



AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE
WYDZIAŁ ENERGETYKI I PALIW
KATEDRA TECHNOLOGII PALIW

Prof. dr hab. Monika Motak
KIEROWNIK ZESPOŁU PROCESÓW ADSORPCYJNYCH
I KATALITYCZNYCH W ENERGETYCE I OCHRONIE ŚRODOWISKA

Kraków, dn. 26.04.2025

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

Podstawą formalną sporządzenia niniejszej recenzji jest pismo Pana Dyrektora GIG-PIB - Jarosława Zagórowskiego z dn. 5 marca 2025. Recenzja została opracowana zgodnie z Ustawą z dn. 20 lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023r., poz. 742 z późn. zm.) z uwzględnieniem, że praca realizowana jest w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Recenzowana rozprawa doktorska mgr. Łukasza Jałowieckiego została zrealizowana w Głównym Instytucie Górnictwa - Państwowy Instytut Badawczy i w Instytucie Ekologii Terenów Uprzemysłowionych. Promotorem pracy jest Pani Prof. dr hab. Grażyna Płaza.

Przedstawiona do oceny dysertacja poświęcona jest badaniu zastosowania systemów wetlandowych oraz technologii hybrydowych integrujących procesy fizykochemiczne i biologiczne do oczyszczania wód i ścieków z procesu podziemnego zgazowania węgla. Technologia podziemnego zgazowania węgla jest alternatywną i bardziej ekologiczną propozycją wykorzystania pokładów węgla trudnodostępnych i w związku z tym nieopłacalnych w tradycyjnym wydobywaniu. Podziemne zgazowanie z jednej strony prowadzi do powstania gazu syntezowego czyli mieszaniny wodoru i tlenku węgla, który daje ogromne możliwości zastosowania w przemyśle
Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Energetyki i Paliw

al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków,
tel. +48 12 617 21 23, fax +48 12 617 45 47
e-mail: Monika.Motak@agh.edu.pl

chemicznym czy paliwowym, z drugiej jednak pojawiają się różnego typu zanieczyszczenia. Zanieczyszczenia to głównie substancje organiczne takie jak wyższe węglowodory czy ich tlenowe pochodne oraz nieorganiczne. Ścieki poprocesowe zawierają znaczną ilość węglowodorów alifatycznych i aromatycznych, w tym benzen, węglowodory poliaromatyczne i fenole, ale także amoniak, cyjanki i metale. Problemem jest przedostawanie się tych zanieczyszczeń z wód poprocesowych do wód gruntowych, i pokładów wodonośnych. Dlatego oczyszczanie wód i ścieków jest ważnym aspektem w ocenie możliwości szerszego stosowania każdej technologii w tym procesie podziemnego zgazowania węgla. Ścieki z PZW, ze względu na bogaty i skomplikowany skład, wymagają złożonego oczyszczania. Przy tak wymagających warunkach oczyszczania stosuje się wieloaspektowe podejście tj. oczyszczanie mechaniczne, chemiczne i biologiczne. W tematyce oczyszczania wód po procesie podziemnego zgazowania brak jest dogłębnych badań zarówno w zakresie inwentaryzacji składu ścieków jak i oceny metod ekologicznego ich oczyszczania. Przeprowadzone w toku realizacji pracy doktorskiej Pana Łukasza Jałowieckiego analizy fizykochemiczne, mikrobiologiczne i toksykologiczne ścieków z PZW przyczyniają się do wypełnienia luki badawczej w tej tematyce. Analizowano ścieki, pochodzące z różnych eksperymentów w warunkach ex situ, które wykazały wysokie stężenia toksycznych związków organicznych i metali ciężkich oraz znaczną zmienność składu mikrobiologicznego w zależności od parametrów procesu podziemnego zgazowania, takich jak rodzaj zgazowanego węgla i zastosowany czynnik zgazowania. Dokonano także klasyfikacji ścieków poprocesowych w zależności od ich toksyczności i pokazano, że zaliczają się do V klasy toksyczności (wysokotoksyczne ścieki), co podkreśla konieczność zastosowania zaawansowanych i kompleksowych metod oczyszczania.

W pracy skupiono się na zastosowaniu kolumn wetlandowych pojedynczo i w systemach hybrydowych tj. sprzężeniu z elektrokoagulacją i/lub stosowaniem adsorbentów – karbonizatów powstających w PZW.

Przedstawiona w dysertacji tematyka wpisuje się w światowe badania i poszerza wiedzę w zakresie efektywnego zastosowania kompleksowego oczyszczania ścieków z podziemnego zgazowania węgla.

Na recenzowaną pracę składa się sześć artykułów naukowych, opublikowanych w prestiżowych czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports posiadających współczynnik oddziaływania IF odpowiednio: 1,5; 2,9; 1,3; 2,7; 3,0; 8,0, oraz uzupełniającego i podsumowującego opracowania. Łączna wartość współczynnika wpływu prac wchodzących w skład ocenianej dysertacji wynosi 21,4. Artykuły te zostały podzielone na dwie grupy. Pierwsze cztery zaliczono jako wiodące a dwa pozostałe jako uzupełniające. Nie do końca rozumiem ten podział, gdyż wszystkie sześć tematycznie stanowią spójną całość. Wszystkie prezentowane publikacje są wieloautorskie, a Pan Łukasz Jałowiecki w czterech wiodących występuje jako pierwszy autor, w pozostałych jako kolejny. Nie ma wątpliwości, że dorobek ten, jest bardzo dobry ilościowo i jakościowo. Rola Doktoranta w jego powstaniu zgodnie z oświadczeniami jest znacząca i w pierwszych czterech artykułach (wiodących) wynosi 75 % a w kolejnych 35% i 30%. W pięciu pracach Doktorant był autorem koncepcji i projektu, a we wszystkich sześciu współautorem analizy danych, przygotowania manuskryptu, edycji tekstu opracowania wyników badań.

Przedstawiona do oceny dysertacja obok publikacji stanowiących jej podstawę, zawiera opracowanie, stanowiące integralną część recenzowanej pracy. Opracowanie liczy 55 stron. Autor, w opracowaniu, prezentuje na początku źródła finansowania, opisuje współpracę, dalej znajduje się spis publikacji będących podstawą ubiegania się o stopień doktora. Rozdział czwarty opracowania to jasno sprecyzowany cel pracy i koncepcja badań wraz z podaniem celów cząstkowych i hipotezy. Rozdział piąty to wprowadzenie do tematu, gdzie zwięźle przedstawiono badania dotyczące podziemnego zgazowania węgla jego zalet i wad. Omówiono tu też metody fizyczne, fizykochemiczne i biologiczne oczyszczania ścieków i wód poprocesowych. Ze szczególnym uwzględnieniem że, metody biologiczne, w głównej mierze oparte na naturalnych procesach biochemicznych okazały się skuteczne w usuwaniu wielu zanieczyszczeń zawartych w różnych ściekach i odpadach przemysłowych. W oparciu o literaturę przedmiotu pokazano także zalety kompleksowego (holistycznego) podejścia do oczyszczania ścieków wykorzystującego aktywność mikroorganizmów oraz różnych gatunków roślin lądowych i wodnych w biodegradacji zanieczyszczeń. Przykładem takich technologii są obiekty techniczne z roślinnością hydrofitową

Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Energetyki i Paliw

wykorzystywane do oczyszczania i zagospodarowania ścieków zwane wetlandami. Są one stosunkowo tanimi, zrównoważonymi, łatwymi w obsłudze i przyjaznymi dla środowiska technologiami skutecznego usuwania różnorodnych związków organicznych i nieorganicznych a oparte są na procesach zachodzących w naturze. Kolejny rozdział przedstawia bardzo klarownie metodologię i schemat prowadzonych badań. Kolejny, siódmy rozdział, to omówienie każdej z publikacji wchodzącej w skład pracy wraz z kontekstem wpływu wyników tych konkretnych badań na rozwijanie tematyki i całej koncepcji pracy. Bardzo dobrze Autor poprowadził rozważania w tym miejscu, gdyż nie powtarza całego materiału zawartego w publikacjach a jedynie zamieścił syntetyczny opis uzyskanych wyników. Rozdział kolejny to podsumowanie i wnioski. Na końcu opracowania znajdują się streszczenia w języku polskim i angielskim. Rozdział jedenasty podaje szczegółowy opis dorobku naukowego Doktoranta. Opracowanie zamyka rozdział dwunasty, jest to spis literatury uzupełniającej (32 pozycje) i rozdział trzynasty zawierający załączniki tj. artykuły wiodące i uzupełniające oraz oświadczenia współautorów publikacji z podaniem procentowego udziału w publikacji i bardzo syntetycznie zakresu pracy włożonej w powstanie poszczególnych publikacji.

Zastosowana forma rozprawy doktorskiej jest adekwatna do jakości opublikowanego dorobku Doktoranta. Wyniki i ich opis zostały już merytorycznie zweryfikowane przez ekspertów międzynarodowych, powołanych do recenzji manuskryptów, złożonych do redakcji czasopism o dużej randze naukowej.

Prace dotyczące optymalizacji procesów oczyszczania ścieków o skomplikowanym i różnorodnym składzie wymagają czasu, cierpliwości, bardzo dobrego warsztatu badawczego, szerokiej wiedzy z zakresu chemii, inżynierii chemicznej, inżynierii środowiska, biologii, biotechnologii, a także wieloaspektowej analizy danych. Doktorant, jak widać, bardzo dobrze poradził sobie z tymi aspektami w trakcie realizacji doktoratu.

Wszystkie otrzymane w procesie podziemnego zgazowania węgla próbki ścieków, poddano starannej charakterystyce fizykochemicznej przed i po oczyszczeniu. Takie postępowanie pozwoliło wytypować układy oczyszczania o najlepszej wydajności. Na podkreślenie zasługują następujące zagadnienia:

Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Energetyki i Paliw

-
- zaprojektowanie oryginalnej konstrukcji kolumn wetlandowych z pionowym przepływem, wykorzystujących trzcinę pospolitą oraz naturalnie występujące mikroorganizmy,
 - udowodnienie znaczącej redukcji zanieczyszczeń organicznych (ponad 95% BTEX, WWA i fenole) po 14 dniach prowadzenia procesu,
 - udowodnienie redukcji toksyczności ścieków o 74 – 99%, co pozwoliło zaklasyfikować oczyszczone ścieki do I klasy toksyczności, oznaczającej brak szkodliwości dla środowiska,
 - pokazanie, że układy wzbogacone o adsorpcję i/lub elektrokoagulację wykazały, poprawę skuteczności usuwania metali ciężkich oraz fenoli. Zarówno adsorpcja, jak i elektrokoagulacja okazały się efektywne w usuwaniu metali takich jak kadm, miedź i nikiel, osiągając poziomy redukcji do 99,5%.
 - pokazanie, że systemy hybrydowe, zwłaszcza z zastosowaniem adsorbentów w kolumnach wetlandowych, wykazały większą elastyczność i wydajność w usuwaniu różnorodnych zanieczyszczeń w porównaniu z układem biologicznym bez wspomaganie fizykochemicznego,
 - określenie przedziału czasowego w jakim układy proste i hybrydowe działają najskuteczniej,
 - identyfikacja szczepów bakterii, takich jak Paenibacillus, Bacillus i Pseudomonas, wykazujących zdolność do rozkładu fenolu,
 - pokazanie, że biofilm formujący się na powierzchni karbonizatu zwiększa wydajność biodegradacji, a zastosowanie wyizolowanych bakterii w procesie bioaugmentacji dodatkowo poprawia efektywność oczyszczania.

Wyniki te potwierdzają, że systemy wetlandowe oraz układy hybrydowe stanowią efektywne i ekologiczne rozwiązanie umożliwiające usunięcie zarówno zanieczyszczeń organicznych, jak i nieorganicznych z wód poprocesowych, oraz że systemy te można zastosować w skali przemysłowej do oczyszczania różnorodnych typów ścieków, pochodzących z przemysłu w tym z podziemnego zgazowania węgla oraz ze składowisk odpadów.

Reasumując, na podkreślenie zasługują następujące cechy dysertacji: bardzo dobre zaplanowanie badań i realizacja, dobór metodologii badań układów wetlandowych jest bardzo dobrze przemyślany i dobrany pod kątem

Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Energetyki i Paliw

osiągnięcia zamierzonych celów badawczych, dyskusja wyników jest dojrzała i bardzo dobrze osadzona w aktualnej literaturze tematu, wnioski zamieszczone w publikacjach oraz w podsumowaniu są wywarzone bardzo dobrze udokumentowane i spójne z wynikami badań.

Autor zamieścił także opis całości dorobku publikacyjnego wraz z informacją o uczestnictwie w projektach badawczych, związanych z realizacją tematu, który świadczy o zaangażowaniu Pana mgr Łukasza Jałowieckiego w prace badawcze Zespołu, w którym temat był realizowany.

Redakcja pracy jest staranna, nie znalazłam w niej zbyt wielu błędów językowych i stylistycznych w szczególności w opracowaniu. Układ pracy jest przejrzysty i przyjazny dla czytelnika. Lektura rozprawy doktorskiej skłoniła mnie do skierowania do Doktoranta kilku pytań natury dyskusyjnej:

- w pracy badano dodatek karbonizatu do kolumny, czy może Pan przybliżyć charakterystykę tekstury tego materiału ?
- jaki był proces kolonizowania karbonizatu przez mikroorganizmy?
- czy Pana zdaniem dodatek karbonizatu o różnych grubościach warstwy może wpływać na proces oczyszczania, czy wymaga optymalizacji.
- czy w warunkach przemysłowych nie ma ryzyka, że mikroorganizmy rozrosną się niekontrolowanie.

Recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska Pana mgr. Łukasza Jałowieckiego przedstawia oryginalne podejście w kwestii holistycznych rozwiązań dla oczyszczania wieloskładnikowych ścieków z zastosowaniem przyjaznych dla środowiska układów wetlandowych. Przedstawione wyniki wykazują niezbędne w pracach naukowych nowości, czego dowodem jest sześć artykułów opublikowanych w czasopismach naukowych z bazy JCR. Wyniki zaprezentowano również w 34 referatach konferencyjnych. Recenzowaną pracę oceniam bardzo wysoko.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska Pana mgr Łukasza Jałowieckiego pt. „Opracowanie technologii oczyszczania ścieków z podziemnego zgazowania węgla z zastosowaniem metod biologicznych” spełnia wymagania formalne w odniesieniu do prac doktorskich i odpowiada wymogom Ustawy z dn. 20

Akademia Górniczo-Hutnicza | Wydział Energetyki i Paliw

lipca 2018r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023r., poz. 742 z późn. zm.) i stawiam wniosek do Rady Naukowej-Głównego Instytutu Górnictwa - Państwowego Instytutu Badawczego w Katowicach o dopuszczenie Doktoranta do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Biorąc pod uwagę nowatorskie podejście do oczyszczania ścieków duży dorobek naukowy Doktoranta, na który oprócz 6 prac będących podstawą ocenianej dysertacji składa się 27 artykułów i rozdziałów w monografiach, 1 patent, 27 wystąpień na konferencjach krajowych, 7 na konferencjach zagranicznych, realizacja grantów naukowych oraz udział w stażach i szkoleniach, co złożyło się na sumaryczny IF: 97,422; liczbę cytowań: 408; h indeks - 9 (wg Web of Science), punkty MNiSW:1839 stawiam wniosek o wyróżnienie pracy.

Prof. dr hab. Monika Motak

