

Dr hab. inż. Zbysław Dymaczewski, prof.PP
Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechniki Poznańskiej

Poznań, 04.09.2024 r.

R E C E N Z J A
ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
mgr inż. Adama Sztefka

**pt. „Wpływ ścieków surowych z ubojni na fermentację metanową
w reaktorze beztlenowym wspomaganym flotacją biogazem”**

Recenzowana rozprawa doktorska została wykonana w Katedrze Biotechnologii Środowiskowej Politechniki Śląskiej. Promotorem pracy jest prof. dr hab. inż. Joanna Surmacz-Górska, a promotorem pomocniczym dr inż. Grzegorz Cema.

PODSTAWA FORMALNA RECENZJI

Recenzję opracowano na podstawie zlecenia Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej, prof. dr hab. inż. Andrzeja Rusina (Pismo RIE-BD.512.27.2024 z dnia 01.07.2024, Umowa UMC/2281/2024 z dnia 05.07.2024) oraz obowiązujących przepisów.

CHARAKTERYSTYKA ROZPRAWY

Recenzowana praca p.t. „Wpływ ścieków surowych z ubojni na fermentację metanową w reaktorze beztlenowym wspomaganym flotacją biogazem” dotyczy aktualnego a zarazem interesującego z naukowego punktu widzenia i ważnego w aspekcie zastosowań praktycznych problemu efektywnego technologicznie i ekonomicznie oczyszczania ścieków z przemysłu mięsnego z wykorzystaniem reaktorów beztlenowych.

Przedłożona do recenzji rozprawa została przygotowana w tradycyjnej formie zwartej monografii. Zawiera 133 strony maszynopisu, w tym pięć nienumerowanych stron początkowych, obejmujących stronę tytułową, streszczenie w języku polskim, spis treści oraz wykaz symboli i skrótów. Pozostałe 128 stron numerowanych składa się na zasadniczą część pracy. W rozprawie zamieszczono 57 rysunków i 70 tabel.

Formalnie pracę podzielono na 7 numerowanych rozdziałów: „Wprowadzenie”, „Cel i zakres pracy”, „Metodyka”, „Wyniki badań”, „Podsumowanie i wnioski”, „Perspektywa dalszych badań” i „Piśmiennictwo”.

„Wprowadzenie”, które w niniejszej rozprawie pełni też rolę przeglądu literatury, składa się z czterech punktów (1.1 – 1.4), ostatni z nich został dodatkowo podzielony na cztery podpunkty (1.4.1 – 1.4.4). Autor w krótkich słowach przedstawia w nich jak wygląda przemysł mięsny na świecie, charakteryzuje ścieki generowane przez ten przemysł, wymagania prawne dotyczące ich oczyszczania przed wprowadzeniem do środowiska oraz charakteryzuje procesy i urządzenia stosowane w celu uzyskania wymaganego efektu oczyszczenia. Poszczególne części rozdziału pierwszego są bardzo krótkie, obejmując – z jednym wyjątkiem – tylko po maksymalnie 1 – 2 strony. Najwięcej miejsca, kilkanaście stron, Doktorant poświęcił systemom biologicznego oczyszczania ścieków mięsnych (pkt 1.4.4). Punkt ten, czego nie uwzględniono w spisie treści zamieszczonym na początku rozprawy, jest podzielony na trzy numerowane sekcje, poświęcone odpowiednio: metodom beztlenowym (1.4.4.1), sposobom wstępnego przygotowania (1.4.4.2) oraz oczyszczaniu tlenowemu (1.4.4.3) ścieków pochodzących z przemysłu mięsnego.

W krótkim, obejmującym 1,5 strony maszynopisu, rozdziale drugim p.t. „Cel i zakres pracy” Autor naświetla ogólne tło: sytuację na świecie oraz uwarunkowania w przedsiębiorstwie, gdzie realizowano pracę, które zainspirowały go do podjęcia badań. Na tej podstawie, w końcowej części rozdziału został sformułowany główny cel pracy: opracowanie metody skutecznej i szybkiej, a także zasadnej ekonomicznie hydrolizy ścieków

z ubojni, która będzie możliwa do zastosowania w skali technicznej. Cel ten dodatkowo został wzmocniony poprzez określenie trzech celów cząstkowych. Są to:

- Opracowanie metod analizy ścieków z ubojni.
- Określenie wpływu temperatury i odczynu ścieków na efekty hydrolizy ścieków z ubojni.
- Wybór najlepszej metody hydrolizy ścieków z ubojni poprzez przetestowanie dwóch najbardziej skutecznych wariantów hydrolizy przy optymalnym obciążeniu reaktora beztlenowego pracującego w sposób ciągły w skali laboratoryjnej. Uzyskane w ten sposób dane będą mogły zostać wykorzystane do zaprojektowania instalacji beztlenowego oczyszczania ścieków z ubojni w skali technicznej.

Zakres pracy nie został podany wprost, ale bezpośrednio wynika ze sformułowanych celów cząstkowych podanych w tym rozdziale.

Rozdział trzeci p.t. „Metodyka” Autor podzielił na dziewięć punktów (3.1 – 3.9). Kolejno podaje w nich: krótki opis ubojni, z której pobierano ścieki do badań, w tym organizację pracy zakładu (3.1), wstępną charakterystykę ścieków, wykonaną w celu zaplanowania badań zasadniczych (3.2), zakres analityki fizykochemicznej wraz z podaniem metodyki oznaczania poszczególnych wskaźników zanieczyszczenia (3.3). Następnie Doktorant przedstawił opracowaną przez siebie metodykę analizy ścieków mającą na celu ocenę skuteczności procesu hydrolizy oraz fermentacji (3.4), która poprawiała dokładność wcześniej stosowanej metodyki. W punkcie 3.5 został opisany sposób poboru próbek ścieków z zakładu, które następnie analizowano zgodnie z zaproponowaną metodyką. Sposób wytworzenia inoculum wykorzystywanego w badaniach hydrolizy podano szczegółowo w punkcie 3.6. Szczegółowy opis badań hydrolizy ścieków z ubojni, łącznie z harmonogramem badań i wykorzystywaną aparaturą, jest tematem punktu 3.7. Następnie (pkt 3.8) Autor przedstawia sposób oceny efektywności procesu fermentacji metanowej poprzedzonej hydrolizą w warunkach ciągłej pracy reaktora. W ostatnim punkcie (3.9) została krótko opisana metodyka badań metataksonomicznych z wykorzystaniem technik biologii molekularnej – sekwencjonowania nowej generacji z wykorzystaniem genu 16S rRNA.

Treść rozdziału czwartego p.t. „Wyniki badań” zawiera omówienie uzyskanych przez Doktoranta rezultatów. Formalnie rozdział podzielony jest na siedem podrozdziałów, w których Autor prezentuje szczegółowo kolejne elementy swoich badań. Punkt 4.1 poświęcony jest charakterystyce ścieków surowych. Wyniki podzielono na dwie serie badawcze obejmujące okresy, które różniły się sposobem zagospodarowania krwi z uboju, co znacząco wpływało na charakterystykę powstających ścieków. W punkcie 4.2 zostały

przedstawione rozważania poparte wynikami badań, dotyczące zaobserwowanych rozbieżności w uzyskiwanych wartościach ChZT frakcji rozpuszczonej, które skłoniły Doktoranta do poszukiwania przyczyny tego stanu rzeczy a następnie zaproponowania udoskonalonej metodyki analiz. W kolejnym punkcie (4.3) Autor przedstawił wyniki badań wpływu przetrzymania w zbiorniku retencyjnym na skład ścieków surowych zasilających reaktor. Punkt 4.4 to opis części badań dotyczącej wyhodowania inoculum zaadaptowanego do rozkładu związków organicznych występujących w zbiorniku retencyjnym ubojni, potrzebnego do dalszych badań. Wpływ temperatury i pH na przebieg hydrolizy (pkt 4.5) badano dla dwóch temperatur – 22 i 35 °C i pięciu wartości pH – 3, 5, 7-8, 9, 11 przy różnych konfiguracjach tych parametrów. Dla zhydrolizowanych w różnych warunkach ścieków określano potencjał metanogeny. Efektywność oczyszczania ścieków w reaktorze beztlenowym zasilanym ściekami poddanymi hydrolizie (dwa warianty uznane za najkorzystniejsze) oraz ściekami niezhydrolizowanymi (reaktor kontrolny) została przedstawiona i omówiona w punkcie 4.6 rozprawy. Ostatni punkt (4.7) zawiera wyniki przeprowadzonej analizy metagenomicznej w celu określenia składu mikrobiologicznego mikroorganizmów biorących udział w procesie hydrolizy i fermentacji metanowej.

Część merytoryczną rozprawy kończą dwa odrębne rozdziały: rozdział piąty zatytułowany „Podsumowanie i wnioski” oraz szósty „Perspektywa dalszych badań”. Rozdział piąty zawiera jednostronicowe ogólne podsumowanie oraz siedem wniosków o dużej wartości aplikacyjnej, wynikających z przeprowadzonych przez Autora badań. W rozdziale szóstym Doktorant podkreślił wdrożeniowy charakter rozprawy, w tym jego rolę w dalszych działaniach przedsiębiorstwa EMI oraz wskazał cztery główne kierunki, które – jego zdaniem – mogą stanowić kontynuację i rozwinięcie jego osiągnięć.

Całość rozprawy kończy rozdział „Piśmiennictwo”. Spis cytowanych prac składa się ze 112 pozycji (w tym jednej strony internetowej, bez podanej daty dostępu), głównie angielskojęzycznych. Większość – 70 cytowanych źródeł – są to prace z roku 2000 i późniejsze, w tym 15 najnowszych, z ostatnich pięciu lat. Pozostałe wymienione pozycje pochodzą w przeważającej części z lat 80. i 90. ubiegłego stulecia. Doktorant nie boi się też sięgnąć po źródła starsze, w tym przełomowe prace Arderna i Locketta z początku dwudziestego wieku, uznawane za początek ery osadu czynnego w oczyszczaniu ścieków. Dobór bibliografii świadczy o rzetelnym przestudiowaniu przez Autora dostępnych źródeł w celu przedstawienia aktualnego stanu wiedzy.

OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY

Praca doktorska mgr inż. Adama Sztefka jest wynikiem przeprowadzonych studiów literaturowych oraz starannie zaplanowanych i zrealizowanych badań doświadczalnych mających za zadanie osiągnięcie założonych celów. Przy ocenie merytorycznej rozprawy realizowanej w formule doktoratu wdrożeniowego, istotnymi czynnikami są zarówno znaczenie problemu badawczego oraz oryginalność jego rozwiązania jak i fakt realizacji badań w ścisłej współpracy z przemysłem, co podkreśla użyteczny charakter uzyskanych wyników, ich potencjał wdrożeniowy i znaczenie dla gospodarki.

Przemysł mięsny jest coraz częściej krytykowany za ogromną wodochłonność i nadmierne obciążanie środowiska. Podnoszony jest też temat konieczności znacznego ograniczenia podaży wyrobów mięsnych w kontekście polityki walki ze zmianami klimatu oraz racjonalnego gospodarowania zasobami naszej planety. Ścieki z różnych procesów przetwórczych przemysłu mięsnego są z kolei dość uciążliwym odpadem tej produkcji, który należy unieszkodliwić i zagospodarować. Pociąga to za sobą często konieczność zaangażowania istotnych zasobów, np. energii, w zależności od przyjętego w danym zakładzie rozwiązania. W tym kontekście wybór tematu, którego realizacja przyczynia się do poszerzenia wiedzy na temat funkcjonowania i zwiększania efektywności pracy beztlenowych reaktorów biologicznych do oczyszczania ścieków z ubojni zwierząt uważam za zasadny, ciekawy pod względem poznawczym i bardzo aktualny pod względem praktycznym.

Część teoretyczno-literaturowa została przez Autora dobrze skomponowana. Doktorant naświetlił w niej sytuację na świecie w tematyce rozprawy, charakterystykę powstających ścieków i stosowane rozwiązania od najprostszych do zaawansowanych technologicznie. Zdecydowanie najwięcej miejsca zostało poświęcone omówieniu metod biologicznych, w tym beztlenowych, którym poświęcone są badania niniejszej pracy. Z uwagi na fakt, że ten punkt rozprawy (1.4.4) jest prawie dwukrotnie większy niż cała reszta rozdziału, byłoby korzystniej – zdaniem recenzenta – wydzielić ten punkt jako osobny rozdział pracy. Pokazałoby też wagę, jaką Doktorant przywiązuje do tej części podbudowy teoretycznej rozprawy. Przeprowadzone studia literaturowe oraz doświadczenie praktyczne Doktoranta pozwoliły mu na identyfikację obszaru, w którym mógłby uzupełnić istniejący stan wiedzy, a w kolejnym kroku na sformułowanie celów badawczych. Cele, które postawił sobie Autor uważam za w pełni uzasadnione zarówno pod względem naukowym jak i praktycznym.

Wysoko oceniam staranność analizy uzyskiwanych wyników i dostrzeżenie potrzeby modyfikacji metodyki badawczej zawierających krew ścieków z ubojni. Doktorant zauważył i przeanalizował problem a następnie opracował sposób działania eliminujący uzyskiwanie błędnych wyników, co opisał w rozdziale poświęconym metodyce badań. Należą mu się za to wyrazy uznania.

Pozytywnie oceniam zaplanowaną kolejność realizacji badań. Na początku Doktorant skupił się na scharakteryzowaniu ścieków, które miały posłużyć do opracowania najskuteczniejszej metody ich hydrolizy, w tym na przeanalizowaniu zmian składu ścieków na skutek przetrzymywania ich w zbiorniku wyrównawczym. Następnie Autor prezentuje rezultaty badań skuteczności hydrolizy prowadzonych w warunkach psychro- (22°) i mezofilnych (35°) dla pięciu wartości odczynu z przedziału od silnie kwaśnych (pH 3) do silnie zasadowych (pH 11) z kontrolowaniem wybranych wskaźników (ChZT, N ogólny i N-NH₄, LKT) przez okres pięciu dni. Wyniki te są dobrze opisane, natomiast graficzny sposób ich przedstawienia (rys. 27 - 29) jest mało przejrzysty. Przeprowadzone z wykorzystaniem AMPTS badania produkcji metanu dla poszczególnych wariantów prowadzenia hydrolizy uważam za bardzo ciekawe, a uzyskane wyniki posiadają duży walor praktyczny pod kątem zaprojektowania i późniejszej eksploatacji obiektów w skali technicznej. Uzupełnienie tej części badań eksperymentami w beztlenowych reaktorach przepływowych zwiększa jeszcze ich wartość aplikacyjną, a przeprowadzona analiza metagenomiczna składu mikrobiologicznego organizmów biorących udział w hydrolizie i fermentacji metanowej podnosi wartość naukową uzyskanych przez Doktoranta wyników.

Zamieszczone w końcowej części pracy wnioski trafnie podsumowują uzyskane przez Autora wyniki. W przeważającej większości są to wnioski szczegółowe, mające charakter zarówno naukowy jak i praktyczny.

Analizując postawiony cel główny i cele cząstkowe, zakres badań i uzyskane wyniki stwierdzam, że pan mgr inż. Adam Sztefek podszedł do tematu ambitnie i w pełni zrealizował postawione cele i zaplanowane zadania.

Do najistotniejszych osiągnięć pracy zaliczam przede wszystkim:

- Opracowanie metodyki wiarygodnej analizy ChZT rozpuszczonego w ściekach z przemysłu mięsnego. Doktorant zauważył niedoskonałość standardowej procedury analizy w odniesieniu do ścieków z dużą domieszką krwi zwierzęcej i zaproponował własną, zmodyfikowaną, która eliminuje wykryte mankamenty wpływające na prawidłową wartość analizowanego wskaźnika.

- Potwierdzenie badaniami zasadności prowadzenia wstępnej hydrolizy ścieków z ubojni w celu poprawy bilansu energetycznego oczyszczania tych ścieków w reaktorze beztlenowym poprzez zwiększony uzysk biogazu, w tym najkorzystniejszych warunków prowadzenia tego procesu.

Poniżej przedstawiono uwagi krytyczne do pracy i zauważone niedociągnięcia. Częściowo mają one charakter dyskusyjny, nie umniejszają też ogólnej pozytywnej oceny recenzowanej rozprawy.

- Tytuł nie do końca precyzyjnie oddaje treść i główny cel rozprawy. Zdaniem recenzenta sugeruje on raczej badanie przez Autora w jaki sposób dodawanie ścieków z ubojni wpływa na proces fermentacji metanowej i pracę reaktora beztlenowego. Może też sugerować, że ten wpływ jest inny dla reaktora z i bez wspomagania flotacją biogazem. Powinno też znaleźć się odniesienie do procesu hydrolizy, który jest głównym celem badań Doktoranta.
- Brak w części literaturowej odniesienia do sytuacji w Polsce – najczęściej stosowane w kraju układy oczyszczania ścieków mięsnych, porównanie czy przepisy w Polsce są takie jak podawane w pracy przez Doktoranta wartości dla UE.
- Wykaz symboli i skrótów mógłby być bardziej dopracowany, ponieważ są w nim wyjaśniane powszechnie znane oznaczenia, jak ChZT, BZT₅ czy stopnie Celsjusza, a nie umieszczono w nim np. wyjaśnienia skrótów DS, VS.
- W rozdziale 4.1 Autor przedstawił w tabelach 14 i 15 wyniki wykonanych badań podstawowych parametrów fizykochemicznych, jednak nie zamieścił wyników pomiarów pH i temperatury, choć z tekstu wynika, że powinny się tam znaleźć.
- Przedstawienie wyników na rys. 23 w niezbyt zręczny sposób – kolejność Z, Zb powinna być odwrotna oraz, ze względu na różnicę wartości poszczególnych wskaźników o cały rząd wielkości, proponowałbym podział poszczególnych prezentowanych wskaźników na grupy o zbliżonych wartościach liczbowych i przedstawienie ich na osobnych wykresach, ewentualnie poprzestanie na zestawieniu tabelarycznym.

Praca doktorska mgr inż. Adama Sztefka jest napisana zrozumiałym, przejrzystym językiem. Układ pracy generalnie dobrze odzwierciedla zamysł Autora i konsekwentną realizację poszczególnych zadań częściowych.

Pod względem edycyjnym Doktorant nie ustrzegł się pewnych błędów i niedociągnięć. Są to jednak drobiazgi typu literówki (np. Tabela 20: immunoglobiny, powinno być immunoglobuliny), zamienione wartości pH i temperatury (tabela 64, kol.

Hydr.I), rozdzielenie podpisu rysunku albo nagłówka tabeli między kolejnymi stronami, niezbyt czytelne wartości na osi x rysunku 14 czy rok przygotowania rozprawy (2022 zamiast 2024). Nie mają one wpływu na ogólny merytoryczny odbiór pracy, nie umniejszają też ogólnej pozytywnej oceny, jednak wymagałyby poprawy w przypadku przygotowywania na ich podstawie publikacji.

Reasumując, ogólna ocena merytoryczna przedstawionej do recenzji rozprawy jest bardzo pozytywna. Pan mgr inż. Adam Sztefek wykazał się dużą wiedzą, umiejętnością postawienia problemu badawczego i zaplanowania oraz przeprowadzenia badań potrzebnych do jego rozwiązania. Świadczy to o wystarczającej dojrzałości Doktoranta do samodzielnego prowadzenia badań naukowych. Uzyskane w części badawczej wyniki są wiarygodne i wartościowe zarówno w aspekcie poznawczym jak i w odniesieniu do zastosowań praktycznych oraz zawierają elementy nowości i oryginalności. Uzupełniają one dotychczasową wiedzę w zakresie tematyki przedstawionej w rozprawie.

WNIOSEK KOŃCOWY

Rozprawa doktorska mgr inż. Adama Sztefka pt. „Wpływ ścieków surowych z ubojni na fermentację metanową w reaktorze beztlenowym wspomagany flotacją biogazem” jest pracą o charakterze poznawczym i aplikacyjnym, stojącą na wysokim poziomie naukowym. Zawiera ciekawe i oryginalne wyniki badań oraz charakteryzuje się wysokim potencjałem wdrożeniowym. Pan mgr inż. Adam Sztefek wykazał się dużą wiedzą w zakresie tematyki poruszanej w rozprawie oraz umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań i interpretacji uzyskiwanych wyników.

Moim zdaniem **rozprawa ta w pełni spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim** określone w aktualnie obowiązujących przepisach jak również zwyczajowo oczekiwane od rozpraw doktorskich.

Upoważnia mnie to do zaproponowania **przyjęcia rozprawy doktorskiej mgr inż. Adama Sztefka przez Radę Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej i dopuszczenie jej do dalszych etapów w przewodzie doktorskim.**

Podpisał Zbysław Dymaczewski