wyników badań***

Recenzowana rozprawa doktorska była realizowana w ramach doktoratu wdrożeniowego i koncentrowała się na ocenie możliwości adaptacji technologii usuwania  $H_2S$ ,  $NH_3$  oraz LZO ze strumienia zanieczyszczonego powietrza pochodzącego z procesu oczyszczania ścieków z wykorzystaniem Kompaktowego Bioreaktora Trójfazowego firmy Ekoinwentyka Sp z o.o. Badania miały charakter aplikacyjny prowadzący z jednej strony do poszerzenia wiedzy w zakresie wpływu parametrów procesu na skuteczność usuwania wybranych grup zanieczyszczeń gazowych, a z drugiej nastawione były na ocenę działania i niezawodności samego bioreaktora w warunkach rzeczywistych pracy oczyszczalni ścieków, przy narażeniu na nagłe zmiany stężeń zanieczyszczeń, temperatury, wilgotności. Uzyskane wyniki dla dwóch różnych oczyszczalniach ścieków, potwierdziły wysoką skuteczność usuwania badanych zanieczyszczeń gazowych, a tym samym możliwość i zasadność wdrożenia testowanej technologii w pełnej skali technicznej, nie tylko w oczyszczalniach ścieków, ale również w innych zakładach sektora komunalnego.

#### ***h. Informacje o ewentualnych nieprawidłowościach, które pojawiły się w ocenianej rozprawie doktorskiej***

Wnikliwa lektura recenzowanej rozprawy prowadzi do kilku zasadniczych spostrzeżeń i uwag. Uwagi merytoryczne zostały przedstawione powyżej, natomiast pozostałe odnoszą się głównie do strony redakcyjnej bez wpływu na ocenę pracy, a jako przykłady można podać:

- liczne błędy stylistyczne i interpunkcyjne,
- opis rys.3. „Adsorpcja na węglu aktywnym (wg firmy AMBOSO)” - nie jest poprawny, ponieważ rysunek przedstawia zdjęcie granulowanego węgla aktywnego oraz adsorber, a nie adsorpcję jako taką,
- na str. 32 Doktorantka napisała „Rolę katalizatorów pełnią nieorganiczne nośniki, takie jak krzemionka, tlenek glinu, zeolit i węgiel aktywny, na których naniesione są metale szlachetne – platyna, pallad, miedź czy wanad” – co nie jest poprawne, ponieważ to wymienione metale szlachetne pełnią funkcję katalizatorów a nie ich nośniki,



- na str. 33 Doktorantka napisała „Najpierw dochodzi do wysycenia złoża zanieczyszczeniami, w wyniku adsorpcji odorów na węglu aktywnym, po czym następuje spalanie tych zanieczyszczeń w celu regeneracji złoża” – jaki proces regeneracji Doktorantka miała na myśli,
- str. 85 - co to znaczy, że „najwięcej punktów pomiarowych odnotowano w zakresie stężeń.....” (wielokrotnie powtarza się w pracy),
- rys. 39 brak opisu osi,
- str. 99 - co to znaczy „były to, jednakże pojedyncze i epizodyczne punkty pomiarowe, spowodowane zanieczyszczeniem lub zawilgoceniem detektora”,
- rys. 46 brak opisu osi,
- rys. 50 brak odniesienia w tekście,
- rys. 61 i rys. 62 brak legendy

***i. Ocena czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego***

Recenzowana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Wyniki badań uzyskane w ramach recenzowanej rozprawy doktorskiej mają istotne znaczenie zarówno z naukowego jak i utylitarne punktu widzenia. Do najważniejszych osiągnięć Doktorantki zaliczam wykazanie, że:

- Kompaktowy Bioreaktor Trójfazowy zapewnia wysoką efektywność usuwania  $H_2S$ ,  $NH_3$  oraz LZO powstających w procesie oczyszczania ścieków komunalnych z powodzeniem może być wykorzystywany do, usuwania odorów i
- proces biodegradacji  $H_2S$ ,  $NH_3$  oraz LZO prowadzony Kompaktowym Bioreaktorze Trójfazowym jest limitowany szybkością przenoszenia masy z fazy gazowej do fazy ciekłej, co ma istotne znaczenie dla ustalania optymalnych parametrów pracy bioreaktora,
- możliwe jest wskazanie optymalnych parametrów pracy KBT, zapewniających wysoką skuteczność usuwania  $H_2S$ ,  $NH_3$  oraz LZO, poprzez dobór wyselekcjonowanej grupy mikroorganizmów, określenie szybkości przepływu fazy gazowej oraz ciekłej i pH,
- w testowanym KBT występują problemy eksploatacyjne, mające wpływ na funkcjonowanie bioreaktora i poprawność odczytywanych wyników, które powinny być usunięte przed wdrożeniem technologii KBT w skali technicznej.

***j. Ocena czy rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej***

Recenzowana rozprawa doktorska, pomimo przedstawionych powyżej uwag krytycznych, dotyczących głównie sposobu prezentacji wyników, które należy traktować jak głos w dyskusji a nie zarzuty, potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w zakresie dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, w szczególności w zakresie dotyczącym problematyki ochrony powietrza, emisji i rozprzestrzeniania się odorów oraz biologicznych metod oczyszczania gazów. Wysoko oceniam zarówno zakres jak i poziom merytoryczny przeprowadzonych badań. Doktorantka wykazała się gruntowną znajomością literatury dotyczącej tematyki pracy oraz dobrym przygotowaniem do realizacji badań, które zostały przeprowadzone samodzielnie, prawidłowo i rzetelnie.

## Wniosek końcowy

W podsumowaniu niniejszej recenzji stwierdzam, że treść rozprawy jest zgodna z tytułem, a cel pracy został zrealizowany. Podjęta w rozprawie tematyka badań dotycząca możliwości wykorzystania kompaktowego bioreaktora trójfazowego usuwania odorów powstających w procesie oczyszczania ścieków wpisuje się w aktualny nurt badań dotyczących ograniczania emisji zanieczyszczeń i ochrony powietrza. Pomimo uwag krytycznych przedstawione wyniki badań mają znaczenie naukowe i użyteczne. W mojej opinii, rozprawa doktorska Pani mgr inż. Anity Parzentej-Gabor pt. *„Adaptacja technologii usuwania odorów w Kompaktowych Reaktorach Trójfazowych do sektora komunalnego, w szczególności do oczyszczalni ścieków”*, odpowiada wymaganiom stawianym pracom doktorskim określonym w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz.1668 ze zm.), ponieważ potwierdza: ogólną wiedzę Doktorantki w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej, prezentuje oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Tym samym recenzowana rozprawa doktorska może stanowić podstawę do nadania stopnia naukowego doktora nauk inżynierijno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka i wnoszę do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

