

Puławy, 5.12.2022r.

Dr hab. Grzegorz Siebielec  
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa –  
Państwowy Instytut Badawczy  
Czartoryskich 8  
24-100 Puławy

## **Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Piotra Petryka**

**Tytuł rozprawy: „Wpływ osadów ściekowych na wybrane właściwości gleb zdegradowanych”**

**Promotor: dr hab. inż. Marek Ryczek prof. URK**

Rozprawa wykonana w Katedrze Melioracji i Kształtowania Środowiska

Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie

### **Podstawa i przedmiot opracowania**

Recenzja została przygotowana w związku z pismem Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie Pana prof. dr hab. inż. arch. Piotra Herbuta, z dnia 11.10.2022 roku (sygn. pisma 3DIŚiG 520-6/2017-2022), powołującym mnie na recenzenta pracy doktorskiej Pana mgr inż. Piotra Petryka pod tytułem „Wpływ osadów ściekowych na wybrane właściwości gleb zdegradowanych”, przygotowanej pod kierunkiem Pana dr hab. inż. Marka Ryczka prof. URK

### **Formalna ocena pracy**

Tekst ocenianej rozprawy doktorskiej zawiera 7 rozdziałów: I. Wstęp, Cel pracy i hipotezy badawcze; II. Przegląd literatury; III. Metodyka badań; IV. Opis obiektu badań; V.

Wyniki badań; VI. Dyskusja wyników; VII. Wnioski. Rozdziały Przegląd literatury, Metodyka badań, Opis obiektu badań, Wyniki badań, Dyskusja wyników zostały podzielone na podrozdziały, o liczbie odpowiednio: 3, 4, 3, 3, 19. Rozprawa posiada ponadto streszczenia w języku polskim i angielskim, spis literatury, spis rysunków i fotografii oraz spis tabel. Rozprawa posiada 234 strony tekstu oraz zawiera 96 rysunków, 20 fotografii i 67 tabel. Wykaz wykorzystanych publikacji zawiera 345 pozycji z dużym udziałem publikacji anglojęzycznych. Jest to 345 pozycji literatury dobrze reprezentującej zagadnienia objęte rozprawą. Doceniam pewną równowagę pomiędzy starszymi ale kluczowymi pracami a nowymi opracowaniami. Biorąc pod uwagę tematykę pracy, równowaga pomiędzy krajowymi i zagranicznymi pracami jest właściwa, ponieważ krajowy kontekst badań jest wyraźny.

Układ pracy doktorskiej jest logiczny i przejrzysty. Ustawienie celu pracy na początku rozprawy jest dobrym pomysłem, gdyż nakierowuje czytającego od początku na przyjęty do rozwiązania problem badawczy. Układ rozprawy doktorskiej spełnia ogólne wymogi stawiane rozprawom naukowym. Tekst rozprawy jest zrozumiały i przejrzysty a język pracy poprawny. Podkreślam bardzo dobry przygotowany przegląd literatury, w niektórych przypadkach nawet wykraczający poza konieczny do ujęcia zakres, ale dzięki temu pozwalający na uzyskanie bardzo wszechstronnej wiedzy. Opis metodyki jest wyczerpujący i pozwala w szczegółach zorientować się w przyjętej strategii badań oraz metodyce określania poszczególnych parametrów gleby. Opisy technologii oczyszczania ścieków oraz miejsc pobrania próbek glebowych lub umiejscowienia doświadczenia poletkowego są pełne i wyczerpujące, pozwalające umiejscowić wyniki badań w określonych warunkach.

W części badawczej rozprawy wszystkie wyniki badań i badane parametry są przedstawione i opisane. W dyskusji również poruszono wszystkie istotne wyniki, uzyskane w trakcie badań.

### **Ocena problematyki badawczej pracy**

Zagadnienia związane z zagospodarowaniem komunalnych osadów ściekowych są niezmiernie ważne ze względów środowiskowych i wciąż bardzo aktualne. Wprawdzie badania osadów ściekowych w aspekcie ich wykorzystania w rolnictwie i rekultywacji były prowadzone w Polsce i na świecie od wielu lat, jednak wiele pytań nadal pozostaje niewyjaśnionych. Stosowaniu osadów ściekowych w rolnictwie i rekultywacji nadal towarzyszy wiele kontrowersji, związanych najczęściej z niedostatecznym rozpowszechnieniem wiedzy, niepełną świadomością co do pozytywnych efektów ich wykorzystania lub istniejących ryzyk, lub najzwyczajniej brakiem pełnej wiedzy naukowej.

Ilość osadów ściekowych produkowanych w Polsce wzrosła w ostatnich latach z uwagi na rozwój infrastruktury. W kolejnych latach będzie zapewne nadal nieznacznie wzrastać. W związku z tym optymalizacja ich zagospodarowania jest bardzo istotna. Biorąc pod uwagę konieczność rozwoju gospodarki opartej na cyklu zamkniętym oraz planowane ograniczenia w stosowaniu mineralnych nawozów, przywracanie składników nawozowych i węgla zawartego w odpadach organicznych jest niezbędnym elementem nowoczesnej gospodarki. Stosowanie odpadów organicznych w rolnictwie i rekultywacji może się jednak odbywać wyłącznie z zachowaniem bezpieczeństwa środowiskowego i zdrowotnego. W związku z tym niezbędna jest pełna wiedza o korzyściach i zagrożeniach związanych ze stosowaniem osadów

ściekowych. W te potrzeby badawcze doskonale wpisuje się rozprawa doktorska Pana mgr inż. Piotra Petryka.

Warto wspomnieć, że materia organiczna posiada podstawową rolę w utrzymaniu fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwości gleb na poziomie zapewniającym zdolność gleby do pełnienia funkcji produkcyjnych i ekologicznych. Decyduje o takich właściwościach jak zdolności sorpcyjne i buforowe gleby oraz procesach określanych mianem aktywności biologicznej. Z uwagi na deficyt obornika jako podstawowego źródła materii organicznej w niektórych regionach kraju, brane są pod uwagę alternatywne i dość powszechnie dostępne źródła materii organicznej, takie jak osady ściekowe lub pofermenty. Jest to tym bardziej istotne, że zawartość materii organicznej w glebach Polski jest niska i średnio kształtu się na poziomie około 2%.

Dotychczasowe badania skutków stosowania osadów ściekowych do gleby głównie dotyczyły wykorzystania składników nawozowych (azot, fosfor) i wpływu na plon (produkcyjna funkcja gleby) przy zdecydowanie mniejszej uwadze poświęcanej ich wpływowi na fizyczne cechy gleby, przepuszczalność względem wody, własności retencyjne lub odporności na mechaniczną degradację, co ma również duże znaczenie w kontekście rekultywacji gruntów. Intuicyjnie możemy przypuszczać, że wprowadzanie osadów ściekowych do gleby może poprawiać właściwości fizyczne i wodne gleby, jedna pełna wiedza wymaga skwantyfikowania tego wpływu. I temu właśnie służyła rozprawa doktorska, co jest jej dużym walorem. Tempo uwalniania składników nawozowych, szczególnie N i P z osadu wprowadzonego do gleby jest również niezwykle istotnym zagadnieniem, mającym znaczenie dla możliwości zastępowania nawozów mineralnych odpadami organicznymi oraz ryzyka wymywania azotu i fosforu do wód gruntowych.

Właściwym kierunkiem badawczym jest też próba wykorzystania zaawansowanych metod statystycznych do opracowania wyników badań, z elementami modelowania.

Podsumowując, oceniam problematykę podjęta w rozprawie jako bardzo aktualną i kluczową dla zrównoważonego rozwoju gospodarki.

## **Ocena wartości metodycznej i naukowej**

Ocenę wartości merytorycznej pracy przedstawię zgodnie z układem rozprawy doktorskiej.

### Wstęp, cel pracy i hipotezy badawcze

Cel pracy jest dobrze uzasadniony we wstępie. Brzmienie celu pracy: „ustalenie wpływu aplikacji określonej dawki osadów komunalnych na właściwości fizyczne gleby, stwierdzenie zależności pomiędzy dawką osadu ściekowego a zawartością metali ciężkich, pierwiastków biogennych węgla, azotu i fosforu, oddziaływania dawki osadu ściekowego na krzywą charakterystyki wodnej gleby oraz kwasowość elektrolityczną czy sumę kationów zasadowych” dobrze oddaje zakres badań i następującej po nich dyskusji wyników badań.

Jednym z głównych celów, niełatwym do zrealizowania była ocena wpływu osadu ściekowego, z uwzględnieniem jego dawki, na właściwości fizyczne gleby oraz przepuszczalność i inne

właściwości wodne. Tym bardziej doceniam podjęcie tego typu badań, ponieważ są one szczególnie żmudne i dlatego rzadko podejmowane.

W pracy postawiono 5 hipotez badawczych:

- Istnieje zależność pomiędzy zawartością metali ciężkich w glebie a dawką osadu ściekowego.
- Podanie osadu ściekowego wpływa na właściwości fizyczne gleby.
- Aplikacja materiału osadowego istotnie poprawia krzywą sorpcji wody glebowej.
- Dawkowanie osadu ściekowego istotnie wpływa na zawartość pierwiastków biogennych C, N i P w glebie.
- Określona dawka osadów ściekowych o odczynie alkalicznym wpływa na oznaczenie kwasowości hydrolitycznej i sumy kationów zasadowych.

Postawione hipotezy świadczą o dobrym wstępnym rozpoznaniu tematyki przez Doktoranta.

#### **Uwagi:**

Jedna z hipotez: „Istnieje zależność pomiędzy zawartością metali ciężkich w glebie a dawką osadu ściekowego” brzmiałaby zręczniejsz gdyby ją odwrócić na: „Istnieje zależność pomiędzy dawką osadu ściekowego a zawartością metali ciężkich w glebie” gdyż przyczyną jest tu dawka osadu.

Moją wątpliwość budzi sformułowanie w wstępie: „Pozytywnym trendem jest coraz częstsze stosowanie utylizacji termicznej osadów z oczyszczalni komunalnych”, jeśli pozostawione jest bez dodatkowych wyjaśnień. Biorę również pod uwagę, że opinie na temat termicznej utylizacji mogą być różne.

Sformułowanie „różniły się od siebie istotnie zawartością poszczególnych frakcji glebowych” zapewne brzmiałoby lepiej i precyzyjniej gdyby użyć: różniły się uziarnieniem.

#### Przegląd literatury

Przegląd literatury jest pełny i świadczy o bardzo dobrym rozpoznaniu tematyki przez Doktoranta. Bardzo dużym plusem przeglądu literatury jest obszerny i zręcznie przygotowany przegląd ustawodawstwa europejskiego i krajowego ws. odpadów, tym bardziej, że dobre poruszanie się w obszarze prawnym stosowania odpadów jest bardzo cenną i rzadką umiejętnością.

Przegląd literatury charakteryzuje płynne przechodzenie do kolejnych zagadnień, co powoduje, że rozdział ten jest czytany lekko i z przyjemnością.

Zaletą przeglądu jest również szczegółowe przedstawienie technologii oczyszczania ścieków i uzyskiwania osadu ściekowego. Nawet jeśli tak szczegółowy opis nie był niezbędny to pozwolił udokumentować znajomość tematu, pozwolił rozwinąć wiedzę Doktoranta a czytającym nie będącym specjalistami w zakresie technologii pozwala dowiedzieć się czym w rzeczywistości jest osad ściekowy.

Dotychczasowa wiedza na temat wpływu osadów ściekowych na właściwości gleby jest bardzo obszernie i wyczerpująco przedstawiona, co jest kolejną zaletą rozprawy. Plusem

przeglądu jest wychwycenie na podstawie literatury obserwowanego niekiedy związku pomiędzy stosowaniem osadów ściekowych bez wapnowania a zakwaszeniem gleby.

#### **Uwagi:**

Str. 18 - czy ilości odpadów w poszczególnych krajach nie powinny być wyrażone w mln ton?

Zdanie „...prowadzi do obniżenia retencyjnych, produkcyjnych i sanitarno-ekologicznych funkcji struktury glebowej” brzmi trochę niezręcznie. Lepiej brzmiałoby po prostu- funkcji gleb.

Str. 46 – sformułowania „grunty uprawne” należałoby raczej zamienić na grunty orne.

#### Metodyka badań

Według mojej oceny badania zostały przeprowadzone według dobrze dobranej metodyki a metody laboratoryjnych oznaczeń zostały dobrane prawidłowo. Ich duży zakres świadczy o dużym entuzjazmie badawczym Doktoranta. Bardzo szczegółowa jest metodyka badania wł. fizycznych gleby, np., przewodnictwa hydraulicznego co jest bardzo cenne i świadczy o ich dużej znajomości przez Doktoranta oraz pozwala na zrozumienie podejścia analitycznego. Do metod oznaczania właściwości chemicznych nie mam żadnych zastrzeżeń, zostały one prawidłowo dobrane i są powszechnie używane, co pozwala na odniesienie uzyskanych wyników do prac innych autorów lub wyników programów monitoringowych.

Bardzo cenne było jednoczesne przeprowadzenie badań w warunkach wazonowych i poletkowych na co decydują się nieliczni badacze. Każde z tych podejść ma swoje zalety i ograniczenia a wyniki uzyskiwane w nich mogą się z oczywistych względów różnić.

Bardzo szczegółowy opis technologiczny oczyszczania ścieków uważam za zaletę pracy w części metodycznej. Podobnie jak opisy obszaru, z którego pobrano gleby lub na którym założono doświadczanie poletkowe. Gratuluję również powodzenia w poszukiwaniu prywatnej działki do wykonania badań poletkowych, co nie jest łatwym zadaniem.

Zastosowanie sieci neuronowych do analizy wyników tego typu badań jest dużym wyzwaniem, wciąż rzadko podejmowanym i zasługuje na podkreślenie.

#### **Uwagi:**

Z pewnością w badaniach wazonowych korzystniej, z punktu widzenia precyzji badań, byłoby zastosować 3 powtórzenia.

Wydaje się, że przydatne byłoby umieszczenie informacji o tym, jak długo gleba przebywała w wazonie po wymieszaniu z osadem oraz przy jakiej wilgotności.

Str. 56 – jeśli zamieszczamy odniesienie do Rozporządzenia Ministra Środowiska z 2015 r., to raczej możemy powiedzieć, że przepisy dopuszczają stosowanie na tej glebie niej osadów. Stwierdzenie czy gleba jest zanieczyszczona należałoby odnosić do Rozporządzenia Ministra

Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi.

Ze zdjęcia wynika, że poletka mogły mieć pewne nachylenie - czy fakt ten mógł wpływać na wyniki badań?

Przydatne byłoby wyjaśnienie jak przeprowadzano walidację modelu – tzn. np. na jakiej zasadzie z 24 obiektów doświadczenia wazonowego wybierano zestaw walidacyjny i testowy?

### Wyniki i Dyskusja

Analiza wyników badań zawiera wiele cennych informacji i spostrzeżeń. Należy do nich wykazanie, że przewodność hydrauliczna gleby zmniejszała się dla gleby lekkiej a rosła dla gleby cięższej, co udowadnia uniwersalny pozytywny wpływ osadów ściekowych na właściwości fizyczne gleby. Wzbogacenie gleby w osad ściekowy ogranicza zatem straty wody i rozpuszczonych w niej składników w glebach lekkich, natomiast w glebach cięższych może ograniczać nadmierne uwilgotnienie lub zastoiska wodne.

Bardzo istotną obserwacją jest wykazanie przyrostu fosforu przyswajalnego w glebie, zależnego od dawki osadu, oraz zawartości azotanów co w określonych warunkach może zwiększać ryzyko wymywania azotanów, szczególnie niedługo po zastosowaniu osadu. Z pewnością cenne jest udokumentowanie wpływu osadów ściekowych oraz ich dawki na właściwości fizyczne i retencyjne gleby – takie wyniki jest bardzo trudno uzyskać niejako „przy okazji” innych badań, ponieważ wymaga to specjalnej aparatury.

Wartość pH gleby została podniesiona, co wynika również z odczynu samego osadu, warto jednak w dyskusji wspomnieć, że w dłuższej perspektywie może zaistnieć trend zakwaszania gleby w wyniku mineralizacji osadu, jeśli zabiegowi nie będzie towarzyszyło wapnowanie gleby.

Wartością analizy wyników jest precyzyjne wyznaczenie trendów zmiany właściwości dla różnych gleb po zastosowaniu osadów ściekowych, co również klarownie wykazuje zmienność reakcji gleb o różnym uziarnieniu. Sieci neuronowe są rzadko stosowane do tak małych zbiorów danych ale z całą pewnością był to dobry poligon analityczny dla Doktoranta i za to należy się uznanie.

Sama dyskusja wyników jest wyczerpującym rozdziałem, przygotowanym z dojrzałością charakterystyczną dla doświadczonych naukowców i świadcząca o rozumieniu procesów zachodzących w glebie przez Doktoranta.

### **Uwagi:**

Rozumiem, że głównym celem statystycznej obróbki danych było wyznaczenie wspomnianych trendów zmian właściwości gleby, jednak cenne byłoby również wskazanie istotnych statystycznie różnic pomiędzy dawkami w tabelach z właściwościami gleb.

Ten sam schemat prezentacji wyników, będący prostym przytoczeniem wyników podanych w tabelach, stosowany dla wszystkich parametrów, może wydawać się przy dłuższym czytaniu mało atrakcyjny.

Zawartość pierwiastków lepiej wyrażać w  $\text{mg kg}^{-1}$  co jest bardziej przejrzyste i odpowiada jednostkom stosowanym w monitoringach gleb i przepisach regulujących poziomy zanieczyszczenia.

Np. tabela 22.5 (zawartość kadmu) – dla gliny piaszczysto-ilastej wyniki są dość nieoczekiwane, czy ponawiano pomiary? Wyniki mogą wskazywać na niehomogeniczność wejściowego materiału glebowego lub gleby po dodaniu osadów ściekowych, co nawiasem mówiąc jest trudne do uzyskania w przypadku mieszania gleby ze świeżym osadem ściekowym.

Tabela 1.6 chyba bardziej pasuje do przeglądu literatury

Str. 219 – nie należy używać „...wpłynęło znacząco na zmniejszenie zawartości ołowiu w roztworze glebowym dla piasku...” gdyż oznaczano całkowitą zawartość pierwiastków.

### Wnioski

Wnioski wyczerpująco odnoszą się do wyników badań i bezpośrednio odnoszą się do celów oraz hipotez postawionych przed rozpoczęciem badań. Uwagi do wniosków mają jedynie wskazówek co do sformułowań.

### **Uwagi:**

Wniosek 1: ryzykowna jest teza, że „frakcja piaszkowa spełnia funkcję szkieletu akumulującego w swej strukturze odpowiednio większe zawartości materii organicznej.” Badania wykazują, że gleby lekkie zwykle posiadają mniej materii organicznej niż gleby o drobnym uziarnieniu.

Wniosek 8 . Mobilność metali nie odnosi się bezpośrednio do roślin, lepiej byłoby użyć pojęcia „przyswajalność dla roślin”

Wniosek 9. Nie do końca zręczne jest sformułowanie „Wprowadzenie osadu ściekowego wpływa na poprawę przewodności elektrolitycznej ośrodka glebowego czyli zwiększenie zasolenia.” Zwiększenie zasolenia trudno uznać za poprawę warunków.

### Osiągnięcia

Uważam, że rozprawa doktorska zawiera wiele zalet i osiągnięć. Do osiągnięć w moim przekonaniu należy zaliczyć:

- bardzo szeroki, dość niezwykły w pracach doktorskich, zakres parametrów gleby ujętych w ocenie skutków stosowania osadów ściekowych,
- wykonanie analizy wpływu osadów na gleby o różnym uziarnieniu, co pomaga w realistyczny sposób wyważyć negatywy i pozytywy stosowania osadów,

- doskonałą ocenę wpływu osadów ściekowych na właściwości fizyczne gleby. Jest to bardzo ważne dla zwiększania świadomości na temat pozytywnego wpływu egzogennej materii organicznej na warunki wodne, szczególnie w sytuacji częstych obecnie ekstremalnych zjawisk niedoboru lub czasowego nadmiaru wody w profilu gleby,
- wykazanie wpływu osadów ściekowych na przyswajalność składników nawozowych w zależności od uziarnienia gleby,
- wykorzystanie w badaniach eksperymentów wazonowych i poletkowych, co daje pełniejszy obraz ewentualnych efektów nawożenia gleby.

### Podsumowanie i wnioski końcowe

Podsumowując, oceniana rozprawa doktorska wnosi dużą ilość cennych informacji o charakterze naukowym, które dodatkowo mogą być przydatne z praktycznego punktu widzenia. Doktorant zrealizował bardzo szeroki zakres badań, zarówno w warunkach terenowych, jak i szklarniowych. Ilość scharakteryzowanych parametrów jest imponująca i pozwala na wszechstronną ocenę skutków stosowania osadów ściekowych.

Doktorant do badań wybrał bardzo istotny i aktualny problem i zaplanował badania w sposób, który nie powielał badań znanych dotychczas z literatury. To niezwykle cenna zaleta opisanych w rozprawie badań. Dobór metodyki badań i metod oznaczeń parametrów gleby był właściwy i nie mam do niego zastrzeżeń. Rozprawa stanowi wartościową, w pełni oryginalną pracę naukową, wnosząc nowy i znaczący wkład w rozwój wiedzy zgodnej z dyscypliną inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. **Rozprawa stanowi z całą pewnością oryginalne rozwiązanie istotnego obecnie problemu naukowego.** Zatem pod względem metodycznym i merytorycznym przedstawiona spełnia kryteria przyjmowane dla prac doktorskich. Opis wyników oraz dyskusja wyników odnoszą się wyłącznie do własnych wyników badań. Całościowo rozprawę oceniam wysoko, jako wnoszącą nowe informacje dla zagadnień ochrony środowiska, rekultywacji terenów zdegradowanych oraz gospodarki odpadami.

Biorąc pod uwagę szczególnie cenne i rzadko uzyskiwane wyniki badań dotyczące wpływu osadów ściekowych na cechy fizyczne gleby oraz niezwykle szeroki zakres badań, poparte trafną analizą wyników, wnoszę o **wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Piotra Petryka.**

W związku z powyższym, stwierdzam, że oceniana rozprawa doktorska spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim, które są określone w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku „O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami).

Jednocześnie wnioskuję do Wysokiej Rady Naukowej Dyscypliny Inżynierii Środowiska, Górnictwa i Energetyki Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie, o dopuszczenie mgr inż. Piotra Petryka do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Przedstawiona do oceny rozprawa kwalifikuje Pana mgr inż. Piotra Petryka do nadania stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.