

Poznań, 15.11. 2022 rok

Prof. UPP dr hab. inż. **Piotr Stachowski**

Instytut Melioracji, Kształtowania Środowiska i Gospodarki Przestrzennej

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,

Poznań, ul. Piątkowska 94, 60-649,

Tel. (61) 846 64 26,

piotr.stachowski @up.poznan.pl

Recenzja
rozprawy doktorskiej
mgr inż. Piotra Petryka
pt.

***„Wpływ osadów ściekowych na wybrane właściwości
gleb zdegradowanych”***

wykonanej w *Katedrze Melioracji i Kształtowania Środowiska*

na Wydziale Inżynierii Środowiska i Geodezji

UNIWERSYTETU ROLNICZEGO
w Krakowie

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

1. Podstawa i przedmiot opracowania

Recenzja przygotowana została w odpowiedzi na pismo Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Uniwersytety 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), w którym zostałem powołany na opiniodawcę w przedmiotowej sprawie.

Praca doktorska została wykonana w Katedrze Melioracji i Kształtowania Środowiska, na Wydziale Inżynierii Środowiska i Geodezji pod kierunkiem Pana **dr hab. inż. Marka Ryczka prof. URK (promotor)**.

2. Formalna ocena pracy

Oceniana rozprawa obejmuje łącznie 234 stron tekstu, w tym aż 96 rysunki i 20 fotografie oraz 67 tabel. W wykazie 345 pozycji piśmiennictwa ponad 41% to pozycje anglojęzyczne.

Tekst rozprawy podzielony został na 7 rozdziałów: Na część opisową rozprawy składają się rozdziały: I. *Wstęp, Cel pracy i hipotezy badawcze*. II. *Przegląd literatury z 3 podrozdziałami*. Do części eksperymentalnej rozprawy zalicza się rozdziały: III. *Metodyka badań z 4 podrozdziałami*, IV. *Opis obiektu badań z 3 podrozdziałami*, V. *Wyniki badań z 3 podrozdziałami*, VI. *Dyskusja wyników podzielona na 19 podrozdziałów*, VII *Wnioski*. Dodatkowo: *spis literatury, spis rysunków i fotografii, spis tabel, streszczenia w językach: polskim i angielskim*. Rozprawa doktorska złożona jest z dwóch głównych części: teoretycznej - literaturowej i empirycznej - badawczej. Pierwszą z nich stanowi studium przeglądowe literatury specjalistycznej. Przedstawiono w niej dotychczasowy stan wiedzy o typologii, produkcji i zagospodarowaniu odpadów komunalnych oraz osadów ściekowych w Polsce i Europie. Przedstawiono właściwości i wpływ osadów ściekowych na glebę i podłoża przeznaczone do rekultywacji. Druga część pracy prezentuje materiał badawczy pobrany do analiz, zastosowane metody badawcze, wyniki przeprowadzonych prac i ich dyskusję oraz wyniki końcowe.

Układ rozprawy doktorskiej spełnia ogólne wymagania stawiane rozprawom naukowym. Poszczególne rozdziały tworzą logiczną całość i ściśle się zająkają, pod względem objętości zachowując odpowiednie proporcje. Rozprawa jest napisana przejrzysto, zgodnie z zasadą pisania i redagowania rozpraw naukowych. Język pracy jest poprawny. Przygotowane bardzo liczne rysunki i tabele znacznie ułatwiają interpretację i ocenę przedstawionych wyników. Bibliografia dobrana jest trafnie i tematycznie związana jest z zakresem rozprawy, a poszczególne jej pozycje zostały wykorzystane w treści pracy. Należy podkreślić, że dostępna literatura w tym temacie jest bardzo obszerna, stąd oceniając wykorzystanie literatury w aspekcie jakościowym, należy podkreślić walor aktualności cytowanych pozycji. Przegląd literatury dowodzi bardzo dobrej orientacji Autora w osiągnięciach krajowych i zagranicznych, w tematyce możliwości zagospodarowania osadów ściekowych poprzez poprawę właściwości fizycznych i wodnych gleb zdegradowanych metalami ciężkimi jak i gruntów bezglebowych.

3. Ocena problematyki badawczej pracy

Rocznie w Polsce powstaje około pół miliona ton suchej masy komunalnych osadów ściekowych. Składają się one przede wszystkim z martwej masy mikroorganizmów i stanowią uboczny produkt biologicznego oraz mechaniczno-biologicznego procesu oczyszczania ścieków. Zgodnie z definicją zawartą w ustawie o odpadach [1] komunalne osady ściekowe są to odpady pochodzące z oczyszczalni ścieków, osady z komór fermentacyjnych oraz innych instalacji służących do oczyszczania ścieków komunalnych oraz innych ścieków o składzie zbliżonym do

składu ścieków komunalnych. Ze względu na zawartość w osadach ściekowych cennych dla rolnictwa składników pokarmowych (m.in. azotu, fosforu, potasu i wapnia), a także łatwo rozkładanej substancji organicznej [2,3,4], przyrodnicze wykorzystanie osadów jako nawozu organicznego powinno być podstawowym kierunkiem ich zagospodarowania [5, 6]. Rozwiązanie to jest ważne z praktycznego punktu widzenia, ponieważ osady ściekowe ze względu na wysokie zawartości materii organicznej oraz pierwiastków biogennych mogą poprawiać żyzność gleb. Jednakże, aby móc stosować je w rolnictwie, konieczne jest ich stabilizowanie poprzez wapnowanie, kompostowanie lub suszenie. Niezbędna jest także kontrola analityczna przetworzonego osadu, który może zawierać podwyższone stężenia potencjalnie toksycznych metali i zanieczyszczeń organicznych. Ważne jest także określenie potencjalnej toksyczności dla roślin osadu, który ma być stosowany jako nawóz. Należy przy tym podkreślić, że spełnianie wymagań prawnych, takich jak dopuszczalne zawartości poszczególnych substancji zanieczyszczających nie wyklucza fitotoksyczności osadów, która może pojawić się na skutek interakcji między składnikami osadu i gleby, z którą osad będzie mieszany. Składniki pokarmowe zawarte w osadach ściekowych pozwalają na wykorzystanie ich jako cennego surowca do użyźniania i rekultywacji terenów zdegradowanych. Zabieg rekultywacji gleb zdegradowanych prowadzony przy użyciu osadów ściekowych, wpływa korzystnie na właściwości glebo- i próchnicotwórcze. Stanowi substancję organiczną, zasobną w mikro- i makroelementy, niezbędne do wzrostu roślin oraz poprawiające aktywność biologiczną gleb.. Stosowanie osadów ściekowych w rekultywacji przynosi podwójne korzyści , z jednej strony zagospodarujemy osady ściekowe, z drugiej zaś przywracamy do użyteczności tereny przekształcone działalnością człowieka lub nieużytkowane.

Zgodnie z założeniami idei gospodarki o obiegu zamkniętym, powrót do gleby materii organicznej zawartej w osadach ściekowych jest zamknięciem obiegu materii w przyrodzie. Osady winny trafiać do gleb w sposób bezpieczny, czyli stabilne i w dawkach nie powodujących przekroczeń zawartości substancji i pierwiastków niepożądanych. Literatura przedmiotu [7,8] wskazuje, że stosowanie osadów ściekowych wpływa korzystnie na fizyczne, chemiczne oraz biologiczne właściwości gleby, poprawiając w ten sposób jej jakość. Przeprowadzone dotychczas badania [9,10,11,12,13,14,] wykazały, że stosowanie osadów ściekowych powoduje wzrost zawartości materii organicznej i azotu ogółem oraz korzystną zmianę odczynu gleb [15, 16]. Wielu autorów [17,18] wskazuje także, że stosowanie osadów ściekowych wpływa korzystnie na zwiększenie plonu ziarna i biomasy roślin. Wprowadzana do gleby materia organiczna zawarta w osadach ściekowych podlega procesom transformacji w wyniku przebiegających równocześnie procesów mineralizacji i humifikacji. Procesy te wpływają na

zawartość węgla organicznego, dostępność i wykorzystanie składników pokarmowych oraz pośrednio na plonowanie roślin [19,20,]. Biorąc pod uwagę powyższe aspekty, należy stwierdzić, że zagospodarowanie komunalnych osadów ściekowych jest obecnie jednym z najważniejszych problemów gospodarki odpadami w Polsce. Sądzę, że tę opinię podziela Doktorant, który przygotował rozprawę doktorską ściśle związaną z tym zagadnieniem.

- [1] Ustawa z dnia 14 grudnia (2012) r. o odpadach [Dz.U.2013.0.21 ze zm.].
- [2] **Kiteczak T., Czyż H.**, (2012). *Wpływ osadu komunalnego i kompostu z odpadów zieleni na jakość czterech mieszanek trawnikowych*. Inż. Środ. 147(27), 86-94.
- [3] **Kłapeć T., Cholewa A.**, (2012). *Zagrożenia dla zdrowia związane ze stosowaniem nawozów organicznych i organiczno-mineralnych*. Med. Ogólna Nauki Zdr. 18(2), 131-136.
- [4] **Kołwzan B.**, (2005). *Podstawy mikrobiologii w ochronie środowiska*. OW PWR Wrocław.
- [5] **Gondek K.**, (2012). *Wpływ nawożenia nawozami mineralnymi, obornikiem od trzody chlewnej i komunalnymi osadami ściekowymi na plon i niektóre wskaźniki jakości ziarna pszenicy jarej (Triticum aestivum L.)*. Acta Agrophys. 19(2), 289-302.
- [6] **Żukowska G., Flis-Bujak M., Baran S.**, (2002). *Wpływ nawożenia osadem ściekowym na substancję organiczną gleby lekkiej pod uprawą wikliny*. Acta Agrophys. 73, 357-367.
- [7] **Gasco G., Martinez-Inigo M., Lobo M.**, (2004). *Soil organic matter transformation after a sewage sludge application*. Electron. J. Environ. Agric. Ford Chem. 3, 716-722.
- [8] **Jeziarska-Tyc S., Frąc M.**, (2008). *Badania nad wpływem osadu z oczyszczalni ścieków mleczarskich na aktywność mikrobiologiczną i biochemiczną gleby*. Acta Agrophys. Rozpr. Monogr. 3(160), 1-109.
- [9] **Diez T.** (1981). *Increasing organic matter of soils by sewage sludge*. [In:] *The influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soils*, Catroux G., L'Hermite P., Suess E (eds.). Springer Netherlands.
- [10] **Fytilli D., Zabaniotou A.**, (2008). *Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods – A review*. Renew. Sust. Energ. Rev. 12(1), 116-140.
- [11] **Hsieh Y.P., Douglas L.A., Motto H.L.** (1981). *Modeling sewage sludge decomposition in soil: I. organic carbon transformation*. J. Environ. Qual. 10, 54–59.
- [12] **Marando G., Jimenez P., Hereter A., Julia M., Ginovart M., Bonmati M.**, (2011). *Effects of thermally dried and composted sewage sludges on the fertility of residual soils from limestone quarries*. Appl. Soil Ecol. 49, 234-241.
- [13] **Morel J.L., Guckert A.** (1983). *Influence of limed sludge on soil organic matter and soil physical properties*. [In:] *The influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soils*, Catroux G., L'Hermite P., Suess E (eds.). Riedel Publ. Comp Dordrecht, Boston, London, 25-42.
- [14] **Nagar R., Sarkar D., Datta R.**, (2006). *Effect of sewage sludge addition on soil quality in terms of metal concentrations*. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 76, 823-830.
- [15] **Fijałkowski K., Kacprzak M.**, (2009). *Wpływ dodatku osadów ściekowych na wybrane fizyczno-chemiczne i mikrobiologiczne parametry gleb zdegradowanych*. Inż. Ochr. Środ. 12(2), 133-141.
- [16] **Filipiak J., Przybyła C., Jakobsze M.**, (2008). *Wpływ rolniczego wykorzystania osadów ściekowych na zmiany zasobności gleb*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 532, 101-110.
- [17] **Hsieh Y.P., Douglas L.A., Motto H.L.** (1981). *Modeling sewage sludge decomposition in soil: I. organic carbon transformation*. J. Environ. Qual. 10, 54–59.
- [18] **Marando G., Jimenez P., Hereter A., Julia M., Ginovart M., Bonmati M.**, (2011). *Effects of thermally dried and composted sewage sludges on the fertility of residual soils from limestone quarries*. Appl. Soil Ecol. 49, 234-241.
- [19] **Morel J.L., Guckert A.** (1983). *Influence of limed sludge on soil organic matter and soil physical properties*. [In:] *The influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soils*, Catroux G., L'Hermite P., Suess E (eds.). Riedel Publ. Comp Dordrecht, Boston, London, 25-42.
- [20] **Fernández J.M., Plaza C., García-Gil J.C, Polo A.**, (2009). *Biochemical properties and barley yield in a semiarid Mediterranean soil amended with two kinds of sewage sludge*. Appl. Soil Ecol. 42, 18-24.

4. Merytoryczna i metodyczna ocena wartości pracy

Dokonując oceny merytorycznej stwierdzam, iż treść pracy odpowiada tytułowi, a cel *‘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’*, został jasno sprecyzowany i w pełnym zakresie zrealizowany. Zawartość pracy jest zgodna z tytułem a podział treści i kolejność rozdziałów są prawidłowe. Przedstawione tezy pracy są kompletne.

W rozdziale 1. **Wstęp, cel pracy i hipotezy badawcze**, rozprawa zawiera ocenę ważności i uzasadnienie podjętego tematu problemu badawczego. Wskazuje, że korzystne zmiany chemiczne i biologiczne dokonujące się w zdegradowanym podłożu glebowym mogą być skutkiem nawożenia gleb osadami ściekowymi lub wytworzonymi z nich kompostami. Stąd właściwie jako przedmiot poniższej dysertacji przyjął wpływ osadów ściekowych na kształtowanie się wybranych właściwości gleb zdegradowanych. W szczególności dotyczyło to cech wpływających bezpośrednio na wzrost żyzności gleby, takich jak zawartość materii organicznej, gęstość fazy stałej, sorpcja wody glebowej (krzywa pF), a także metali ciężkich jako elementów zasadniczo niepożądanych. Do realizacji tak postawionego celu, Doktorant sformułował następujące hipotezy badawcze: (1) *Istnieje zależność pomiędzy zawartością metali ciężkich w glebie a dawką osadu ściekowego.* (2) *Podanie osadu ściekowego wpływa na właściwości fizyczne gleby.* (3) *Aplikacja materiału osadowego istotnie poprawia krzywą sorpcji wody glebowej.* (4) *Dawkowanie osadu ściekowego istotnie wpływa na zawartość pierwiastków biogennych C, N i P w glebie.* (5) *Określona dawka osadów ściekowych o odczynie alkaicznym wpływa na oznaczenie kwasowości hydrolitycznej i sumy kationów zasadowych.*

W obszernym, bo liczącym 20 stron i składającym się z 3 podrozdziałów rozdziale 2. **Przegląd literatury**, Autor słusznie wskazuje na to, że spora liczba publikacji specjalistycznych i opracowań branżowych, podejmująca tematykę zagospodarowania osadów ściekowych, koncentruje się głównie na bilansie masy i ładunków zanieczyszczeń, proponując określone rozwiązania gospodarki osadowej w szczegółowych sytuacjach. Inne zaś traktują komunalne osady ściekowe jako materiał badawczy, stanowiący źródło materii organicznej i związków biogennych dla upraw roślin lub poprawy warunków ich funkcjonowania. Doktorant przedstawia jaka była i jest produkcja, zagospodarowanie osadów ściekowych, jak są wytwarzane i zagospodarowywane oraz ocenia w oparciu o bogatą literaturę ich właściwości i ich wpływ na glebę i grunt rekultywowany.

W rozdziale 3, Doktorant szczegółowo i wyczerpująco przedstawia **metodykę badań**, z podziałem na doświadczenia laboratoryjne i terenowe. Obszerny, liczący ponad 40 stron rozdział jest napisany przejrzysto i bardzo dokładnie oraz obrazowo (liczne fotografie i zestawienia tabelaryczne) przedstawia zakres prac wazonowych (jednosezonowych) i na poletkach doświadczalnych. Analizy laboratoryjne w zakresie oznaczenia właściwości fizycznych i chemicznych gleb oraz zawartości metali ciężkich w materiale glebowym przeprowadzono w Laboratoriach: Katedry Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza, Katedry Melioracji i Kształtowania Środowiska, Katedry Chemii Rolnej i Środowiskowej Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Badania wazonowe wykonano w laboratorium Katedry Melioracji i Kształtowania Środowiska UR w Krakowie. Analizowane osady ściekowe pochodziły z oczyszczalni ścieków w Trepczy koło Sanoka (woj. podkarpackie). Gleba wykorzystana do badania wazonowego pochodziła z sołectwa Płoki, w miejsko-wiejskiej gminie Trzebinia, w powiecie chrzanowskim. W doświadczeniu wazonowym zastosowano trzy dawki nawozowe osadu ściekowego, dwukrotnie dla każdego gatunku gleby, w dawkach odpowiadających: 50, 100 i 200 Mg·ha⁻¹, po dwa wazony (kontrolne), przeznaczono na glebę bez dodatku osadu. Badania terenowe wykonano w miejscowości Klecza Dolna w gminie Wadowice w województwie małopolskim, na prywatnej działce rolnej, przez dwadzieścia lat odłogowanej. Gleba rodzima znajdująca się na zakładanych poletkach należała do kompleksu glebowo-rolniczego pszennego, dobrego śródgórskiego i podgórskiego, rodzaj less ilasty oraz klasy bonitacyjnej RIIIa. Doktorant właściwie wytypował na badania terenowe 6 poletek doświadczalnych o łącznym obszarze 24m², na których wyeliminowano wpływ nawożenia zewnętrznego i pozostałych czynników mogących wpłynąć na skład gleby i interpretację wyników. Oznaczenia właściwości fizykochemicznych (azotu organicznego, węgla organicznego, fosforu przyswajalnego oraz azotu azotanowego – Nog, Cog, P przyswajalnego oraz N-NO₃) gleby wykonano w laboratorium Katedry Chemii Rolnej i Środowiskowej. Oznaczeń metali ciężkich dokonano w Katedrze Ekologii, Klimatologii i Ochrony Powietrza. Natomiast pozostałe parametry oznaczono w laboratorium Melioracji i Kształtowania Środowiska na Wydziale Inżynierii Środowiska i Geodezji Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie. Oznaczenie gleb wykonane według powszechnie obowiązujących metod oznaczeń stosowanych w gleboznawstwie: składu granulometrycznego, materii organicznej, gęstości fazy stałej, gęstości suchej gleby, porowatości ogólnej, odczyn gleby, przewodność elektryczną, zawartość kadmu, ołowiu, miedzi, cynku, azotu i węgla ogólnego, fosforu przyswajalnego, azotu azotanowego, oznaczono sumy kationów zasadowych, kwasowości hydrolitycznej. Wyznaczono metodą wirówkową krzywą wodnej retencyjności. Na podstawie sparametryzowanych do równania van

Genuchtena krzywych charakterystyki wodnej obliczono: zapasy wody łatwo, trudno i ogólnie dostępnej w warstwie 1 m oraz procentowo w stosunku do maksymalnej retencyjności, procentową zawartość porów grubych, średnich i drobnych, procentową zawartość form wody glebowej oraz współczynniki jakości gleby. Do analizy statystycznej wybrano jeden typ sieci neuronowych, sieć wielowarstwową (MLP). Następnie oceniono jakości dopasowania danych prognozowanych do eksperymentalnych.

Podsumowując ocenę metodyki i zakresu badań stwierdzam, że badania laboratoryjne oraz badania i obserwacje terenowe zostały przeprowadzone zgodnie z przyjętą, właściwie dobraną metodyką. Z przedstawionych w pracy rezultatów badań wynika, że materiał empiryczny był bardzo obszerny, wielowariantowy o dużej pracochłonności. Część teoretyczna pracy została opracowana w bardzo obszerny sposób i zawiera najważniejsze treści, które dotyczą charakterystyki osadów ściekowych i sposobów postępowania z nimi. Doktorant wykazał się bardzo dobrą znajomością tematycznego zagadnienia oraz dużą swobodą w powoływaniu się na przepisy prawne i opracowania branżowe z zakresu gospodarki odpadami.

W **rozdziale 4**, Doktorant charakteryzuje obiekty badawcze. Obiekt badań to oczyszczalnia mechaniczno-biologiczna, z której pobrano osady ściekowe, zlokalizowana w miejscowości Trepcza w gminie Sanok w województwie podkarpackim. Oprócz lokalizacji podano parametry hydrauliczne obiektu, charakterystykę ładunków i stężeń zanieczyszczeń ścieków oraz ich redukcję, opisano ciąg technologiczny produkcji osadów ściekowych. Do przeprowadzenia badań wazonowych Autor wybrał skażoną glebę pobraną z miejscowości Płoki, w miejskowiejskiej gminie Trzebinia w powiecie chrzanowskim. Natomiast do badań terenowych wytypował powierzchnie doświadczalne zlokalizowane w miejscowości Klecza Dolna, położonej w gminie Wadowice w powiecie wadowickim.

Rozdział 5. **Wyniki badań.** Na początku Doktorant przedstawił wyniki badań laboratoryjnych gleby pobranej do badań. Na szczególne podkreślenie zasługuje to, że istotnym wkładem do badań laboratoryjnych było zestawienie parametrów wodnych dla wszystkich typów analizowanych gleb, zobrazowanych za pomocą krzywych charakterystyki wodnej gleby, przy wykorzystaniu modelu van Genuchtena i zestawienie wartości parametrów tego równania dla poszczególnych pobranych do analizy utworów glebowych, z kolejnymi dawkami osadu ściekowego oraz dla samego osadu ściekowego. Pozwoliło to Doktorantowi określić graniczne wartości odpowiadające poszczególnym formom wody oraz poziomowi jej dostępności dla roślin. Autor określił także: objętościową zawartość wody w punktach odpowiadających ciśnieniom pF: 1.33, 1.94, 2.89 i 3.33 w metodzie wirówkowej i punktom 4.2 i 4.7 w metodzie

nasycań w komorze próżniowej, obliczył dla osadu ściekowego, w czterech dawkach, zapas wody łatwo dostępnej, zapas wody trudno dostępnej, zapas wody ogólnie dostępnej, względny zapas wody łatwo dostępnej, względny zapas wody trudno dostępnej, względny zapas wody ogólnie dostępnej w warstwie 1 m.

Stwierdzam, że wszystkie badania laboratoryjne i przeprowadzone na poletkach doświadczalnych, wymienione w metodyce, były właściwie wykonane i zgodne z przyjętą metodyką powszechnie stosowaną w badaniach gleboznawczych. Stwierdzam, że w dysertacji autor posłużył się danymi empirycznymi z własnych badań, uzyskanych z założonych poletek doświadczalnych oraz badań wazonowych. Próbkę gleb do realizacji badań wazonowych, o skrajnie różnych frakcjach glebowych, pobrano in situ w miejscowości Płoki (gmina Trzebinia). Pobrano je z miejsc, w których uprzednio zdiagnozowano wysokie zawartości metali ciężkich, celem analizy wpływu dawki osadu ściekowego na zmianę ich stężenia. Do badań poletkowych posłużono się glebą z usuniętą warstwą humusową jako glebą zdegradowaną. Poletka założono w miejscowości Klecza Dolna (gmina Wadowice) na odłogowanych terenach rolniczych. W badaniach poletkowych i wazonowych, przeprowadzonych właściwie pod względem metodycznym, posłużono się tym samym odwodnionym osadem ściekowym. Osad ściekowy zhigenizowany wapnem został pobrany z poletek osadowych znajdujących się na terenie Oczyszczalni Ścieków w Trepczy koło Sanoka. Następnie został on równomiernie zmieszany z pobranym materiałem glebowym. Zastosowano przy tym trzy dawki, odpowiednio: 50, 100 i 200 $\text{Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, celem weryfikacji wpływu dawki nawozowej na parametry gleby. Po upływie trzech miesięcy przystąpiono do poboru prób i analiz laboratoryjnych.

Na uwagę zasługuje nowatorskie podejście Autora w ocenie wpływu osadów ściekowych na właściwości gleb zdegradowanych jest włączenie prognozowania poszczególnych właściwości przez zastosowanie sieci neuronowych. Danymi wejściowymi były zawartości poszczególnych frakcji piasku pyłu i iłu oraz złożone trzy dawki osadu, natomiast danymi wyjściowymi były poszczególne parametry. Jak wykazały wygenerowane w niniejszej dysertacji modele sieci, stopień ich dopasowania do danych eksperymentalnych pozostawał na wysokim poziomie. Jedynie w przypadku porowatości ogólnej i azotu ogólnego zanotowano znaczące niedoszacowania, a w przypadku węgla ogólnego znaczne przeszacowanie.

Część eksperymentalna świadczy o bardzo dobrej znajomości metod analitycznych stosowanych przez Doktoranta. Wyniki badań w większości przypadków zostały w sposób przejrzysty zestawione w postaci tabelarycznej. Dodatkowo załączono rysunki dla lepszego zobrazowania wyników i skonfrontowania wyników badań.

Rozprawę kończy **rozdział nr 6**, który uznaję za przykład dojrzałego tekstu naukowego. Omówienie wyników zostało bardzo dobrze połączone z dyskusją, która nawiązuje do dotychczas uzyskanych wyników badań innych licznie zacytowanych Autorów, opublikowanych w literaturze krajowej i zagranicznej. Autor w sposób ciekawy i wysoce merytoryczny, z wykorzystaniem licznych badań własnych, przeprowadził analizę rezultatów wyników z osiągnięciami innych, zawartych w bogato cytowanej literaturze. Rozdział ten stanowi cenną część pracy, a zarazem świadczy o bardzo dobrym opanowaniu przez Doktoranta niezwykle trudnych zagadnień leżących na styku kilku specjalności naukowych.

W rozdziale nr 7 - **Wnioski**, sformułowano 18 wniosków, które ściśle nawiązują do celu i tezy badawczej rozprawy i wynikają ze szczegółowo przeprowadzonych badań i obserwacji terenowych oraz analiz statystycznych. W mojej ocenie są zbyt rozbudowane, a powinny być uogólnieniem uzyskanych wyników i poprzedzone krótkim ogólnym podsumowaniem.

Reasumując, oceniana rozprawa wnosi wiele nowych, istotnych szczegółów oraz informacji naukowych i praktycznych dotyczących ważnego zagadnienia wykorzystania osadów ściekowych do rekultywacji gleb zdegradowanych. Stwierdzam, że **mgr inż. Piotr Petryk** zaplanował i przeprowadził kompleksowe, pracochłonne, o charakterze interdyscyplinarnym badania, które mają przede wszystkim charakter naukowy ale także poznawczy i użyteczny. Doktorant przeprowadził bardzo szeroki zakres badań, które w pełni potwierdziły tezę pracy. Zwraca uwagę graficzna strona opracowania, a prezentacja wyników badań udokumentowana jest licznymi wykresami różnych zależności i zestawieniami tabelarycznymi. Za istotny walor rozprawy uznaję wysoki, wymagany poziom naukowy oraz kompleksowy charakter zaprezentowanych rozwiązań. Bardzo dobra znajomość literatury związanej z tematyką rozprawy, zastosowane narzędzia badawcze, a także sposób realizacji zadania naukowego, świadczą o bardzo dobrym opanowaniu przez Doktoranta umiejętności rozwiązywania złożonych problemów naukowych. Tezy rozprawy uznaję za udowodnione cel rozprawy za w pełni wypełniony, a jej zakres za zrealizowany.

Za **najważniejsze osiągnięcia uzyskane przez Doktoranta** w recenzowanej rozprawie zaliczam:

- W pełni udowodnione możliwości zagospodarowania osadów ściekowych, poprzez poprawę właściwości fizycznych i wodnych gleb zdegradowanych zarówno poprzez wysoką zawartość metali ciężkich, jak również gruntu bezglebowego z całkowicie zlikwidowanym poziomem warstwy próchnicznej.

- Nowatorskim podejściem w ocenie wpływu było włączenie prognozowania poszczególnych właściwości przez zastosowanie sieci neuronowych. Danymi wejściowymi były zawartości poszczególnych frakcji piasku pyłu i iłu oraz złożone trzy dawki osadu, natomiast danymi wyjściowymi były poszczególne parametry. Jak wykazały wygenerowane w niniejszej dysertacji modele sieci, stopień ich dopasowania do danych eksperymentalnych pozostawał na wysokim poziomie. Jedynie w przypadku porowatości ogólnej i azotu ogólnego zanotowano znaczące niedoszacowania, a w przypadku węgla ogólnego znaczne przeszacowanie.
- Uzyskane wyniki rzucają nowe światło na możliwość prognozowania wpływu na zmianę parametrów gleby za pomocą osadów ściekowych przy wsparciu zaawansowanych narzędzi statystycznych, jakimi są sztuczne sieci neuronowe.
- Istotnym wkładem do badań jest również zestawienie parametrów wodnych dla wszystkich typów analizowanych gleb, zobrazowanych za pomocą krzywych wodnej retencyjności i określenie podstawowych właściwości wodnych gleb rekultywowanych. Wskazują również bardzo istotny aspekt możliwości zmiany parametrów wodnych, w tym retencyjności wody glebowej, poprzez aplikację komunalnych osadów ściekowych.
- Autor wykazał, że aplikacja osadów ściekowych umożliwia nie tylko zasilenie gleby pierwiastkami i związkami biogennymi, ale również znacząco poprawia jej retencyjność, wprowadzając korzystniejsze warunki uprawy i bytowania roślin uprawnych.

Powyższy wykaz osiągnięć jest efektem szerokiego zakresu przeprowadzonych prac badawczych, a w ich treści zawarte są nowe wartości poznawcze i użyteczne dla nauki i w szczególności dla praktyki rolniczej.

Uzyskane rezultaty wskazują na dojrzałość Doktoranta do samodzielnego prowadzenia badań. Rozprawa wskazuje, że Autor posiadał ponad akademicką wiedzę specjalistyczną w zakresie dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka (dawniej: ochrona i kształtowanie środowiska), co jest jednym z wymogów stawianych kandydatom do stopnia naukowego doktora.

Zapoznając się z przedstawioną do recenzji dysertacją, nasuwają się uwagi o charakterze redakcyjnym, technicznym, które powinni zostać wykorzystane przy redagowaniu pracy do druku, a które zaznaczyłem w tekście pracy. Ogólny układ redakcyjny pracy proponowałbym zmienić, skrócić na następujący: 1. Wstęp, 2. Przegląd literatury, 3. Cel, zakres metodyka pracy, 4. Charakterystyka obiektów badań, 5. Wyniki badań i dyskusja 6. Podsumowanie i wnioski.

Wyżej wymienione uwagi mają charakter edytorski, techniczny, nie wpływają na jednoznacznie wysoką ocenę merytoryczną i edytorską rozprawy, a ich uwzględnienie poddaję pod rozważenie Autora. Pozostałe drobne uwagi i literówki zostały zaznaczone w recenzowanym egzemplarzu.

5. Podsumowanie, wnioski końcowe

Przygotowanie rozprawy w przewodzie doktorskim to sprawdzian umiejętności warsztatowych Doktoranta, które polegają na poprawnym postawieniu problemu, odpowiednim doborze materiału badawczego, wyborze właściwych metod opracowania i wyciągania właściwych wniosków. Pod tym względem przedstawiona do oceny dysertacja w pełni odpowiada obowiązującym kryteriom. Przedłożona rozprawa doktorska *mgr inż. Piotra Petryka*, stanowi wartościową, oryginalną pracę naukową i wnosi istotny wkład w rozwój wiedzy w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka, z zakresu niezwykle ważnej problematyki badawczej, jaką jest prowadzenie racjonalnej gospodarki osadami ściekowymi przy założeniu ich wykorzystania głównie do rekultywacji terenów zdegradowanych, poprawiającego ich właściwości fizykochemiczne oraz wodne. Praca napisana jest poprawnie pod względem metodycznym, a wyniki badań uzyskano tylko i wyłącznie z własnych badań i obserwacji terenowych.

Recenzowaną dysertację Pana *mgr inż. Piotra Petryka* oceniam bardzo wysoko. Stanowi oryginalny, nowatorski oraz ważny przyczynek i wnosi wiele istotnych oraz ciekawych informacji do zagadnienia głównie rekultywacji terenów zdegradowanych czy zdewastowanych. Doceniam analizę uzyskanych wyników i dojrzałość ich interpretacji. Szczególnie zagadnienia oceny statystycznej uzyskanych wyników badań. Doktorant posiada dużą wiedzę w tej dyscyplinie i umiejętność formułowania problemów naukowych. Podjęty problem badawczy jest bardzo ważny i aktualny.

Jako recenzent, który wnikliwie zapoznał się z treścią pracy doktorskiej, z pełną odpowiedzialnością mogę stwierdzić, że zarówno unikalna tematyka, jak i całokształt prac badawczych, wykonanych i przejrzenie przedstawionych przez Doktoranta w tej starannie sporządzonej rozprawie, wyraźnie przewyższa przeciętne wymagania stawiane pracom doktorskim w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Tematyka badawcza dysertacji stanowi istotny wycinek badań w zakresie rekultywacji terenów zdegradowanych, poprawiającego ich właściwości fizykochemiczne oraz wodne. Przyczyniając się w ten sposób do szybszego przywracania terenów zdewastowanych czy zdegradowanych do normalnego użytkowania w krajobrazie rolniczym. Wykazał się ponadto biegłością i

wnikliwością w interpretacji swoich wyników. Biorąc pod uwagę bardzo wysoki poziom naukowy przeprowadzonych badań, oryginalne rozwiązania problemów naukowych, wykorzystanie w badaniach najnowszej aparatury analitycznej oraz to, że wyniki badań Doktoranta wskazują na możliwość praktycznego wykorzystania efektów jego pracy, wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej. W świetle przedstawionej opinii **wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Piotra Petryka**

Stwierdzam, że przedstawiona do oceny rozprawa naukowa 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). Zgodnie z art. 13 wyżej wymienionej Ustawy, rozprawa doktorska powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazywać ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w danej dyscyplinie naukowej, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Jestem przekonany, że recenzowana praca spełnia stawiane przez ustawę wymagania. Uważam, że przedstawiona rozprawa jest świadectwem opanowania przez Autora warsztatu naukowego w stopniu bardzo wysokim, odpowiada wymaganiom stawianym rozprawom doktorskim w art. 13 ust. 1 cytowanej Ustawy i kwalifikuje Go do nadania stopnia doktora nauk technicznych w dyscyplinie naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. W związku z powyższym 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.



Poznań, 15.11. 2022 rok