

dr hab. Elżbieta Wołejko, prof. PB
Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku
Katedra Chemii, Biologii i Biotechnologii

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Anety Kowalskiej

„Analiza wybranych technologii rekultywacji gleb pokopalnianych w aspekcie sekwestracji węgla”

Promotor: dr hab. Anna Grobelak, prof. PCz

Podstawa formalna przygotowania recenzji

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Anety Kowalskiej przygotowana została na zlecenie Kierownika Dyscypliny naukowej Inżynieria środowiska, górnictwa i energetyka Politechniki Częstochowskiej, Pani dr hab. inż. Iwony Zawiei, prof. PCz. (pismo R.WIIS.BOD.510.14.2020.2023.2), na podstawie przedłożonego maszynopisu pracy - mgr inż. Anety Kowalskiej, „Analiza wybranych technologii rekultywacji gleb pokopalnianych w aspekcie sekwestracji węgla”, Wydział Infrastruktury i Środowiska, Politechnika Częstochowska, Częstochowa 2023.

Celowość podjęcia tematyki badawczej

Problematyka rekultywacji gleb poeksploatacyjnych jest wciąż aktualna. Dzieje się tak głównie z uwagi na konieczność przywrócenia walorów ekologiczno-przyrodniczych oraz z uwagi na możliwość złagodzenia śladu węglowego kopalni. Gleby poeksploatacyjne po działalności odkrywkowej wymagają pilnej interwencji. Samoistna odnowa takich terenów bez ludzkiej ingerencji mogłaby trwać bardzo długo, stąd ważne jest gospodarowanie przestrzenne, którego efektem jest rekultywacja terenów. Przedsiębiorstwo górnicze w myśl Ustawy z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze (Dz. U. 2011 nr 163 poz. 981) oraz Ustawy z dn. 3 lutego 1995 r. o ochronie gruntów rolnych i leśnych (Dz. U. 1995 nr 16 poz. 78) jest zobowiązane w miarę postępu eksploatacji złoże likwidować stopniowo wyrobiska górnicze. Zmusza to do podjęcia rekultywacji gruntu i przygotowania do zagospodarowania terenu zgodnie z Dz. U. 1978.4.12. Zastosowanie odpowiedniej techniki rekultywacji pozwala efektywnie przeprowadzić odbudowę środowiska naturalnego i likwidację degradacji terenu. Dobór techniki rekultywacji jest kluczowy dla odbudowy ekosystemu oraz procesów glebotwórczych.

W niniejszej rozprawie doktorskiej podjęto problematykę rekultywacji gleb poeksploatacyjnych powstałych w efekcie prac odkrywkowych celem wydobycia surowców naturalnych. W pracy rozważano aspekt zarządzania procesem rekultywacji gleb pogórnich wobec sekwestracji węgla i możliwości łagodzenia zmian klimatycznych. Zbadane zostały dwa tereny poeksploatacyjne – po eksploatacji wapienia (teren rekultywowany nasypem) oraz po eksploatacji węgla brunatnego (teren rekultywowany z wstępną aplikacją osadów ściekowych).

W pracy ujęto cztery obszary na każdym z badanych terenów różniące się stopniem zaawansowania procesu rekultywacji. Podjęto szereg ekotechnicznych problematyk: zbadano potencjał sekwestracji węgla na terenach pokopalnianych objętych rekultywacją, mechanizm stabilnego magazynowania węgla w glebie, dynamikę strumieni CO₂ netto, poziom sekwestracji węgla na różnych etapach rekultywacji po upływie roku i dynamikę wertykalnej stabilizacji węgla w glebach pokopalnianych.

Przedstawione przez Doktorantkę badania wnoszą istotny element o znaczeniu nie tylko naukowym ale przede wszystkim praktycznym. Podjęte badania opierały się na wybraniu najlepszej techniki rekultywacyjnej gleb pokopalnianych dla procesu sekwestracji węgla i ograniczaniu wpływu praktyk wydobywczych na zmiany klimatyczne. Ponadto zaproponowano narzędzia do monitorowania wertykalnej stabilizacji węgla organicznego w rekultywowanych glebach pokopalnianych co uważam za właściwe i zasadne.

Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Recenzowana rozprawa doktorska pt. „Analiza wybranych technologii rekultywacji gleb pokopalnianych w aspekcie sekwestracji węgla” obejmuje 140 stron, w tym 35 rysunków, 11 tabel i 236 pozycji literatury zarówno w j. polskim jak i angielskim. Większość cytowanych prac powstała po roku 2010. Całość została podzielona na 11 rozdziałów. Pracę rozpoczyna krótki *Wstęp*, w którym Doktorantka uzasadnia podjęcie tematu rozprawy doktorskiej. Zasadniczą część pracy stanowią 1) przegląd literatury z podrozdziałami: *Emisje dwutlenku węgla (CO₂)*, *Materia organiczna w glebie*, *Degradacja gleb*, *Rekultywacja gruntów odkrywkowych*, *Wspomagana rekultywacja gruntów odkrywkowych wobec idei zrównoważonej polityki i Zielonego Ładu*, *Monitoring rekultywacji gruntów poeksploatacyjnych*, *Recykling organiczny bioodpadów w rekultywacji terenów pokopalnianych*, *Sekwestracja węgla w glebach poeksploatacyjnych*, *Metodyka opisu sekwestracji węgla w glebie*, 2) Cel rozprawy doktorskiej z podrozdziałami: *Cel naukowy*, *Cel użyteczny*, 3) Tezy pracy, 4) Zakres badań, 5) Materiały i metodyka badań, 6) Schemat badań, 7) Omówienie badań i dyskusja wyników, 8) Wnioski. Praca przedstawiona jest w sposób interesujący, napisana jest komunikatywnym językiem i bardzo starannie zredagowana.

Krytyczne omówienie zawartości układu i zawartości merytorycznej pracy

W mojej opinii przedstawiony układ pracy doktorskiej jest prawidłowy. Zachowano proporcje pomiędzy poszczególnymi częściami zgodnie z ogólnie przyjętymi standardami.

W przeglądzie literatury Doktorantka szczegółowo omówiła zagadnienia związane z tematyką pracy doktorskiej. Rozdział ten został napisany poprawnie pod względem merytorycznym i bogato poparty cytatami literaturowymi, co świadczy o szerokiej znajomości omawianej problematyki badawczej. Wykorzystując przegląd krajowej i światowej literatury Doktorantka przedstawia problemy związane z emisją dwutlenku węgla. Następnie szeroko omówiła występowanie materii organicznej i węgla organicznego w glebie, które stanowią główne czynniki determinujące jakość gleby i jej dalsze zagospodarowanie. Kolejny podrozdział obejmuje opis gleb zdegradowanych i zubożałych jakie występują w skali globalnej ze szczególnym uwzględnieniem gleb narażonych na działalność górniczą, które generują szereg problemów rolniczych, ekologicznych, a także problemy bezpieczeństwa żywnościowego. Ponadto, Doktorantka zwraca uwagę na przyczyny degradacji, a także na istotny fakt, iż degradacja takich gleb wciąż postępuje i prowadzi do zmian klimatycznych i funkcjonowania naturalnych ekosystemów. W dalszej kolejności autorka przedstawia metody rekultywacji gruntów zdegradowanych na skutek wydobywczej działalności przemysłowej oraz zwraca uwagę na korzystny aspekt wspomagania rekultywacji gruntów odkrywkowych poprzez zastosowanie bioodpadów. Doktorantka w dalszej części porusza ważne zagadnienie związane z sekwestracją węgla w glebach poeksploatacyjnych oraz omawia wskaźniki służące do opisanego procesu sekwestracji węgla. Ostatni podrozdział dotyczy modelowania matematycznego stosowanych do oceny procesów naturalnych.

W pracy doktorskiej przyjęto dwa cele:

Cel naukowy zakłada że:

Analiza potencjału, mechanizmów i dynamiki sekwestracji węgla w glebach poeksploatacyjnych i rekultywowanych z zastosowaniem różnych technik. Ponadto, celami szczegółowymi są:

- *scharakteryzowanie wpływu zastosowanej techniki rekultywacji na proces sekwestracji węgla organicznego w glebie,*
- *określenie dynamiki sekwestracji węgla na obszarach o różnym stopniu zaawansowania rekultywacji,*
- *identyfikacja mechanizmu sekwestracji węgla w warstwach gleby na obszarach o różnym stopniu zaawansowania rekultywacji.*

Cel użyteczny zakłada:

Wybranie najlepszej techniki rekultywacyjnej gleb pokopalnianych dla procesu sekwestracji węgla i ograniczaniu wpływu praktyk wydobywczych na zmiany klimatyczne. Drugim celem użytecznym jest

dostarczenie narzędzia do monitorowania wertykalnej stabilizacji węgla organicznego w rekultywowanych glebach pokopalnianych.

Zarówno cel naukowy jak i użyteczny zostały sformułowane prawidłowo i w pełni zrealizowane w pracy.

W rozdziale trzecim przedstawiono trzy tezy, w których założono że:

Teza 1. Technika rekultywacji gleb pokopalnianych ma wpływ na proces sekwestracji węgla w glebie.

Teza 2. Rekultywacja gleb pokopalnianych wspomagana osadami ściekowymi pozwala na efektywniejszą sekwestrację węgla w glebie w porównaniu z rekultywacją bez zastosowania dodatków doglebowych.

Teza 3. Możliwe jest stworzenie narzędzia ułatwiającego monitorowanie i kontrolowanie procesu sekwestracji węgla w rekultywowanych glebach pokopalnianych.

W rozdziale czwartym Doktorantka przedstawiła zakres badań, który został podzielony na trzy etapy.

W pierwszym etapie dokonała oceny potencjału i mechanizmu stabilnego magazynowania węgla w glebach pokopalnianych. Drugi etap dotyczył oceny śladu węglowego gleb pokopalnianych oraz analizy dynamiki strumieni CO₂ netto i sekwestracji węgla organicznego na różnych etapach rekultywacji ukierunkowanej na ponowne zalesianie. W trzecim etapie prowadziła analizę respiracji gleby na różnych etapach rekultywacji gleb pokopalnianych oraz oceniła dynamikę poziomej stabilizacji zsekwestrowanego węgla organicznego, poprzez zaproponowanie modelu oceny stabilizacji pionowej węgla organicznego w rekultywowanych glebach pokopalnianych.

Przedstawiony zarys przeprowadzonych badań został w logiczny sposób prawidłowo podzielony co pozwala na stopniową realizację celów podjętych w pracy.

Rozdział piąty poświęcony jest szczegółowemu omówieniu metodyki badań, które były realizowane w laboratoriach Katedry Inżynierii Środowiska i Biotechnologii stanowiących jednostkę organizacyjną Wydziału Infrastruktury i Środowiska Politechniki Częstochowskiej. W ramach eksperymentu do rekultywacji wybrano dwa obszary: kopalni wapienia (S1) oraz kopalni węgla brunatnego (S2), na które zastosowano różne metody rekultywacji. Na badanych powierzchniach S1 zaproponowała różne gatunki drzew do nasadzeń, które charakteryzują się między innymi właściwościami fitomelioracyjnymi, natomiast na powierzchni S2 aplikowano przefermentowane i uwodnione osady ściekowe z nasionami wybranych gatunków traw w celu zalesienia wybranymi gatunkami drzew. Doktorantka opisuje założenie eksperymentu, poboru próbek dokonała zgodnie z dobrą praktyką laboratoryjną oraz wykonała szereg analiz fizyczno-chemicznych i biologicznych. Otrzymane wyniki Doktorantka opracowała przy pomocy programu Origin 8 Pro.

Schemat badań przedstawiony w rozdziale szóstym został podzielony na trzy etapy, w których Doktorantka przedstawia analizy jakie zostały wykonywane w poszczególnych etapach eksperymentu. Według mojej opinii bardziej zasadne byłoby nie wyodrębnianie jako rozdziału szóstego „Schematu badań” lecz włączenie go do rozdziału „Materiały i metodyka badań”.

Omówienie i dyskusję uzyskanych wyników badań Doktorantka przedstawiła w kolejnym, siódmym rozdziale pracy. Jest to najobszerniejszy rozdział, w którym wyodrębniono 3 większe podrozdziały: Potencjał i mechanizm sekwestracji SOC w glebach pokopalnianych, Dynamika przepływów CO₂ netto i sekwestracji SOC na różnych etapach rekultywacji ukierunkowanej na ponowne zalesienie, Sekwestracja węgla w rekultywowanych glebach pogórnicych: nowy wskaźnik do oceny stabilności pionowej SOC, oraz 2 mniejsze podrozdziały. Uzyskane wyniki własne przedstawione w podrozdziałach zostały bardzo szczegółowo omówione i przedyskutowane z innymi badaczami. Doktorantka w przejrzysty sposób udowodniła, że rekultywacja gleb pogórnicych poprzez zalesianie uzupełnione osadami ściekowymi powodują szereg pozytywnych zmian ich właściwości fizycznych, chemicznych oraz biologicznych, przyczyniając się do zwiększenia sekwestracji SOC w glebie i zwiększonego pochłaniania CO₂ z atmosfery. Doktorantka stara się w sposób jasny i czytelny przedstawić dużą ilość wyników tak aby przy całej różnorodności analiz i wielowątkowości pracy pokazać wyniki jako pewien monolit. Przedstawione przez doktorantkę wnioski zostały oparte o obszerny i starannie przedstawiony i omówiony materiał badawczy świadczący o dobrej znajomości zagadnień związanych zarówno z prowadzeniem badań w warunkach polowych, umiejętnością planowania eksperymentów badawczych a także umiejętnością interpretacji uzyskanych wyników z wykorzystaniem metod statystycznych.

Uwagi o charakterze ogólnym:

- 1) Zaproponowany przez doktorantkę model wskaźnika do scharakteryzowania przenikania stabilnych form węgla w glebie do głębszych warstw gleby dla rekultywowanych gleb pokopalnianych został oparty jedynie na wartościach zmiennych, nie opiera się on natomiast na żadnej wartości stałej.
- 2) W trzecim etapie pracy autorka porównuje uzyskane wyniki jedynie pomiędzy różnymi głębokościami gleby. Brakuje natomiast porównania statystycznego pomiędzy wszystkimi analizowanymi przypadkami.

Uwagi szczegółowe do pracy:

- Czym sugerowała się Doktorantka wybierając do badań obszary S1 i S2, które dotyczyły różnych terenów pokopalnianych i różnych metod rekultywacji.
- Po jakim czasie były pobierane próbki od założenia eksperymentu.
- Proszę o podanie z jakich źródeł były brane informacje opisujące klimat i topografię terenów pokopalnianych.
- Czy aplikowane do gleby osady spełniały wymagania pod względem sanitarnym i zawartości metali ciężkich zgodnie z Polskim prawodawstwem.
- Opis do rysunków 11-14 nie jest do końca jasny, brak jest wyjaśnienia oznaczeń literowych umieszczonych nad słupkami błędów.
- Proszę wyjaśnić co mogło spowodować tak wysoką hydrofobowość badanych gleb pobranych z obszarów S2D
- Na rysunku 13, 19 i 21 brakuje analizy statystycznej.
- Na rysunkach i w tabelach nazwa wariantów badawczych jest inna niż w tabeli 1 w części materiały i metody badań.

Charakterystyka formalna pracy

Z formalnego punktu widzenia praca została napisana poprawnie. Nie mam istotnych zastrzeżeń redakcyjnych do tekstu, widać że Doktorantka opanowała w stopniu co najmniej dobrym styl pisania prac technicznych. Oczywiście nie uniknęła drobnych potknięć stylistycznych i tzw. literówek, które są bardzo nieliczne i nie obniżają jakości pracy.

Ocena dysertacji pod kątem wymogów art. 187 Ustawy

Praca stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Ustalono celowość podjęcia tematu oraz cele jakie chciałaby Doktorantka w swej rozprawie osiągnąć. Sformułowała cel naukowy i użyteczny oraz tezy, które w trakcie realizacji pracy naukowej zostały zweryfikowane. Doktorantka przygotowała i zrealizowała bardzo duży zakres prac badawczych a uzyskane wyniki zostały przedstawione w postaci tabelarycznej i graficznej, a następnie przeanalizowane i skonfrontowane z istniejącym dorobkiem naukowym.

Podsumowanie

Moim zdaniem koncepcja pracy i formułowane wnioski w bardzo dobrym stopniu wpisują się w dyscyplinę naukową Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. Uważam, że praca jest oryginalnym rozwiązaniem jasno sprecyzowanego problemu naukowego. Doktorantka wykazała, że potrafi

samodzielnie prowadzić pracę naukową. Widać wyraźnie, że w prowadzeniu doświadczenia, przeprowadzenie analiz badawczych, zebranie i opracowanie wyników włożono ogrom pracy. Stąd też wyrażam głębokie przekonanie, że przedstawiony mi do recenzji materiał ma duży potencjał i stanowi wartościową rozprawę naukową.

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Anety Kowalskiej spełnia warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku: Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 poz 1168 z późniejszymi zmianami). Wobec powyższego wnioskuję o przyjęcie pracy p.t. „Analiza wybranych technologii rekultywacji gleb pokopalnianych w aspekcie sekwestracji węgla” jako rozprawy doktorskiej i stawiam wniosek o dopuszczenie do publicznej obrony.

Uwzględniając powyższe proponuje wyróżnienie pracy mgr inż. Anety Kowalskiej, o ile jej obrona przebiegnie w sposób odpowiednio satysfakcjonujący.

dr hab. inż. Elżbieta Wołejko, prof. PB

