

dr hab. inż. Izabel Kruszelnicka, prof. uczelni PP
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych
Zakład Zaopatrzenia w Wodę i Biogospodarki
Politechnika Poznańska
ul. Berdychowo 4
60-965 Poznań

Poznań, 31.07.2024 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Anity Parzentnej-Gabor

pt. „Adaptacja technologii usuwania odorów w Kompaktowych Bioreaktorach Trójfazowych do sektora komunalnego, w szczególności do oczyszczalni ścieków”

Promotor: prof. dr hab. inż. Krzysztof Barbusiński

Promotor pomocniczy: mgr inż. Damian Kasperczyk

1. Przedmiot recenzji i podstawa jej opracowania

Recenzja dotyczy rozprawy doktorskiej pt. „Adaptacja technologii usuwania odorów w Kompaktowych Bioreaktorach Trójfazowych do sektora komunalnego, w szczególności do oczyszczalni ścieków”, wykonanej przez Panią mgr inż. Anitę Parzentną – Gabor. Praca obejmuje 201 stron tekstu, zawiera 53 tabele i 84 rysunki. Uzupełnienie rozprawy stanowi spis zamieszczonych w tekście tabel, rysunków oraz wykaz literatury obejmujący 253 pozycje.

Recenzję opracowano na podstawie umowy o dzieło zawartej 25.05.2024 r. pomiędzy Politechniką Śląską reprezentowaną przez prof. dr hab. inż. Mariusza Dudziaka, Dziekana Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki, a opiniodawcą.

2. Charakterystyka i ocena rozprawy

2.1. Ocena zasadności podjęcia tematu

Dezodoryzacja jest jednym z trudniejszych zagadnień techniki oczyszczania gazów odlotowych. Niski próg wyczuwalności węchowej wielu gazów charakteryzujących się przykrym zapachem sprawia, że w większości przypadków do jego likwidacji niezbędne jest niemal całkowite usunięcie substancji odorowej. Obecnie uciążliwości zapachowe stanowią

znaczący problem dla społeczeństw zamieszkujących państwa członkowskie Unii Europejskiej. W Polsce w ostatnich latach wzrasta liczba kierowanych do Inspekcji Ochrony Środowiska skarg na odory i obecnie stanowią one ponad połowę wszystkich skarg dotyczących jakości powietrza. Wśród nich są te związane z **niewłaściwym eksploatowaniem instalacji przeznaczonych do oczyszczania ścieków**.

W przedłożonej do recenzji pracy doktorskiej poruszono niezwykle istotny temat związany z koniecznością podejmowania działań mających na celu ograniczenie emisji wraz z dezodoryzacją powstających gazów, co stanowi wyzwanie dla większości obiektów komunalnych. Wynika to przede wszystkim z wysokich kosztów podejmowanych działań przedsiębiorstw, ale również z trudności umiejętnego włączenia instalacji do istniejącej infrastruktury obiektu komunalnego.

Metody dezodoryzacji powinny charakteryzować się wysoką efektywnością, brakiem generowania szkodliwych produktów ubocznych, jednocześnie przy zachowaniu racjonalnych kosztów inwestycyjnych i operacyjnych. Urządzeniami spełniającymi te wymagania, a jednocześnie posiadającymi duży potencjał wdrożeniowy są właśnie wykorzystywane przez Doktorantkę w badaniach Kompaktowe Bioreaktory Trójfazowe (KBT).

Celem podejmowanych przez Autorkę działań było wykazanie skuteczności i zasadności biooczyszczania powietrza z odorów i LZO w Kompaktowych Bioreaktorach Trójfazowych (KBT) w skali pilotażowej, w warunkach rzeczywistej zmienności stężeń zanieczyszczeń w emitowanych gazach, pod kątem możliwości przeskalowania do pełnowymiarowej instalacji technicznej. Ważnym aspektem było udowodnienie możliwości wdrożenia rozwiązania KBT do sektora komunalnego, w szczególności do komunalnych oczyszczalni ścieków. Dlatego przedstawiona do recenzji dysertacja wpisuje się w aktualny nurt badań prowadzonych w celu opracowania skutecznych i tanich metoda usuwania odorów i stanowi niewątpliwie cenny wkład w dyscyplinę.

2.2. Charakterystyka rozprawy

Układ rozprawy doktorskiej jest typowy dla prac o charakterze doświadczalnym. Dysertacja jest klasycznym opracowaniem liczącym 201 stron. Składa się z 11 rozdziałów oraz streszczenia w języku polskim i angielskim, wykazu stosowanych skrótów, spisu literatury, spisu tabel i rysunków. Poszczególne rozdziały pracy są logicznie ułożone i stanowią kompleksową całość. Konstrukcję rozprawy oparto na jedenastu głównych rozdziałach. Pierwszy z nich zawiera wprowadzenie i przegląd literatury, to część teoretyczna, stanowiąca

około 29% ogółu pracy, a pozostałe, dotyczą części empirycznej (50%). W pracy zacytowano 253 publikacje naukowe (co stanowi 11%). Dobór bibliografii jest odpowiedni i obejmuje najważniejsze pozycje literaturowe z zakresu prowadzonych badań. Proporcje poszczególnych części pracy są adekwatne do charakteru pracy, a uzyskane wyniki zinterpretowano i przedyskutowano prawidłowo. Od strony formalnej praca nie budzi większych zastrzeżeń.

2.3. Szczegółowe omówienie dysertacji

Wprowadzenie, jest wstępem do zasadniczej części pracy, w którym można znaleźć jasno sformułowane uzasadnienie podjętego tematu.

W rozdziale 1 Doktorantka przedstawiła zagadnienia związane z charakterystyką odorów, ze szczególnym uwzględnieniem źródeł emisji odorów, wpływu emisji odorów na otoczenie oraz towarzyszącym temu zagadnieniu regulacjom prawnym.

Logiczną kontynuację tego wątku stanowi rozdział 2, w którym Doktorantka skupiła się na opisanu zagadnień związanych z emisją odorów z obiektów komunalnych w tym z zakładów gospodarki odpadami, przepompowni ścieków oraz instalacji kanalizacyjnych i przede wszystkim oczyszczalni ścieków. Istotnym z punktu widzenia tematu rozprawy doktorskiej elementem tego rozdziału jest zwrócenie uwagi na fakt, że obiekty ciągu technologicznego w oczyszczalniach ścieków są różnymi typami źródeł odorantów, m.in. źródła punktowe, powierzchniowe, niezorganizowane. Natomiast wielkość i charakterystyka smugi zanieczyszczeń zapachowych z obiektów oczyszczalni ścieków jest uzależniona nie tylko od etapu oczyszczania ścieków, ale również od składu ścieków dopływających, a ten jest zmienny w czasie. Wpływ na ilość i skład emitowanych odorantów ma również zastosowana technologia oczyszczania ścieków. W kolejnym rozdziale (rozdział 3) Doktorantka w syntetyczny sposób przedstawiła sposoby ograniczania emisji odorów. Opisuje metody fizykochemiczne dezodoryzacji (adsorpcję, absorpcję, spalanie termiczne i katalityczne) oraz biologiczne (biofiltrację, bioskrubery, bioreaktory ze złożem zraszanym). Należy pamiętać, że oprócz wymienionych przez Doktorantkę metod fizykochemicznych i biologicznych dezodoryzacji, potencjalne zastosowanie mają również metody: ozonowania i utleniania cząstkami aktywnymi oraz możliwe jest stosowanie środków maskująco-dezaktywujących, co Doktorantka pominęła. Jednak to w żaden sposób nie umniejsza wartości doniesień literaturowych, które stanowią doskonałe wprowadzenie do rozdziału 4. W tym miejscu doktorantka opisała technologię Kompaktowych Bioreaktorów Trójfazowych (KBT), dokładnie charakteryzując, warunki ich pracy, zastosowany materiał wypełnienia oraz szczepy wykorzystywanych mikroorganizmów.

W rozdziale 5 oprócz tezy pracy przedstawiono jej cel z uwzględnieniem poszczególnych zadań cząstkowych wchodzących w zakres dysertacji, w tym:

- przeprowadzenie testów efektywności likwidacji odorów, w tym LZO, z użyciem Kompaktowego Bioreaktora Trójfazowego (KBT) w skali pilotażowej, w dwóch biologicznych oczyszczalniach ścieków;
- 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 oraz zoptymalizowanie pracy reaktora KBT w rzeczywistych warunkach panujących na terenie oczyszczalni ścieków, w celu maksymalizacji efektywności biooczyszczania powietrza.

Następnie w rozdziale 6 przybliżono metodykę badawczą, a w szczególności opisano laboratoryjne stanowisko badawcze, pracujące w warunkach rzeczywistych w dwóch lokalizacjach. Na terenie oczyszczalni ścieków „Klimzowiec” należącej do Chorzowsko-Świętochłowickiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji oraz na terenie oczyszczalni ścieków „Tychy-Urbanowice” należącej do Regionalnego Centrum Gospodarki Wodno-Ściekowej S.A. w Tychach. To bezsprzecznie umożliwiło Doktorantce realną ocenę możliwości wdrożeniowych technologii KBT do sektora komunalnego, uwzględniającą różne przeszkody, których nie można było przewidzieć w warunkach laboratoryjnych.

W trakcie prowadzonych badań Doktorantka monitorowała stężenia zanieczyszczeń tj. H_2S , NH_3 i LZO w strumieniu gazów wlotowych i wylotowych z bioreaktora wykorzystując przenośne detektory gazów (Industrial Scientific Ventis MX4, Honeywell MiniRAE 3000, Honeywell MultiRAE, Honeywell QRAE) oraz analizator zawartości gazowego węgla organicznego model: AWE-PW2 firmy LAT sp. z o.o. z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym. Detektory gazu wykonywały pomiary stężenia w cyklach 10-sekundowych, a komputerowy system zapisu danych rejestrował jednonominutowe i uśrednione wartości.

Uzyskane dane posłużyły do wyznaczenia wskaźników charakteryzujących skutki biodegradacji: wlotowego obciążenia masowego (MS), zdolności eliminacji zanieczyszczeń (EC) i efektywności usuwania zanieczyszczeń (K). Niestety brak w pracy informacji jak długo trwały badania, można się tylko domyślać po analizie kolejnego rozdziału, że ponad rok.

Omówieniu wyników badań własnych poświęcony jest rozdział 7. Składa się on z klarownie wydzielonych trzech podrozdziałów, w których Doktorantka zaprezentowała wyniki badań przeprowadzonych w oczyszczalni ścieków „Klimzowiec”, oczyszczalni ścieków „Tychy-Urbanowice” oraz badania złoza po określonym czasie przebywania w bioreaktorze KBT. Każdy z nich zorganizowano w analogiczny sposób, co tworzy logiczną strukturę i ułatwia śledzenie przewodniej myśli dysertacji. Doktorantka rozpoczyna od prezentacji warunków oraz parametrów pracy reaktora KBT przyjętych podczas jego uruchamiania. Następnie szczegółowo omawia przebieg odpowiednio, procesów biodegradacji H_2S i LZO, a w przypadku oczyszczalni „Tychy-Urbanowice” również biodegradacji NH_3 . Na tym tle przechodzi do analizy uzyskanych wyników. Jej głównym wątkiem jest ocena efektywności biooczyszczania powietrza (K) w zależności od odczynu fazy ciekłej, intensywności przepływu odorów (V_g) i fazy ciekłej (V_c), wlotowego obciążenia masowego zanieczyszczeń (MS), czasu przebywania zanieczyszczeń w KBT (tg) oraz rodzaju zastosowanego wypełnienia.

W kolejnym rozdziale 8 Autorka podjęła się dyskusji otrzymanych wyników badań potwierdzając skuteczność i zasadność biooczyszczania powietrza z odorów i LZO w Kompaktowych Bioreaktorach Trójfazowych w skali pilotażowej. Na uwagę zasługuje fakt, że Firma Ekoinwentyka sp. z o.o., będąca Partnerem realizowanej pracy w ramach projektu doktoratu wdrożeniowego, uznała wykonane badania za perspektywiczne w zakresie technologii usuwania odorów w komunalnych oczyszczalniach ścieków. Dlatego rezultaty przedstawionej pracy doktorskiej będą w przyszłości podstawą do opracowania projektów i budowy Kompaktowych Bioreaktorów Trójfazowych w skali technicznej do usuwania odorów, zarówno w oczyszczalniach ścieków, jak również w szeroko rozumianym sektorze komunalnym, co ostatecznie potwierdza wdrożeniowy charakter przedstawionej do recenzji pracy doktorskiej.

2.4. Ocena strony formalnej i językowej dysertacji

Praca została przygotowana w sposób, który umożliwia czytelnikowi łatwe śledzenie i zrozumienie zarówno kontekstu teoretycznego, jak i wyników zaprezentowanych badań aplikacyjnych. Doktorantka jasno, klarownie i komunikatywnie zaprezentowała zarówno

kontekst i wyniki badań literaturowych, jak i wyniki eksperymentów. Strona formalna pracy nie budzi większych zastrzeżeń, a recenzowana praca została napisana w sposób poprawny. Na uwagę zasługuje przejrzystość tabel, wykresów i załączone zdjęcia dokumentujące badania aplikacyjne. Na podkreślenie zasługuje też liczba publikacji stanowiących element systematycznego przeglądu literatury.

2.5. Dostrzeżone uchybienia edycyjne oraz uwagi dyskusyjne

Pomimo ogólnie bardzo dobrego warsztatu pisarskiego, odpowiedniej i ugruntowanej wiedzy oraz dużej skrupulatności w opracowaniu edycyjnym i merytorycznym rozprawy, Autorka nie ustrzegła się jednak pewnych uchybień i niedociągnięć oraz niejasności wymagających dyskusji.

1. Na stronach 3, 5 dysertacji pojawił się błąd, ponieważ gdy skrót wyrazu *doktor* występuje w innym przypadku niż mianownik, należy go zapisać z kropką lub dodaną końcówką fleksyjną czyli „*Uprzejmie dziękuję Szanownemu Panu Prof. dr. hab. inż. Krzysztofowi Barbusińskiemu...*”

2. W pracy pojawiają się niefortunne określenia wynikające w moim odczuciu ze skrótów myślowych, które powodują, że niektóre zdania wymagałyby korekty np. na stronie 23 w podrozdziale 2.2. Przepompownie ścieków i instalacje kanalizacyjne pojawiło się zdanie „*Rozwój skupisk ludności oraz przybywająca ilość oczyszczalni ścieków, skutkuje rozbudową sieci kanalizacyjnej*”. Pojawiają się również błędy interpunkcyjne np. str. 113 prawidłowa wersja to „*W warunkach najwyższego, spośród.....*”. Brak wyśrodkowania tabel, rysunków i wykresów nieco utrudnia czytanie – ale to subiektywna ocena czytającego.

3. Na stronie 57 w podrozdziale 4.3 w drugim akapicie zapisano „*Bąk i in. (2017) ocenili możliwość zastosowania KBT do oczyszczania gazów zawierających mieszaninę styrenu, siarczku dimetylu i etanolu. Średnia efektywność procesu dla 3-składnikowej mieszaniny LZO wynosiła powyżej 95% w dolnych zakresach stężeń, 80% w środkowych zakresach stężeń i powyżej 55% w najwyższych zakresach stężeń zanieczyszczeń. Odnotowano prawie 100% skuteczność biodegradacji etanolu w całym zakresie obciążenia masowego*”- pojawiają się mało precyzyjne określenia typu dolne, średnie, najwyższe stężenia – **nasuwa się pytanie jakie wartości – proszę o wyjaśnienie.**

4. Na stronie 67 w podrozdziale 6.1.4. Mikroorganizmy zasiedlające bioreaktor, Doktorantka wyjaśnia sposób hodowli mikroorganizmów tj. *Czynnik selekcyjny stanowiły docelowe zanieczyszczenia, tj. odory wytwarzane przez oczyszczalnię ścieków; a inkubację próbek*

proszę prowadzono w temperaturze $302 \pm 5 \text{ K}$ (29°C), z dodatkiem roztworu soli mineralnych w inkubatorze z wytrząsaniem urządzeniem typu Biosan ES-20/60 – warto zaznaczyć, że wydzielane podczas procesów oczyszczania ścieków odory powstają samoistnie, a nie są wytwarzane – **proszę w tym miejscu także o wyjaśnienie jak był skład chemiczny odorów tzw. czynnika selekcyjnego oraz jakie sole mineralne dodawano w trakcie inkubacji próbek.**

5. Przeprowadzone przez Doktorantkę badania poprzedzone były siedmiodniowym okresem adaptacji osadu czynnego do „zadanych warunków”. **Proszę o wyjaśnienie, czy tylko uzyskane wyniki wskazujące na wpracowanie złoża były podstawą do przyjęcia takiej długości trwania etapu adaptacji, czy ma to potwierdzenie literaturowe?**

6. Biorąc pod uwagę zapis ze strony 75 (podrozdział 6.4. Warunki prowadzenia procesu biooczyszczania), gdzie podano poszczególne parametry procesu biologicznego oczyszczania powietrza w badanych oczyszczalniach tj: natężenie przepływu fazy gazowej (V_g) w zakresie od $0 \text{ m}^3/\text{h}$ do $30 \text{ m}^3/\text{h}$; natężenie przepływu fazy ciekłej (V_c) w zakresie od $3 \text{ m}^3/\text{h}$ do $7 \text{ m}^3/\text{h}$ ($\pm 5\%$) i pH w zakresie od 5,0 do 7,0 – **proszę o dyskusję, na jakiej podstawie zaproponowano wyżej wymienione parametry pracy reaktora KBT szczególnie dotyczy to odczynu pH.**

7. W podsumowaniu metodyki badań brakuje w mojej ocenie harmonogramu prowadzonych prac badawczych – można się w tym momencie tylko domyślać jak długo trwały eksperymenty – **proszę o wyjaśnienie tej kwestii.**

8. Na stronie 142 w podrozdziale 7.2.3. Biodegradacja NH_3 , zapisano „...*Okolo 90,0% wyników pomiarów tych stężeń mieściło się w zakresie $0 \text{ mg}/\text{m}^3$ - $5 \text{ mg}/\text{m}^3$, a 69,6% wyników pomiarów mieściło się w zakresie $0 \text{ mg}/\text{m}^3$ - $2 \text{ mg}/\text{m}^3$; tylko 0,26% wyników pomiarów zarejestrowało stężenie powyżej $15 \text{ mg}/\text{m}^3$,-* czy podane zakresy są poprawne? **Proszę o komentarz.**

9. Na stronie 151 w podrozdziale 7.3. Badania złoża, znajduje się nieprecyzyjny opis tj. *”Próbki złoża pobrane z górnej warstwy, charakteryzowały się najniższą masą Najwięcej biofilmu zaobserwowano na pierścieniach znajdujących się w środkowej warstwie zbiornika KBT.... czyli na głębokości 60 cm usypanego złoża.... W dolnej warstwie zbiornika pierścienie były pokryte biofilmem, jednak w mniejszym stopniu niż pierścienie warstwy środkowej”* – **w tym miejscu nasuwa się pytanie o wartości oraz czy Doktorantka użyła metody wagowej do oceny przyrostu biofilmu na kształtkach tworzywowych – proszę o odpowiedź ponieważ nie znalazłam takiej analizy w przedłożonej do recenzji dysertacji.**

10. W rozdziale 8. na stronie 153 w tekście dotyczącym zdolności eliminacji H₂S (EC), szkoda, że w opisie nie pojawiły się wartości, a tylko odesłanie do danych zawartych na wykresach, ponieważ to zdecydowanie utrudniło analizę uzyskanych wyników.

11. W rozdziale 8 należało by zmienić tytuł podrozdziału „8.4. Ocena wypełnienia i narosłego biofilmu” na „Ocena wpływu pracy KBT na wypełnienie oraz na jakość i ilość powstającego biofilmu”. W mojej ocenie kluczowym elementem pracy biofiltra jest właśnie biofilm, dlatego moim zdaniem Doktorantka zbyt mało uwagi w dyskusji wyników poświęciła dokładnej analizie składu jakościowego i ilościowego biofilmu bakteryjnego.

12. Biologiczne metody oczyszczania powietrza z lotnych związków organicznych (w tym złożonych), takie jak biofiltracja, są efektywne i konkurencyjne w odniesieniu do adsorpcji, absorpcji czy też spalania termicznego i katalitycznego. Ten rodzaj procesu usuwania zanieczyszczeń nie wymaga stosowania znacznych ilości problematycznych substancji dodatkowych, a ilości powstałych odpadów są niewielkie. Procesy biologicznej degradacji nie „przesuwają” problemu zanieczyszczenia w inne środowisko, co jest charakterystyczne dla wielu klasycznych metod usuwania zanieczyszczeń. I w tym miejscu nasuwa się pytanie czy Doktorantka porównywała koszty stosowania różnych metod dezodoryzacji porównując do Kompaktowych Bioreaktorów Trójfazowych (KBT). **Takiej informacji nie zamieszczono w przedstawionej do recenzji dysertacji – proszę w tej sytuacji Doktorantkę o wyjaśnienie.**

Pragnę podkreślić, że doceniam pracowitość przeprowadzanych badań i nie mam wątpliwości, że ich wykonanie wymagało od Doktorantki bardzo dużego zaangażowania.

Moje uwagi i pytania mają charakter dyskusyjny. Oczekuję, że staną się one przedmiotem dojrzałych, przemyślanych i rzeczowych odpowiedzi Doktorantki podczas publicznej obrony pracy.

3. Podsumowanie wartości merytorycznej pracy i wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę aktualność i znaczenie tematyki rozprawy, sformułowane cele i pytania badawcze, logikę i spójność wywodu, wykorzystane narzędzia badawcze, walory poznawcze, a przede wszystkim walory aplikacyjne wyników przeprowadzonych badań stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr inż. Anity Parzentnej – Gabor stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego z dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Rozprawa doktorska potwierdza wysoki poziom wiedzy teoretycznej i umiejętność samodzielnego prowadzenia prac badawczych. Na podstawie powyższego uzasadnienia wnoszę o dopuszczenie recenzowanej pracy doktorskiej do jej obrony. Tym samym oceniana

rozprawa doktorska spełnia wymagania formalne dla tego typu prac zawarte w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742, 1088, 1234, 1672, 1872, 2005, z 2024 r. poz. 124, 227). Wnioskuje do Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej o dopuszczenie Pani mgr inż. Anity Parzentnej – Gabor do dalszego etapu postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

31.07.2024r.

Kruszelnicka