

Łódź, dnia 14.04.2025 r.

Dr hab. Sylwia Różalska, prof. UŁ
Katedra Mikrobiologii Przemysłowej i Biotechnologii,
Wydział Biologii i Ochrony Środowiska,
Uniwersytet Łódzki

RECENZJA

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Łukasza Jałowieckiego
pt.: „Opracowanie technologii oczyszczania ścieków z podziemnego
zgazowania węgla z zastosowaniem metod biologicznych”**

Procesy oczyszczania ścieków przemysłowych są nie tylko niezwykle ważnym zagadnieniem z punktu widzenia ekologii, ale również stanowią poważne wyzwanie technologiczne ze względu na różnorodność i skomplikowany skład chemiczny odpadów generowanych przez działalność przemysłową. Szczególnym przypadkiem są ścieki powstające w wyniku podziemnego zgazowania węgla (PZW), które charakteryzują się znacznym stężeniem toksycznych związków organicznych, takich jak BTEX (benzen, toluen, etylobenzen, ksyleny), fenole, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA), a także wysoką zawartością metali ciężkich. Problematyka ta nabiera szczególnego znaczenia w kontekście konieczności minimalizowania negatywnego wpływu przemysłu na środowisko naturalne oraz ochrony zasobów wodnych. Pomimo istotnego znaczenia tego zagadnienia dla ochrony środowiska oraz zdrowia publicznego, technologia oczyszczania ścieków pochodzących z procesu podziemnego zgazowania węgla nie została dotychczas kompleksowo opracowana.

Powyżej opisanej tematyki dotyczy przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska magistra Łukasza Jałowieckiego, zatytułowana „Opracowanie technologii oczyszczania ścieków z podziemnego zgazowania węgla z zastosowaniem metod biologicznych”, która została przygotowana pod kierunkiem prof. dr hab. Grażyny Płazy w Głównym Instytucie Górnictwa, Państwowym Instytucie Badawczym w Katowicach.

Przedłożoną do oceny rozprawę doktorską stanowią prace oryginalne przygotowane przez magistra Łukasza Jałowieckiego. Wśród nich wyróżniają się cztery artykuły, w których doktorant jest pierwszym i wiodącym autorem, oraz dwie publikacje uzupełniające, w których pełni rolę drugiego lub trzeciego autora. Należy zaznaczyć, że już sam zestaw czterech głównych publikacji stanowi wystarczającą podstawę do uznania ich za wartościowy wkład naukowy spełniający wymagania rozprawy doktorskiej. Uzupełnienie pracy o dodatkowe publikacje, mimo mniejszego udziału autora, w istotny sposób zwiększyło przejrzystość i wartość naukową dysertacji, dostarczając szerszego kontekstu badawczego oraz uzupełniających danych empirycznych. Ocena indywidualnego wkładu kandydata w powstanie poszczególnych publikacji, zgodnie z załączonymi oświadczeniami współautorów, wynosiła **75% w przypadku artykułów pierwszoautorskich**. Nie budzi to wątpliwości co do faktu, że **magister Łukasz Jałowiecki pełnił rolę wiodącego autora i głównego wykonawcy badań stanowiących podstawę rozprawy doktorskiej**. W publikacjach uzupełniających wkład doktoranta był mniejszy i wynosił około 30–35%, co zostało określone w załączonych oświadczeniach.

Co istotne z punktu widzenia formalnej oceny oryginalności i samodzielności wkładu naukowego, **załączone oświadczenia zostały przygotowane w sposób przejrzysty, spójny i jednoznaczny**. W sposób niebudzący zastrzeżeń dokumentują one zakres merytorycznego i koncepcyjnego zaangażowania doktoranta w powstanie każdej z publikacji wchodzących w skład dysertacji.

W dysertacji cel pracy został jasno i jednoznacznie sformułowany i dotyczył oceny efektywności systemów wetlandowych w usuwaniu zanieczyszczeń organicznych i nieorganicznych ze ścieków powstających w wyniku podziemnego zgazowania węgla. Autor postawił sobie również cel użyteczny, jakim było opracowanie skutecznego, energooszczędnego i przyjaznego środowisku procesu oczyszczania tych kłopotliwych ścieków z wykorzystaniem biologicznych układów remediacyjnych.

Praca zakładała również szereg celów szczegółowych, obejmujących m.in. dobór odpowiednich roślin do systemów wetlandowych, ocenę skuteczności oczyszczania na podstawie analiz fizykochemicznych i toksykologicznych, charakterystykę mikrobiologiczną wód poprocesowych, identyfikację i testowanie bakterii o potencjale biotechnologicznym oraz porównanie efektywności układów hybrydowych łączących metody biologiczne i fizykochemiczne.

Przechodząc do podsumowania wyników i osiągnięć uzyskanych w ramach rozprawy doktorskiej, należy podkreślić, że mgr Łukasz Jałowiecki wykazał, że biologiczne metody oczyszczania, w szczególności systemy wetlandowe, stanowią skuteczne i zrównoważone rozwiązanie w usuwaniu zanieczyszczeń organicznych (takich jak BTEX, fenole i WWA) oraz metali ciężkich z wód poprocesowych powstałych w wyniku podziemnego zgazowania węgla. Przeprowadzona przez Doktoranta kompleksowa charakterystyka tych ścieków – obejmująca analizy fizykochemiczne, toksykologiczne oraz mikrobiologiczne – pozwoliła na precyzyjne dopasowanie odpowiednich metod remediacji. W badaniach eksperymentalnych potwierdzono bardzo wysoką skuteczność oczyszczania (powyżej 95% dla wielu kluczowych zanieczyszczeń) oraz znaczną redukcję toksyczności ścieków. Ponadto doktorant wykazał, że na zróżnicowanie mikrobiologiczne istotny wpływ miały techniczne parametry procesu zgazowania, w tym rodzaj zastosowanych czynników zgazowujących.

Jednym z najważniejszych osiągnięć recenzowanej dysertacji było opracowanie skutecznego systemu oczyszczania ścieków z wykorzystaniem kolumn wetlandowych, w których synergiczne połączenie aktywności mikroorganizmów oraz procesów fizykochemicznych pozwoliło uzyskać wysoką efektywność remediacji. Kluczową innowacją było nie tylko zaprojektowanie samego układu, ale również wykorzystanie karbonizatu – odpadu z procesu zgazowania – jako nośnika biofilmu i adsorbentu, który tworzył ekstremalne, ale stabilne środowisko sprzyjające rozwojowi mikroorganizmów o potencjale biotechnologicznym. Co istotne, doktorant wykazał, że surowe ścieki z procesu podziemnego zgazowania węgla mogą stanowić źródło bakterii o unikalnych właściwościach, które z powodzeniem wykorzystano w bioaugmentacji, m.in. do oczyszczania ścieków koksowniczych.

Oprócz wartości aplikacyjnej proponowanych rozwiązań, które wpisują się w założenia gospodarki o obiegu zamkniętym i zrównoważonego rozwoju, należy

podkreślić, że Doktorant wykazał się solidną i wszechstronną wiedzą teoretyczną w zakresie zagadnień związanych z prowadzonymi badaniami, co umożliwiło mu trafne zaprojektowanie eksperymentów oraz właściwą interpretację uzyskanych wyników. Doktorant skutecznie zidentyfikował i rozwiązał złożony problem naukowy o dużym znaczeniu aplikacyjnym, proponując innowacyjne i uzasadnione rozwiązania technologiczne.

Na szczególne podkreślenie zasługuje również szeroki zakres metod badawczych zastosowanych przez Doktoranta, które obejmowały analizy chemiczne, mikrobiologiczne, toksykologiczne, a także statystyczne i bioinformatyczne – wykorzystane do oceny różnorodności mikroorganizmów oraz skuteczności procesu oczyszczania. Tak dobrany zestaw narzędzi badawczych umożliwił wieloaspektową ocenę efektywności proponowanej technologii oraz pogłębioną interpretację uzyskanych wyników.

Podczas lektury rozprawy nasunęły mi się następujące pytania i uwagi, które wymagają dyskusji podczas obrony publicznej:

1. Jaka była możliwość kontaminacji próbek podczas transportu lub filtracji próbek wód poprocesowych? Jakie działania zostały podjęte, by ją wykluczyć lub ograniczyć?
2. Jakie było kryterium doboru trzech próbek W1–W3? Czy różnice w czasie trwania eksperymentu, typie węgla i czynnika zgazowania nie zaburzają porównywalności danych?
3. W jaki sposób autorzy interpretują bardzo wysoki udział niezidentyfikowanych sekwencji (nawet do 96% w próbce W3)? Czy może to świadczyć o ograniczeniach bazy danych referencyjnych, czy raczej o obecności nowych, nieopisanych mikroorganizmów?
4. Jakie było uzasadnienie dla przyjęcia konkretnych proporcji konfiguracji materiałów wypełniających (kompost, piasek, żwir) w kolumnach wetlandowych? Czy testowano alternatywne kombinacje lub warstwy, np. z udziałem materiałów o większej pojemności sorpcyjnej?
5. Czy przeprowadzono analizę bilansu masy dla głównych zanieczyszczeń (np. BTEX lub PAHs)? Taka analiza pomogłaby lepiej zrozumieć mechanizmy ich eliminacji.
6. Czy rozważano oznaczenie produktów pośrednich rozkładu fenolu? Pomogłoby to ocenić skuteczność całkowitej biodegradacji.

7. Czy autorzy brali pod uwagę porównanie składu biofilmu rozwijającego się na karbonizacie z biofilmem tworzonym na tradycyjnych materiałach stosowanych w systemach wetlandowych (np. żwir, piasek)?
8. Czy niska bioróżnorodność biofilmu, zaobserwowana na powierzchni karbonizatu, może stanowić zagrożenie dla długoterminowej stabilności i funkcjonalności systemu oczyszczania?
9. Czy w ramach prowadzonych badań oceniano trwałość karbonizatu jako materiału filtracyjnego w kontekście jego zastosowania w systemach otwartych?

Należy podkreślić, że powyższe pytania mają charakter uzupełniający i nie podważają mojego ogólnie pozytywnego odbioru rozprawy doktorskiej ani jej wysokiej wartości merytorycznej a ich celem jest jedynie zainicjowanie rzeczowej dyskusji nad interesującymi, a częściowo otwartymi zagadnieniami poruszonymi w pracy.

Podsumowując, **rozprawa doktorska Pana magistra Łukasza Jałowieckiego stanowi istotny wkład w rozwój biologicznych metod oczyszczania ścieków przemysłowych.** Doktorant wykazał się umiejętnością prowadzenia badań naukowych oraz ich precyzyjną interpretacją uzyskanych wyników. Tym samym, **spełnił wszystkie wymagane kryteria merytoryczne stawiane przed kandydatami do uzyskania stopnia doktora w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.** Wobec powyższego wnoszę o dopuszczenie pana magistra Łukasza Jałowieckiego do kolejnych etapów przewodu doktorskiego. Jednocześnie, ze względu na wysoki poziom merytoryczny, **wnoszę do Rady Dyscypliny o wyróżnienie recenzowanej przeze mnie rozprawy doktorskiej.**

Dr hab. Sylwia Różalska, prof. UŁ