

dr hab. inż. Anna Głowacka, prof. ZUT
Dyscyplina: inżynieria lądowa, geodezja i transport 50%
inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka 50%
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
ZUT w Szczecinie
Al. Piastów 50a
70-311 Szczecin
anna.glowacka@zut.edu.pl

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Wojciecha Rybaka
pt. „Hybrydowa metoda usuwania zanieczyszczeń ropopochodnych ze środowiska
gruntowo-wodnego z użyciem preparatów immobilizowanych”**

1. Przedstawienie podstawowych danych o kandydacie

Mgr inż. Wojciech Rybak jest absolwentem Uniwersytetu Opolskiego, Wydziału Przyrodniczo-Technicznego, kierunku Ochrona Środowiska. Jego praca magisterska dotyczyła waloryzacji terenów zdegradowanych w obrębie miasta Opola, wraz z propozycjami kierunków rekultywacji. Kandydat nie ubiegał się uprzednio o nadanie stopnia doktora.

2. Podstawy formalne sporządzenia recenzji

Recenzja przygotowana została w związku z pismem Prodziekana ds. nauki Wydziału Infrastruktury i Środowiska Politechniki Częstochowskiej dr. hab. inż. Pawła Mirka, prof. PCz. z dnia 19.03.2025r. (RWiS.BOD.511.5.2025.1.1). Podstawą opracowania recenzji był przesłany na mój adres wydrukowany egzemplarz rozprawy doktorskiej.

3. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr. inż. Wojciecha Rybaka. Promotorem rozprawy jest dr hab. inż. Anna Grobelak, prof. PCz.

Rozprawa obejmuje 134 strony, w tym streszczenie, abstract, przegląd literatury, cel, tezę i zakres pracy, materiał i metody badań, omówienie badań i dyskusję wyników, wnioski, opis wdrożenia spisu tabel i rysunków. Podzielona jest na 9 numerowanych rozdziałów. W rozprawie zamieszczono 20 tabel i 42 rysunki. Pracę uzupełnia wykaz bibliografii obejmujący 66 pozycji literatury, w tym również aktów ustawodawczych.

4. Charakterystyka i ocena rozprawy doktorskiej

4.1. Zawartość i układ pracy

Praca została podzielona na 9 numerowanych rozdziałów, które uzupełnia spis literatury. Dodatkowo w pracy zamieszczono spis tabel i rysunków.

Pierwszy rozdział „Przegląd literatury” obejmuje wprowadzenie do tematyki badań. Stanowi on około 24,4% dysertacji. W przeglądzie literatury Doktorant na podstawie najnowszej literatury z lat 2013 – 2024 omówił/opisał: gleby zanieczyszczone substancjami ropopochodnymi; remediację gleb skażonych substancjami ropopochodnymi oraz substancje ropopochodne w środowisku glebowym.

Następne rozdziały to: „2. Cel, 3. Teza i 4. Zakres badań”. Doktorant wyznaczył 5 innowacyjnych modyfikacji klasycznego procesu remediacji i zbadał ich wpływ na szybkość i efektywność usuwania zanieczyszczeń, a następnie opisał cel naukowy i cel użyteczny badań. W dalszej części rozdziału Autor przedstawił 3 tezy do udowodnienia celów naukowych rozprawy, następnie przedstawił zakres pracy.

Rozdział piąty „Materiały i metodyka badań” stanowi około 25,9% rozprawy. Zawiera on opis badanych terenów; parametry terenów badawczych; zastosowane metody i materiały badawcze oraz analizy fizyczne i chemiczne. Doktorant opisał również przebieg badań laboratoryjnych; badań kolumnowych; badań mikrobiologicznych; badań respirometrycznych; oraz przebieg badań terenowych i modelowanie rozkładu zanieczyszczeń. Brak jest opisu metodyki badań statystycznych.

W rozdziale 6 „Omówienie badań i dyskusja wyników”, który stanowi około 22,1% dysertacji Autor przedstawił wyniki badań laboratoryjnych, analiz glebowych, badań mikrobiologicznych, badań respiracyjnych oraz badań z doświadczeń terenowych. Rozdział zakończony jest trzystronicową dyskusją wyników w której Doktorant przeanalizował uzyskane wyniki własne z literaturą.

W rozdziale siódmym Doktorant przedstawił wyniki badań eksperymentalnych, a w rozdziale ósmym opis wdrożenia.

Recenzowana rozprawa prezentuje kompletny proces naukowy: od uzasadnienia podjęcia tematyki badań, poprzez postawienie celów badawczych, tezy, badania literaturowe, zaprojektowanie i zrealizowanie eksperymentów, dyskusję uzyskanych rezultatów, po wnioski.

Przyjęty układ pracy jest poprawny i spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim.

4.2. Dyscyplina naukowa

Recenzowana rozprawa doktorska w pełni odpowiada dyscyplinie inżynieria środowiska górnictwo i energetyka.

4.3. Ocena zastosowanego piśmiennictwa w rozprawie doktorskiej

W recenzowanej dysertacji wykorzystano 66 pozycji bibliometrycznych. Wszystkie pozycje literaturowe zostały poprawnie przywołane w niniejszej rozprawie. Są to przede wszystkim artykuły naukowe i pokonferencyjne książki. Spośród zaprezentowanych w rozprawie pozycji literaturowych, artykuły naukowe stanowią zdecydowaną większość. Są to pozycje w języku angielski (43 pozycje) oraz polskim (17 pozycji) opublikowane w latach 2013 do 2024. W bibliografii zamieszczono również akty prawne (6 pozycji).

Należy zauważyć, że przedstawiony w rozprawie spis literatury jest niezbyt obszerny, ale aktualny. Większość pozycji literatury jest z okresu ostatnich lat, co świadczy o tym, że podjęta przez Doktoranta problematyka badawcza jest aktualna i wpisuje się w bieżący nurt ogólnonaukowy w danej tematyce.

4.4. Podjęta tematyka badawcza

Podjęta tematyka badawcza nie jest nowa, choć wciąż aktualna. Problemy związane z poszukiwaniem metod – usuwania zanieczyszczeń ropopochodnych ze środowiska gruntowo-wodnego obarczona jest wieloma problemami związanymi ze złożonością procesu remediacji, ograniczeniami technicznymi czy zbyt wysokimi kosztami. W dysertacji Autor przeanalizował

dotychczas stosowane metody, ich skuteczność, łatwość użycia w różnych warunkach środowiskowych i terenowych, aspekty ekonomiczne oraz bezpieczeństwa dla ludzi i środowiska. W wyniku tej analizy opracował i przetestował system łączący elementy różnych aktualnie stosowanych działań i dostępnych metod usuwania zanieczyszczeń z gruntu (metoda hybrydowa). Doktorant do badań zastosował preparaty biologiczne immobilizowane w postaci polimerowych kapsułek.

Jak słusznie zauważył Autor dysertacji, problemem w usuwaniu zanieczyszczeń ropopochodnych ze środowiska gruntowo-wodnego są skomplikowane technologicznie metody, wieloetapowe, skupiające się na wypłukiwaniu zanieczyszczeń w głąb profilu gruntowego do wód podziemnych i potem ujmowaniu tych zanieczyszczeń z lustra wody podziemnej.

Biorąc pod uwagę powyższe uznaję, że podjęta przez mgr. inż. Wojciecha Rybaka tematyka badawcza jest aktualna i spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim.

4.5. Cel, teza, i zakres pracy

Autor rozprawy postawił trzy tezy do udowodnienia:

„1. Połączenie metod chemicznych, fizycznych i biologicznych w oczyszczaniu środowiska gruntowo-wodnego z zanieczyszczeń ropopochodnych może mieć efekt synergistyczny.

2. Odpowiednia modyfikacja i aktywacja mikroflory autochtonicznej dla danego terenu skażonego pozwala na uzyskanie wysokiego poziomu efektywności usuwania zanieczyszczeń.

3. Zastosowanie biopreparatu w formie polimerowych mikrokapsułek umożliwia dokładniejsze dozowanie, zapewnia stabilność biopreparatu i odporność na stres glebowy oraz pozwala na szybkie odtworzenie naturalnej równowagi mikrobiologicznej w środowisku gruntowo-wodnym.”

Są one właściwie sformułowane i dobrze odpowiadają w dalszej części pracy.

Autor dysertacji sformułował jeden cel naukowy, który dotyczy *„zbadań przebiegu i oceny efektywności procesu degradacji zanieczyszczeń ropopochodnych w metodzie hybrydowej w poszczególnych etapach procesu bio/chemodegradacji zanieczyszczeń ropopochodnych.”*; oraz cel użytkarny, który dotyczy *„opracowanie wysokowydajnej, ekonomicznej, skojarzonej (hybrydowej) metody usuwania zanieczyszczeń ropopochodnych w gruntach.”*

Zakres pracy obejmował przegląd literatury dotyczący przeprowadzenie prób laboratoryjnych i terenowych nad zastosowaniem technologii hybrydowej remediacji gruntu. Następnie przeprowadzono rozeznanie w aktualnie dostępnych i praktykowanych czynnościach związanych z remediacją gruntu zanieczyszczonego. Prace laboratoryjne obejmowały eksperyment kolumnowy, który dotyczył przemian zachodzących w gruncie pobranym z określonego terenu skażonego pod wpływem stosowanych dodatków oraz szczegółowe badania respirometryczne. Prace polowe prowadzono natomiast na dwóch terenach wybranych spośród kilkunastu propozycji w drodze selekcji. Tereny te łączyła historia użytkowania i rodzaj zanieczyszczenia środowiska, a różniły parametry fizykochemiczne i morfologiczne gruntu.

Oceniam, że zawarta w pracy teza, jak i cele pracy spełniają warunek oryginalności.

4.6. Kompletność i spójność pracy

W ocenianej rozprawie Doktorant musiał zmierzyć się niemal ze wszystkimi problemami związanymi z laboratoryjnymi pracami badawczymi. Bazując na dokonanym przeglądzie literatury zaprojektował i zrealizował w warunkach laboratoryjnych i terenowych eksperymenty badawcze.

Podjęty przez Doktoranta wątek badawczy jest konsekwentnie realizowany we wszystkich etapach pracy. Wyraźnie widoczna jest ciągłość i przejrzystość wywodu. Praca jest spójna i prowadzi od popartych przeglądem literatury początkowych założeń do kolejnego rozwiązania postawionych problemów. Doktorant zawarł w pracy wykaz problemów do rozwiązania, założenia oraz koncepcję niezbędną do uzyskania tego rozwiązania, metodykę realizacji badań, wyniki zbiorcze oraz dyskusję tych wyników. Zawarte w końcowej części pracy wnioski zostały udowodnione. Cel pracy został osiągnięty. Przedstawione tezy także zostały udowodnione w przyjętym zakresie rozważań. Opracowane w pracy wyniki badań związane z wyborem sposobów remediacji są głównymi kryteriami wpływającymi na zmniejszenie zawartości ropopochodnych w zanieczyszczonym gruncie.

W pracy określono również możliwość oczyszczenia gruntów z wykorzystaniem wysokowydajnej, ekonomicznej, skojarzonej (hybrydowej) metody usuwania zanieczyszczeń ropopochodnych w gruntach co stanowi niewątpliwe osiągnięcie Doktoranta.

Biorąc pod uwagę powyższe oceniam, że dysertacja spełnia wymogi formalne stawiane rozprawom doktorskim.

4.7. Przyjęte założenia

Omawiana rozprawa dotyczy istotnego zagadnienia związanego z wdrażaniem nowoczesnych, innowacyjnych technologii służących usuwaniu zanieczyszczeń ropopochodnych ze środowiska gruntowo-wodnego. Badania własne Doktoranta pozwoliły na określenie warunków technologicznych dla różnych metod remediacji gruntów, które mają na celu eliminację substancji ropopochodnych z gleby.

Na początku badań Doktorant wyznaczył obszary potencjalnie skażone, głównie tereny przemysłowe z dobrze udokumentowaną historią zanieczyszczeń i wieloletnimi danymi monitoringowymi potwierdzającymi obecność i stężenie substancji ropopochodnych. Obszary te zostały szczegółowo zinwentaryzowane i opisane. W ramach badań własnych Doktorant przeprowadził analizy fizyczne, chemiczne i mikrobiologiczne próbek gleby, określając zakres skażenia i opracowując metody jego usunięcia.

W trakcie badań Doktorant zaproponował wykonanie szeregu badań laboratoryjnych, obejmujących pomiary podstawowych parametrów fizykochemicznych próbek, takich jak pH, zawartość suchej masy, wodoprzepuszczalność, zawartość węgla, azotu, fosforu oraz skład granulometryczny. W celu oceny obecności mikroorganizmów na badanych terenach, przeprowadził analizy mikrobiologiczne, koncentrując się na bakteriach, promieniowcach i grzybach. Badania obejmowały wyłącznie próbki pobrane ze skażonych obszarów, co pozwoliło na wyodrębnienie tych organizmów, które są w stanie przetrwać w środowisku zanieczyszczonym substancjami ropopochodnymi. Na podstawie uzyskanych wyników Doktorant wybrał grupę mikroorganizmów bakteryjnych, które wykazywały potencjał do rozkładu ropopochodnych związków. Te mikroorganizmy posłużyły w dalszych etapach do stworzenia zawiesiny bakteryjnej, stanowiącej kluczowy składnik biopreparatu immobilizowanego, opracowanego na potrzeby eksperymentów terenowych. W trakcie całego procesu wyprodukowano ponad 5 Mg tego preparatu w formie mikrokapsulek polimerowych.

Ponadto jako osiągnięcie należy zaliczyć stworzenie modelu profilu glebowego w formie kolumn, badania te przeprowadzono na poziomie laboratoryjnym. Do doświadczenia laboratoryjnego użyto różne typy materiału glebowego skażonego substancjami ropopochodnymi. Próbkę te



poddano działaniu warunków zbliżonych do tych, które występują w terenie. W wyniku przeprowadzonego eksperymentu uzyskano negatywne wyniki badań. Prawdopodobnie mieszanie całości próby materiału glebowego przed eksperymentem, powodujące bardzo dobre napowietrzenie gruntu w całej objętości, spowodowało intensywne przyspieszenie procesu rozkładu substancji ropopochodnych. W ramach badań własnych przeprowadzono również serię pomiarów respirometrycznych, które polegały na analizie gazów emitowanych z gleby podczas procesów biologicznych. Do tych pomiarów użyto analizatora gazowego EGA60 oraz respirometru ECHO ER. W eksperymentach wykorzystano próbki materiału glebowego, które zostały zanieczyszczone olejem napędowym w ściśle określonej ilości, a następnie poddano je działaniu substancji stosowanych także w badaniach terenowych. Pomiarów respirometrycznych dokonano na przestrzeni 50 dni, co pozwoliło na pełną obserwację procesów biologicznych zachodzących w materiale glebowym na przestrzeni czasu.

W ramach pracy nad dysertacją Doktorant dodatkowo dokonał oceny różnych preparatów pod kątem ich przydatności do usuwania zanieczyszczeń ropopochodnych ze środowiska gruntowo-wodnego. Prace laboratoryjne pozwoliły na oszacowanie skuteczności poszczególnych substancji oraz ich wzajemnych kombinacji.

Aplikacyjny charakter badań został potwierdzony zastosowaniem badań w warunkach *in situ* – warunki polowe. Badania te potwierdziły, że zastosowanie opracowanej metody hybrydowej, jest uzasadnione i efektywne. Połączenie różnych składników, zwłaszcza mikrokapsułkowanego bioreaktora i biosurfaktantu, w jeden zintegrowany system, wykazuje silny efekt synergistyczny, który jest widoczny nie tylko w warunkach laboratoryjnych, ale także w praktycznych zastosowaniach terenowych.

W sposób czytelny metodami naukowymi to jest na podstawie badań i analiz wyników obserwacji zebranych w badaniach laboratoryjnych oraz *in situ* Doktorant rozwiązał zadanie naukowe wykorzystując przy tym modelowanie rozkładu zanieczyszczeń. Zaproponował rozwiązanie technologiczne oraz przeprowadził szereg badań pozwalających na zastosowanie metody hybrydowej do usunięcia ropopochodnych z gruntu.

Doktorant wskazał, że hybrydowa bioremediacja terenów zdegradowanych to nowoczesne i skuteczne rozwiązanie w zakresie rekultywacji środowiska. Jej zastosowanie umożliwia efektywne oczyszczanie gleby przy jednoczesnym obniżeniu kosztów operacyjnych i ograniczeniu negatywnego wpływu na ekosystemy glebowe.

Przyjęte założenia zostały przez Doktoranta dobrze uzasadnione w zawartej w pracy ich dyskusji. Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że założenia przyjęte do realizacji pracy są właściwe, umożliwiające dodatkowo późniejszą kontynuację i rozszerzenie badań.

Doktorant wykazał się umiejętnością samodzielnego prowadzenia prac badawczych i rozwiązywania problemów naukowych.

4.8. Zastosowane i opracowane narzędzia

Doktorant w swojej dysertacji musiał wykorzystać szereg narzędzi. Podstawowym z nich było zaprojektowanie doświadczeń laboratoryjnych i polowych. W rozprawie w sposób właściwy opisano parametry doświadczeń oraz procedury prowadzenia badań.

Druga grupa narzędzi umożliwiła dokonywanie analiz fizycznych, chemicznych i mikrobiologicznych pobranego materiału glebowego i gleby

Analizę granulometryczną przeprowadzono przy użyciu przesiewacza wibracyjnego RETSCH AS 300 (w zakresie do 0,063mm) i laserowego analizatora wielkości cząstek FRITSCH Analysette 22

NeXT Nano (w zakresie poniżej 0,063mm). Wykonano analizy chemiczne materiału glebowego: zawartość węgla (PN-ISO 10694:2002); zawartość azotu (PN ISO 11261:2002); zawartość fosforu całkowita (Egner et al.,1960); pH gleby w wodzie, w 1 M roztworze chlorku potasu (ISO 10390:2005); strata przy spalaniu zgodnie (Krogstad, 1992); oznaczenie sumy benzyn i olejów (PN-EN ISO 9377-2). Analiza mikrobiologiczna została przeprowadzona na podstawie standardowej procedury mikrobiologicznej (analiza ilościowa i jakościowa bakterii i grzybów metodą płytkową).

Trzecia grupa obejmowała model matematyczny rozkładu substancji ropopochodnych z dodatkiem biostymulantów. Model ten miał na celu określenie, jak zmieniał się stężenie substancji ropopochodnych (głównie frakcji C₁₂-C₃₅) w czasie trzech lat remediacji (2020–2022) oraz walidację skuteczności zastosowanej metody oczyszczania gleby. W przygotowaniu modelu wykorzystano język programowania Python. W metodzie dopasowania modelu zastosowano metodę najmniejszych kwadratów do oszacowania wartości parametrów k i α .

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że opracowane przez Doktoranta doświadczenia oraz wykorzystane narzędzia badawcze spełniają wymogi realizacji prac naukowych.

4.9. Realizacja prac laboratoryjnych

Stanowiące podstawę rozprawy badania laboratoryjne i polowe zostały zrealizowane zgodnie z przedstawioną w pracy metodyką. Doktorant ściśle przestrzegał przyjętych założeń i procedur.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że Doktorant opanował w wystarczającym stopniu naukową metodologię prowadzenia laboratoryjnych prac badawczych.

4.10. Jakość przeprowadzonej dyskusji wyników

Przeprowadzona w dysertacji dyskusja wyników jest szczegółowa. Jej podstawę stanowią uzyskane wyniki badań laboratoryjnych i polowych. Doktorant konsekwentnie prezentuje wyniki wszystkich etapów badań, poddaje je dyskusji oraz wskazuje na możliwe przyczyny zróżnicowania uzyskiwanych wyników.

Prezentowana w pracy dyskusja wyników spełnia standardy prac naukowych. Pozwoliła ona Doktorantowi na udowodnienie zawartych w pracy wniosków.

Jakość przeprowadzonej dyskusji wyników oceniam jako właściwą dla celów realizacji pracy.

4.11. Wnioskowanie

Wszystkie zawarte w pracy wnioski znajdują swoje uzasadnienie we wcześniejszych częściach pracy. Założone cele w dysertacji zostały osiągnięte. Przyjęte tezy zostały udowodnione.

5. Uwagi krytyczne

Uwagi krytyczne nie wpływają na moją ocenę prawidłowości realizacji procesu naukowego przez Doktoranta.

- str. 19 wers 9 skrót *ww* oraz wers 20 skrót *wg*, str. 29 wers 3 skrót *wg* oraz w wielu miejscach w dysertacji – w pracach naukowych nie posługujemy się skrótami;
- str. 20, rozdział 1.2.1. „Źródła zanieczyszczeń” – opis tylko zanieczyszczeń punktowych i rozproszonych, brak opisy zanieczyszczeń obszarowych;

- str. 57, wers 10 – „oznaczenie sumy benzyn i olejów prowadzono zgodnie z poniższą metodyką – chromatograf gazowy z detektorem FID po ekstrakcji organicznej zgodnie z normą PN-EN ISO 9377-2)” – z metodycznego punktu widzenia bardzo ważne jest podanie jakie węglowodory wchodziły w skład tej sumy. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi (Dz.U. 2016r. poz. 1395 z późn. zm.), suma frakcji benzyn, to suma węglowodorów C₆-C₁₂, a suma frakcji oleju, to suma węglowodorów C₁₂-C₃₅;
- str. 58 – brak w opisie świdrów z jakiego były wykonane materiału;
- str. 62 – wers 23 – stara nomenklatura chemiczna – obecnie używamy ditlenek węgla, błąd ten pojawia się w wielu miejscach w dysertacji;
- str. 63 – wers 1 – „W doświadczeniu zostały użyte czynniki utleniające, biosurfaktanty oraz czynniki biologiczne w odpowiednich kombinacjach.” - brak informacji jakich użyto czynników i w jakiej dawce. Dane te są niezbędne do zrozumienia przedmiotu badań;
- str. 63 – rozdział 5.3.1. „Badania kolumnowe” – „Rury wypełniono gruntem zanieczyszczonym substancjami ropopochodnymi, pobranym z terenu 1.” – brak informacji, czy był to monolit glebowy, czy też wymieszany materiał glebowy;
- str. 66 rozdział 5.3.2. „Badania mikrobiologiczne” Autor napisał „Z obu terenów pobrano próbki gleby z głębokości odpowiadającej największej koncentracji zanieczyszczeń substancjami ropopochodnymi”. Zgodnie z Systematyką gleb Polski, (wydanie 5. „Roczniki gleboznawcze”. 62, 3, 2011. Polskie Towarzystwo Gleboznawcze. Warszawa) - - Gleba to (łac. glæba – ziemia uprawna, rola) – naturalna, trójfazowa, biologicznie czynna, powierzchniowa warstwa skorupy ziemskiej, ukształtowana poprzez procesy glebotwórcze ze zwietrzliny skalnej (skały macierzystej) w wyniku oddziaływania klimatu i organizmów żywych, przy określonej rzeźbie terenu, w określonym przedziale czasu, często przy wpływie działalności człowieka. Gleba jest integralnym składnikiem ekosystemów lądowych i niektórych płytkowodnych”. W dalszej części dysertacji Autor dalej używa określenia „gleba”. Zgodnie z wytycznymi gleboznawczymi powinno użyć się określenia materiał glebowy;
- str. 68 – wers 14 „Jako dodatki stosowano H₂O₂ (roztwór 7%), bulion aktywnych mikroorganizmów, surfaktant (roztwór roboczy 1:100).” Proszę o wyjaśnienie czy dodawano surfaktant czy biosurfaktant. W wielu miejscach w dysertacji jest napisane surfaktant ale i biosurfaktant;
- str. 73 i str. 77, rysunek 22 i rysunek 26 – w opisie brak wysokości poszczególnych warstw gruntu;
- str. 94 – „Wyniki analizy ANOVA dla zmian zawartości C₁₂-C₃₅” – w metodyce badań brak opisu obliczeń statystycznych;
- str. 95 – obliczenia statystyczne bardzo słabo opisane, brak informacji do których wyników badań się odnoszą;
- str. 94, 95, 96, 98 – rysunek 35, 36, 37, 38 – przedstawiono zmiany w czasie zawartości frakcji C₁₂-C₃₅ (suma olejów). Przedstawione wyniki badań są mało czytelne, bardzo słabo opisane. Wskazane byłoby dołączenie jako załącznik wyników badań w tabelach celem ich porównania lub chociaż na słupkach napisanie wartości jakie one przedstawiają. W obecnej postaci trudno jest wyciągać wnioski z przedstawionych wyników;

- str. 97 wers 14 „...były to spadki stężenia substancji...” i wers 16 „W przypadku testu 48 dniowego spadki stężenia wynosiły odpowiednio...” – według opinii Recenzenta powinno być: „zmniejszenie zawartości”. W kolejnych częściach pracy również powtarza się słowo „stężenie”;
- str. 98, rysunek 39 i str. 104, rysunek 41, str. 105, rysunek 42 – brak opisu linii prostej na wykresach;
- brak szczegółowego opisu wyników badań przedstawionych w tabelach: 13, 14, 15, 16, 17 i 18;
- str. 108, „Ciekawe wyniki zwraca analiza gruntu pod kątem zawartości węglowodorów o krótszym łańcuchu węglowym (frakcji benzyn C₆–C₁₂).” – poprawić styl;
- str. 110, wers 13 „Ponadto niektórzy badacze wskazują benzo(a)piren jako główną substancję odpowiedzialną za obniżenie pH (Sui i in., 2021), a na terenach badanych przez autora tej pracy związek ten nie został zidentyfikowany.” – w tekście pracy brak informacji o badaniu benzo(a)pirenu;
- str. 111, wers 16 – „...widzenia praktyki i logiki, znaczenie mają tylko procesy tlenowe” – poprawić styl;
- str. 113, rozdział 7 „Wnioski” – od strony 113 do 115 rozdział ten bardziej stanowi podsumowanie wyników badań niż wnioski. Zakończony jest on 7 wnioskami;
- str. 118, wers 12 „Pozyskiwanie biologicznego materiału autochtonicznego odbywa się przez pobór próbek glebowych powszechnie dostępnymi metodami poboru.” – według Recenzenta powinna być opisana metodyka pobierania próbek gleby. Jest to opis wdrożenia i osoby zainteresowane tą technologią powinny odtworzyć ją w warunkach polowych;
- str. 124, tabela 20 „Zestawienie podstawowych kosztów i korzyści prac remediacyjnych prowadzonych klasycznymi metodami i metodą hybrydową” – przedstawione wyliczenia kosztów i korzyści podane są w procentach, brak jest opisu tych wyliczeń. Według Recenzenta wskazane byłoby w załączniku do pracy przedstawienie danych ekonomicznych, które przedstawione są w tabeli 20.

W pracy występują jeszcze inne błędy stylistyczne i interpunkcyjne, które nie są wymienione w recenzji lecz nie wpływają one na wartość merytoryczną dysertacji.

6. Ocena ogólnej wiedzy teoretycznej

Wiedzę teoretyczną Doktoranta można określić m.in. na podstawie przedstawionego w pracy przeglądu literatury, obejmującego szczegółową charakterystykę gleb zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi. Zaprezentowane zostały właściwości gleb zanieczyszczonych oraz normy i przepisy prawne dotyczące możliwości ich użytkowania. Omówiono również substancje ropopochodne jakie mogą występować w zanieczyszczonym środowisku gruntowo-wodnym. Doktorant przeprowadził również ocenę metod remediacji gleb skażonych substancjami ropopochodnymi. Opisano również techniki remediacji (według miejsca i według metody). Dodatkowo Doktorant scharakteryzował substancje wspomagające stosowane w procesie remediacji, substancje chemiczne, preparaty biologiczne i surfaktanty.

Wyciągnięte na podstawie przeprowadzonego przeglądu literatury wnioski skłoniły Doktoranta m.in. do przeprowadzenia zasadniczych badań nad hybrydową metodą usuwania zanieczyszczeń ropopochodnych ze środowiska gruntowo-wodnego.

Z powyższego wynika, że recenzowana rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną mgr. inż. Wojciecha Rybaka w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

7. Ocena umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej

Opiniowana rozprawka zawiera kilka elementów, które pozwalają stwierdzić, że Autor posiada umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Przykładem może tu być przeprowadzony szeroki i interesujący program badań, wykonane analizy oraz sformułowane wnioski. Również zastosowany sprzęt, może świadczyć o wyżej wymienionej umiejętności. Jednak najbardziej istotnym elementem pracy jest usystematyzowanie badań nad metodą hybrydową usuwania zanieczyszczeń ropopochodnych ze środowiska gruntowo-wodnego oraz wykazanie, że metodę tę można wykorzystać na gruntach skażonych.

Jednocześnie Doktorant jest współautorem kilku publikacji w czasopismach branżowych i referatach konferencyjnych. Jest również twórcą ekologicznego polepszacza glebowego opartego na kwasach huminowych oraz systemu remediacji GreenBack (usuwanie zanieczyszczeń ropopochodnych z gleb). Dwa zgłoszenia wynalazków dotyczą zagadnień związanych z hodowlą pszczół.

Zaprezentowany dorobek publikacyjny świadczy o aktywności naukowej Autora dysertacji, co w połączeniu z opracowaną rozprawą i przedstawionym w niej opisie wdrożenia pozwala stwierdzić, że Doktorant wykazał się umiejętnością prowadzenia pracy naukowej.

8. Podsumowanie i wniosek końcowy

Biorąc pod uwagę przedstawioną powyżej charakterystykę pracy, wraz ze wskazanymi uwagami krytycznymi uznaję, że stanowi ona rzetelny zapis właściwie zrealizowanego badania naukowego. Doktorant dobrze uzasadnił wybór tematyki badań oraz zastosowanych narzędzi i metod badawczych. Udowodnił przyjęte tezy badawcze. Zrealizował także wszystkie postawione w pracy cele. Doktorant wykazał się dobrą znajomością literatury przedmiotu i dokonał jej analizy. Praca charakteryzuje się dużą ilością badań, co świadczy o dużej samodzielności naukowej Autora. Doktorant poprzez wykonanie jak wielu analiz chemicznych i mikrobiologicznych swobodnie porusza się w zagadnieniach analitycznych. Umiejętnie rozwiązuje problemy związane z remediacją gleb. W pracy wykazał się dużą pracowitością i rzetelnością badawczą.

Przeprowadzone badania mają nie tylko charakter poznawczy, ale również użytkowy, ponieważ Doktorant szuka wysokowydajnej, ekonomicznej, skojarzonej (hybrydowej) metody usuwania zanieczyszczeń ropopochodnych w gruntach.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska **mgr. inż. Wojciecha Rybaka pt. „Hybrydowa metoda usuwania zanieczyszczeń ropopochodnych ze środowiska gruntowo-wodnego z użyciem preparatów immobilizowanych”** spełnia wszystkie warunki oraz wymagania stawiane rozprawom doktorskim, określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2023 r. poz. 742 z późn. zm.), stanowiąc oryginalne rozwiązanie problemu naukowego.

W związku z tym, stawiam wniosek o dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Wojciecha Rybaka do publicznej obrony w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Anna Grohede