

Prof. dr hab. inż. Sławomir Ciesielski
Katedra Biotechnologii w Ochronie Środowiska
Wydział Geoinżynierii
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Magdaleny Ćwiertniewicz-Wojciechowskiej pt.:
„Poprawa hydrolizy osadów ściekowych w celu intensyfikacji fermentacji metanowej”

1. Podstawa opracowania

Niniejsza recenzja została napisana w odpowiedzi na uchwałę Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej w Gliwicach z dnia 14.05.2026 (pismo RIE-BD.512.39.2026) i wynika z umowy nr UMC/1991/2026 do wniosku o numerze 1726/UMC/RIE0-1/2026. Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska Pani mgr inż. Magdaleny Ćwiertniewicz-Wojciechowskiej pt.: „Poprawa hydrolizy osadów ściekowych w celu intensyfikacji fermentacji metanowej”, która została wykonana pod kierunkiem Pani prof. dr hab. inż. Aleksandry Ziemińskiej-Buczyńskiej (promotor) oraz Pana dra inż. Grzegorza Cemy (promotor pomocniczy).

2. Celowość podjętej tematyki badawczej

Zagospodarowanie osadów ściekowych jest kluczowe dla funkcjonowania oczyszczalni ścieków, a możliwość konwersji nadmiernych osadów ściekowych w biogaz ma istotne znaczenie z ekonomicznego punktu widzenia, ponieważ wpływa na obniżenie kosztów funkcjonowania oczyszczalni ścieków. W tym kontekście zastosowanie biologicznej metody enzymatycznej z użyciem celulazy jako wstępnej obróbki nadmiarowego osadu czynnego przed fermentacją metanową wydaje się szczególnie uzasadnione. Osady czynne pochodzące z procesów oczyszczania ścieków komunalnych zawierają znaczną frakcję lignocelulozową, która bez wstępnej hydrolizy jest słabo dostępna dla mikroorganizmów. Celulaza katalizuje rozkład celulozy do prostszych cukrów (glukozy i oligosacharydów) zwiększając pulę łatwo fermentowalnych substratów. Usprawnienie etapu hydrolizy, który zwykle ogranicza szybkość procesu, może przyspieszyć produkcję VFA i w konsekwencji przyczynić się do szybszej

i wydajniejszej metanogenezy. Metoda enzymatyczna działa w łagodnych warunkach operacyjnych i nie wymaga wysokiego zużycia energii ani agresywnych chemikaliów, co obniża koszty i ryzyko powstawania inhibitorów procesu. W przeciwieństwie do metod termiczno-chemicznych enzymy selektywnie rozkładają celulozę, minimalizując powstawanie związków toksycznych. Wdrożenie tej strategii wymaga jednak prac badawczych umożliwiających optymalizację dawek enzymu, czasu kontaktu i warunków operacyjnych. Z tego punktu widzenia podjęcie badań nad hydrolizą osadów ściekowych w celu poprawy efektywności fermentacji metanowej jest jak najbardziej uzasadnione.

3. Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Rozprawę doktorską Pani mgr inż. Magdaleny Ćwiertniewicz-Wojciechowskiej stanowi pięć oryginalnych prac naukowych poprzedzonych właściwym wprowadzeniem. Pierwsza z prac ma charakter przeglądowy a pozostałe cztery prace mają charakter badawczy. Cztery prace przygotowane są w języku angielskim a jedna w języku polskim. Trzy prace zostały już opublikowane, natomiast dwie są na etapie recenzji. Nieopublikowane prace zostały przygotowane zgodnie ze sztuką przygotowywania maszynopisów prac naukowych i zostały wysłane do redakcji rozpoznawalnych czasopism naukowych. We wszystkich pracach Pani mgr inż. Ćwiertniewicz-Wojciechowska jest pierwszym autorem.

Przedłożone publikacje zostały poprzedzone opisem przeprowadzonych, w ramach pracy doktorskiej badań. Pierwszym elementem tego opisu jest *Streszczenie* przygotowane w języku angielskim oraz polskim. Następną część opisu stanowi *Wprowadzenie*, w którym Doktorantka przedstawia czytelnikowi obszar badań i uzasadnia celowość przeprowadzenia zaplanowanych prac badawczych. Autorka odnosi się w nim szczególnie do zagadnień związanych z problemami zagospodarowania osadów ściekowych powstających w procesie biologicznego oczyszczania ścieków oraz wprowadza czytelnika w zagadnienia związane z ich fermentacją w celu syntezy biogazu. Doktorantka dokładnie opisuje problemy związane z efektywnością badanego procesu oraz wskazuje możliwe rozwiązania. W dalszej kolejności Pani mgr inż. Ćwiertniewicz-Wojciechowska nakreśla cele pracy. Jako główny cel podana jest ocena możliwości wykorzystania autochtonicznych mikroorganizmów celulolitycznych jako biologicznej metody obróbki wstępnej osadów ściekowych. W następnej kolejności Autorka wskazała szereg celów cząstkowych, które są spójne z głównym celem pracy. Następną częścią rozprawy doktorskiej jest *Metodyka badań*, która podzielona jest na części odpowiadające poszczególnym publikacjom. W pracy doktorskiej zastosowano metodykę adekwatną do założonych celów pracy. Spo-

sób przygotowania *Wprowadzenia* i *Metodyki badań* uważam za właściwy. Część nr 6 opisu stanowi *Podsumowanie wyników badań przedstawionych w cyklu publikacji*.

Pierwsza z publikacji, *Sewage sludge pretreatment: current status and future prospects*, została opublikowana w *Environmental Science and Pollution Research*. Jak wskazuje tytuł pracy przedstawiony został w niej aktualny stan badań w zakresie możliwości wstępnej obróbki osadu czynnego. Praca ta jest wartościowa i potrzebna, co zostało potwierdzone licznymi już jej cytowaniami.

Druga z publikacji, *Fungi from from sewage sludge and their potential to improve methane fermentation* została opublikowana w czasopiśmie *Biomass Conversion and Biorefinery*. Jest ona poświęcona roli grzybów w rozkładzie celulozy. W pracy podjęto się izolacji grzybów z osadu czynnego oraz określeniu ich potencjału w degradacji celulozy zarówno w warunkach tlenowych jak i beztlenowych. Wyizolowane grzyby, a szczególnie *Aspergillus terreus* S011 posiadał zdolność rozkładu celulozy zarówno w postaci karboksymetylocelulozy jak i rzeczywistej celulozy w osadzie czynnym. Opis wyników byłby łatwiejszy do interpretacji gdyby Autorka zdecydowała się na zachowanie tego samego nazewnictwa w opisie wyników w języku polskim jak i w samej publikacji – w opisie przygotowanym w języku polskim jest *Aspergillus terreus* S011 natomiast w publikacji G3- *Aspergillus terreus*. Publikacja dostarcza niezwykle cennych informacji, które mają charakter zarówno unikalny jak i praktyczny. W opublikowanej pracy można znaleźć kilka niedociągnięć, które zostały przeoczone przez recenzentów. Na przykład, Rysunek nr 2 przedstawia zmiany stężenia celulozy po zastosowaniu pięciu różnych szczepów, a w opisie rysunku jest mowa o siedmiu szczepach. W przypadku tego samego rysunku w opisie brakuje informacji czym jest kontrola abiotyczna ("abiotic control"). Częścią opublikowanej pracy są suplementy, których Autorka nie dołączyła do rozprawy doktorskiej, a co byłoby dużym ułatwieniem dla czytającego rozprawę doktorską.

Trzecia publikacja zatytułowana *Enhancing methane production during anaerobic digestion of sewage sludge using enzymes produced by autochthonous microbial consortia* została sformatowana zgodnie z wymogami czasopisma *Biomass Conversion and Biorefinery*. Publikacja ta jest skoncentrowana na możliwości degradacji celulozy przez bakterie. W pracy podjęto próbę izolacji bakterii posiadających właściwości celulolityczne. Próby te zakończyły się niepowodzeniem dlatego też prowadzono prace z wykorzystaniem hodowli wzbogacanej. Wyizolowane z mieszanej kultury mikroorganizmów enzymy pozwoliły na wyraźną degradację celulozy oraz intensyfikację produkcji metanu o 21,7% w przypadku enzymów nieimmobilizowanych oraz o 18,9% w przypadku enzymów immobilizowanych na węglu aktywnym. Warto-

ści te były niższe od tych, jakie uzyskano z użyciem preparatu komercyjnego jednakże są one na tyle obiecujące, że warto testować je w skali pilotażowej. Praca ta jest niezwykle wartościowa i dostarcza interesujących wyników. Na podkreślenie zasługuje wykorzystanie metod molekularnych do identyfikacji mikroorganizmów, które wyrosły w wzbogaconej hodowli. Dzięki temu udało się zidentyfikować kilkanaście gatunków bakterii. Analizując te wyniki rodzi się pytanie, czy można wykluczyć obecność grzybów w hodowli i czy podejmowane były próby ich izolacji?

Kolejna publikacja pt. *Wpływ enzymów celulolitycznych na hydrolizę osadów ściekowych* ukazała się w języku polskim w czasopiśmie *Współczesne problemy Ochrony Środowiska i Energetyki*. Celem pracy była weryfikacja wpływu enzymatycznej obróbki osadów ściekowych na efektywność hydrolizy surowca do fermentacji. W badaniach wykorzystano enzymy izolowane z mikroorganizmów pochodzących z osadu czynnego, które były w formie wolnej i immobilizowanej. Do porównania wykorzystywano komercyjny preparat, stosowany w taki sam sposób. Warto podkreślić, że w pracy badano istotne parametry takie jak stężenie lotnych kwasów tłuszczowych (LKT), chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT) oraz stężenie polimerów zewnątrzkomórkowych (EPS), dzięki czemu można było wyciągnąć z przeprowadzonych badań wiarygodne wnioski. Uzyskane wyniki potwierdziły, że uzyskane enzymy przyczyniają się do zwiększenia efektywności hydrolizy biomasy. Z pracy wynika, że zastosowanie enzymów celulolitycznych wpływa raptownie na przebieg procesów rozkładu materii, co jest raczej efektem niekorzystnym a jednocześnie wykazano, że immobilizacja enzymów na nośnikach stabilizuje te procesy. Uzyskane w pracy wyniki są interesujące jednakże zastosowane podejście wymaga jeszcze optymalizacji, aby wprowadzić je do praktyki. Doktorantka podkreśla, że zbadane powinny być również inne parametry, aby stworzyć możliwość przeskalowania procesu. Nasuwa się pytanie jaki kierunek kolejnych badań zaproponowałaby Doktorantka?

Ostatnia praca zatytułowana *Comparative enzymatic pretreatment of sewage sludge: physicochemical parameters and microbial community effects*, została sformatowana zgodnie z wymogami czasopisma *Environmental Technology*. Praca ta przedstawia kolejne wyniki dotyczące obróbki osadów ściekowych immobilizowanymi i nieimmobilizowanymi enzymami. W pracy określono wpływ dodawania enzymów na parametry fizykochemiczne osadów ściekowych podczas 15-dniowego testu. Wyniki dostarczyły istotnych informacji w zakresie wpływu obróbki osadów na potencjał metanowy procesu. W pracy dodatkowo był badany wpływ stosowania enzymów na strukturę zespołów bakteryjnych. Wpływ ten był określany między in-

nymi na podstawie wskaźników bioróżnorodności Shannona i Simpsona oraz liczby OTU. Uzyskane wyniki dotyczące bioróżnorodności są moim zdaniem niejednoznaczne i niewiele wnoszą do wyjaśnienia obserwowanych zjawisk. Dodatkowo, opis wskaźnika Simpsona, który brzmi: „indeks Simpsona mówi o tym, że w przypadku wylosowania dwóch osobników, będą oni należeć do jednego gatunku” może wzbudzić konsternację u technologów próbujących zinterpretować te wyniki. Znacznie lepiej jest wskaźnik ten określać jako „równomierność występowania taksonów”. Osoby bardziej obyte w interpretacji danych uzyskanych z NGS mogą natomiast zadać pytanie w jaki sposób uzyskano wartości liczby OTU, jeśli analiza bioinformatyczna oparta była na ASV (ang. amplicon sequencing variants). Omawiana praca analizuje potencjalny wpływ stosowanych enzymów na częstość występowania poszczególnych typów bakterii. Uzyskane wyniki, przedstawione w opisie wskazują, że w przypadku enzymów izolowanych z osadu obserwuje się pozytywną korelację między częstością występowania poszczególnych typów bakterii a wydajnością syntezy metanu bez względu na formę stosowania enzymów. W przypadku enzymów komercyjnych efekt ten nie jest taki wyraźny. Wyniki te są interesujące, chociaż byłyby bardziej przekonujące, gdyby określono istotność statystyczną uzyskanych wartości korelacji. Wyniki przedstawione w niniejszej pracy zyskałyby na wartości, gdyby uzupełniono je o badania archeonów, które pełnią kluczową rolę w procesie metanogenezy. Analizę taką można przeprowadzić w sposób analogiczny do badania eubakterii (TCT Le et al., 2026, *Bioresource Technology*).

Dalsza część rozprawy doktorskiej zawiera *Wnioski*, które moim zdaniem zostały sformułowane poprawnie w świetle uzyskanych wyników. Niezwykle cenną część pracy stanowi Rozdział nr 8 zatytułowany *Kontynuacja badań*. W rozdziale tym Autorka krytycznie podchodzi do uzyskanych wyników i wskazuje kierunek przyszłych badań, które mogą doprowadzić do zastosowania uzyskanych wyników w praktyce. W dalszej kolejności Doktorantka przedstawiła spis literatury, wykorzystanej do wcześniej przedstawionych części rozprawy. Literatura została poprawnie dobrana i zawiera w większości prace opublikowane w rozpoznawalnych czasopismach. Następnie Doktorantka umieściła rozdział, w którym opisuje inne swoje aktywności, które nie zawsze były blisko związane z tematyką przygotowywanej pracy doktorskiej. Rozdziały nr 11 i 12 przedstawiają wkład Doktorantki i innych współautorów w powstanie publikacji tworzących rozprawę doktorską. Warte podkreślenia jest, że Doktorantka jest autorką koncepcji wszystkich badań. Następnie umieszczone są oświadczenia Współautorów i publikacje tworzące rozprawę doktorską.

4. Ocena końcowa pracy

Oceniana rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu badawczego oraz wnosi istotny wkład w rozwój inżynierii środowiska. Wymiernym efektem, potwierdzającym wysoką jakość badań przeprowadzonych przez Panią mgr inż. Magdalenę Ćwierniewicz-Wojciechowską, jest opublikowanie prac w czasopismach branżowych. Oceniana rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie Inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka oraz udowadnia umiejętność samodzielnego prowadzenia prac naukowych. Warta podkreślenia jest spójność tematyczna opublikowanych prac wskazująca, że praca doktorska była bardzo dobrze zaplanowana i skutecznie zrealizowana. Należy podkreślić, że Doktorantka podjęła się ambitnego zadania, co wiązało się z koniecznością poznania i wykorzystania różnych technik badawczych. Wyniki uzyskane podczas realizacji pracy doktorskiej nie tylko pogłębiają wiedzę na temat wpływu enzymów celulolitycznych na przebieg procesu syntezy biogazu z osadów ściekowych, ale mogą również przyczynić się do powstania metody pozyskiwania takich enzymów. Wszystkie zawarte w recenzji krytyczne uwagi nie umniejszają wysokiej wartości pracy, a jej całość pozwala na pozytywną ocenę założeń rozprawy, jej wartości merytorycznej, uzyskanych wyników i wyciągniętych wniosków.

5. Wniosek końcowy

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana praca doktorska Pani mgr inż. Magdaleny Ćwierniewicz-Wojciechowskiej pt. "Poprawa hydrolizy osadów ściekowych w celu intensyfikacji fermentacji metanowej" stanowi istotny wkład w poszerzenie wiedzy o fermentacji osadów ściekowych w kierunku syntezy biogazu. Przygotowanie przez Autorkę omawianej rozprawy doktorskiej świadczy o Jej naukowej dojrzałości oraz obszernej wiedzy związanej z podjętym zagadnieniem. Praca doktorska spełnia warunki określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym (Dz.U. z 2024 poz. 1571 z późn. zm.), w związku z tym przedstawiam Radzie Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej w Gliwicach wniosek o dopuszczenie Pani mgr inż. Magdaleny Ćwierniewicz-Wojciechowskiej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Olsztyn, 24.07.2026

Podpisał Sławomir Ciesielski