

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr Wiolety Stelmach, zatytułowana:
"Mineralizacja i stabilizacja osadów pofermentacyjnych w glebach: ocena za pomocą technik wykorzystujących izotopowy węgla"

Recenzowana rozprawa zawiera 88 pozycji tekstu, 5 tabel i 26 figur, a także 93 pozycje literaturowe, w tym 90 w języku angielsku. Praca podzielona jest na 5 rozdziałów.

W rozdziale pierwszym autorka przedstawia motywy, którymi kierowała się przy podejmowaniu problemu badawczego dotyczącego zagospodarowania osadów pofermentacyjnych generowanych podczas produkcji biogazu. Stwierdza, że problem zarządzania rosnącą ilością osadu fermentacyjnego jest ważny ze względów ekonomicznych i środowiskowych. Ilość osadów wzrośnie ze względu na międzynarodowe regulacje prawne wymuszające rozwój odnawialnych źródeł energii.

Doktorantka uważa, podobnie jak wielu innych naukowców, że jedną z możliwości ich zagospodarowania jest wykorzystanie ich w rolnictwie. Obecne badania wskazują na to, że dodanie takich osadów do gleby poprawia wiele fizycznych i biologicznych właściwości gleby. Dlatego też doktorantka widzi potrzebę podjęcia szczegółowych badań naukowych w celu zidentyfikowania procesów biochemicznych zachodzących w glebie, w celu opracowania zasad stosowania tych osadów dla sekwestracji dużej ilości węgla w glebie i złagodzenia skutków efektu cieplarnianego. Następnie autorka obszernie i szczegółowo przedstawia stan wiedzy na temat procesów mineralizacji gleby i stabilizacji osadu pofermentacyjnego po dodaniu go do gleby. Szczególną uwagę zwraca się na rolę kompleksów organo-mineralnych i zjawisko "*priming efekt*" w procesach mineralizacji i stabilizacji C w glebie. Pod koniec rozdziału omówienie jest znaczenie nowoczesnej metody śledzenia CO₂ (emitowanego w procesie mineralizacji materii organicznej gleby) za pomocą stabilnych i radioaktywnych izotopów węgla w celu określenia źródeł emisji CO₂

Przedstawiony w tym rozdziale przegląd stanu wiedzy w oparciu o 93 prace naukowe nie tylko świadczy o bardzo dobrej znajomości doktorantki w przedmiocie badań, ale stanowił dobrą podstawę do określenia celów i roboczych hipotez sformułowanych w drugim rozdziale. Jest to również dobra podstawa do omawiania wyników badań i formułowania wniosków. Przegląd ten dowodzi także, że przedmiot badań należy do głównego nurtu badań środowiskowych nie tylko w skali kraju.

Rozdział drugi zawiera główne cele i hipotezy tej pracy:

1. Jak zachodzi mineralizacja różnych źródeł C (szlam, węgiel organiczny w glebie i glukoza) po dodaniu osadu pofermentacyjnego do gleby,

2. Czy możliwe jest spowolnienie lub zmniejszenie mineralizacji (tj. zwiększenie stabilizacji C w glebie) poprzez dodanie tlenku żelaza III (Fe_2O_3).

Aby osiągnąć te główne cele, doktorantka sformułowała trzy następujące szczegółowe pytania badawcze, które były podstawą do sformułowania czterech hipotez:

- dodatek osadu pofermentacyjnego do gleby spowoduje intensywną mineralizację szlamu ze względu na jego skład i wysoką dostępność dla mikroorganizmów,
- dodanie osadu pofermentacyjnego powstrzyma rozkład SOC ze względu na preferencje mikroorganizmów do wykorzystania łatwo dostępnych składników pochodzących z osadu C, a więc współzawodnictwo składników C z SOC i ze szlamu,
- jednoczesne dodanie Fe_2O_3 z osadem pofermentacyjnym zmniejszy mineralizację osadu, a przez to zwiększy sekwestrację C substancji organicznych (składników C pochodzących z szlamu) ze względu na wysoką reaktywność i pojemność sorpcyjną metalowych półtoratleników,
- znaczące zmiany w zawartości węgla organicznego w glebie będą następować dzięki dostępnemu dodatkowi C (szlam i glukoza) oraz symulacji mikroorganizmów do mineralizacji OC.

Przedstawione cele badawcze, zadania i hipotezy są sformułowane poprawnie i w sposób pozwalający sądzić, że autorka zna problemy badawcze związane z tematem jej rozprawy, a także ma zdolność do ich postrzegania i pomysłu, w jaki sposób je rozwiązać.

W trzecim rozdziale doktorantka przedstawia charakterystykę materiału użytego do badań oraz metody badań. Wszystkie eksperymenty przeprowadzono tylko w laboratorium w ściśle kontrolowanych warunkach. Najpierw opisane są gleby i rośliny używane do przygotowania materiału do dalszych eksperymentów kładąc akcent na właściwości związane z węglem. Autorka wykorzystowała dwie rośliny C_4 i jedną roślinę C_3 do przygotowania osadu pofermentacyjnego, ponieważ w celu określenia wpływu dodanych substratów do gleby na mineralizację SOC, konieczny jest pofermentacyjny osad pochodzący z roślin C_4 i gleba, na których uprawiano roślinę C_3 . Dwie gleby zostały wybrane przez autorkę: gleba piaszczysta i gleba gliniasta. Ale tak naprawdę są to: „grupa granulometryczna piasek” i „gleba pylasta” (trójkąt Fereta). Dla uproszczenia w dalszej części oceny będę używał terminów stosowanych przez doktorantkę. Następnie omówiono szczegółowo wszystkie metody laboratoryjne oraz metody obliczeniowe i statystyczne. Metody i aparatura stosowane przez autorkę w badaniach są w pełni nowoczesne, pozwalając na bardzo dokładną analizę badanych procesów i wyników eksperymentów.

Wybór metod badawczych, ich szczegółowa dyskusja, a także przygotowanie i realizacja eksperymentów, świadczą o tym, że doktorantka posiada umiejętność organizacji badań niezbędnych do osiągnięcia zamierzonego celu.

Czwarty rozdział (podstawowa część rozprawy) poświęcony prezentacji wyników i ich omówieniu jest podzielony na cztery sekcje.

W pierwszej sekcji doktorantka stwierdza, że w przypadku piasku dodanie osadu pochodzącego z dowolnej rośliny powoduje znaczny wzrost emisji CO₂ bez różnic między roślinami. W przypadku gleby gliniastej wzrost emisji był większy niż w przypadku piasku, ale, ze względu na pochodzenie substratu, najwyższy był w przypadku osadu pochodzącego z buraka cukrowego. Autorka wyjaśniła to zjawisko niższym stosunkiem C / N w przypadku osadu buraka cukrowego. Ale według mnie różnice między stosunkami C / N roślin są zbyt małe. (Więcej pytań dotyczących tego problemu przedstawione jest w szczegółowych uwagach). Dalsze dodawanie Fe₂O₃ nie wpływa na całkowitą emisję CO₂, z wyjątkiem przypadku z osadem z buraków cukrowych, chociaż podczas procesu mineralizacji można zaobserwować niewielkie różnice w emisji CO₂. Bardzo interesujący jest efekt dodania glukozy do mieszaniny gleby i szlamu. Wzrost emisji CO₂ zaobserwowano we wszystkich przypadkach z wyjątkiem szlamu buraczanego, gdy podobnie jak w doświadczeniu z Fe₂O₃ zaobserwowano spadek emisji. Jednak jednoczesne dodanie Fe₂O₃ i glukozy spowodowało w przypadku piasku wzrost emisji we wszystkich typach osadu, natomiast w glebie gliniastej efekt był odwrotny - zmniejszenie emisji. **Jest to bardzo ważne stwierdzenie w dysertacji.**

W drugiej sekcji oceniono wpływ dodatku osadu kukurydzianego z Fe₂O₃ lub bez niego i glukozy na skład izotopowy CO₂ emitowanego z gleby. Wartość ¹³C w CO₂ emitowanego z obu gleb po dodaniu osadu kukurydzianego maleje, jednak nieco bardziej w przypadku gleby piaszczystej niż w przypadku gleby gliniastej. Dalsze dodawanie Fe₂O₃ nie ma już tak dużego wpływu na wartość δ¹³C jednakże nieco silniejszego w przypadku gleby piaszczystej niż gleby gliniastej. Dodanie glukozy bardzo mało różnicuje wartości ¹³δC w CO₂ emitowanego przez obydwie gleby. Doktorantka wyjaśniła przyczynę takich zjawisk w oparciu o aktualny stan wiedzy dotyczący przedmiotu jej badań.

W trzeciej sekcji przedstawione są wyniki wpływu osadu kukurydzianego, Fe₂O₃ i dodatku glukozy na mineralizację i stabilizację źródeł C w glebach. Autorka stwierdza, że dodatek osadu pofermentacyjnego z kukurydzy do gleby powoduje obniżenie mineralizacji SOC, ale bardziej w glebie piaszczystej niż w glebie gliniastej. Emisja CO₂ z osadów w gliniastej

glebie była mniejsza niż z piasku głównie z powodu większych porów w glebie piaszczystej i wyższej zawartości ilu w j glebie gliniastej. Dodatek Fe_2O_3 zwiększa nieco mineralizację SOC, ale znacznie zmniejsza mineralizację OC pochodzącą z osadu pofermentacyjnego. Zjawisko to jest korzystne z punktu widzenia sekwestracji węgla w glebie. Niestety efekt ten jest silniejszy na glebach cięższych niż na glebach piaszczystych, które dominują na obszarach leśnych. Dodatek szlamu kukurydzianego do gleb powoduje zmniejszenie mineralizacji SOC w glebie piaszczystej, ale jej wzrost w glebie gliniastej. Kolejne dodanie Fe_2O_3 spowodowało zmniejszenie mineralizacji C z osadu tylko w gliniastym piasku. Dodatek Fe_2O_3 powoduje po 110 dniach inkubacji zmniejszenie mineralizacji C w obu glebach, ale więcej w gliniastej glebie. Tutaj pożądana byłaby próba odpowiedzi na pytanie, dlaczego takie zjawisko istnieje.

W przypadku dodatku glukozy autorka stwierdza, że nie zaobserwowano żadnego wpływu na SOC, podczas gdy na mineralizację C wywodzącego się z osadu wpływ był i ten wpływ był dodatni i słaby w glebie piaszczystej, natomiast w glebie gliniastej był ujemny, ale silniejszy. Zjawisko to zostało wyjaśnione przez autorkę w sposób jasny i przekonujący.

Czwarta sekcja zawiera prezentację wyników analizy efektu „*priming effect*” podczas procesów dekompozycji osadu pofermentacyjnego i glukozy dodanej do gleby. Autorka stwierdziła, że dodanie osadu kukurydzianego z lub bez Fe_2O_3 wywoływało pozytywny *priming effect* w glebie gliniastej i negatywny w glebie piaszczystej. Dodanie Fe_2O_3 do piaszczystej gleby nie wpłynęło na mineralizację SOC w porównaniu z glebą, do której dodano tylko osad, ale w przypadku gliniastej gleby zaobserwowano nawet zmniejszenie efektu PE. **Wynik ten potwierdza wiedzę z literatury, że efekt *priming effect* jest większy w glebie zawierającej więcej materii organicznej, w szczególności węgla i azotu.**

Powyższe informacje dotyczą pierwszych 30 dnia inkubacji. Po kolejnym dodaniu glukozy zaobserwowano jedynie niewielki wzrost zjawiska PE w obu glebach. Pozostałe cztery wersje zabiegów spowodowały obniżenie wartości PE w przypadku gleby piaszczystej, natomiast w przypadku gleby gliniastej wersja z Fe_2O_3 spowodowała wzrost mineralizacji SOC, ale warianty jedynie z osadem oraz z osadem i glukozą spowodowały spadek wartości PE. Na koniec autorka stwierdziła, że kierunek i wartość PE zależy głównie od składu granulometrycznego gleby, ilości i stosunku węgla do azotu, a także od dostępności węgla w substracie dla mikroorganizmów.

Wyniki badań i ich dyskusja są bardzo rzeczowe, prowadzone z dobrą znajomością tematu i światowego stanu wiedzy. Analiza wyników badań zaprezentowanych w tym rozdziale dowodzi nie tylko rozległej wiedzy doktorantki na temat problemów będących przedmiotem pracy, ale także bardzo ważnej cechy, jaką jest umiejętność krytycznej oceny własnych osiągnięć naukowych na tle stanu wiedzy światowej. Ta dyskusja pokazuje, że

badania będące przedmiotem recenzowanej pracy należą do pionierskich badań zarówno w Polsce, jak i na świecie.

Jednak w tym rozdziale pominięto kwestię, w jaki sposób wyniki badań mogą być wykorzystane w praktyce w aspekcie zwiększenia sekwestracji węgla w glebach leśnych i rolniczych.

Wyniki przedstawione w rozdziale czwartym pozwoliły autorce sformułować wnioski i odpowiedzi na tezy badawcze przedstawione w rozdziale drugim.

Te wnioski są przedstawione w rozdziale piątym.

Pierwsze cztery wnioski pozwalają stwierdzić, że autorka osiągnęła wyznaczone sobie cele. Drugi i trzeci wniosek, mówiący o tym, że dodanie osadu do gleby powoduje tłumienie mineralizacji SOC z jednej strony a dodanie F_2O_3 zmniejsza mineralizację osadu z drugiej strony są bardzo ważne z praktycznego punktu widzenia (sekwestracja węgla w glebie). **Wnioski sformułowane są jasno, logicznie i poprawnie, zgodnie z naukową normą językową.**

Oprócz tych głównych wniosków, autorka sformułowała cztery zestawy dodatkowych wniosków odpowiadających czterem sekcjom wyników przedstawionych w rozdziale trzecim. Te dodatkowe wnioski stanowią bardzo czytelne i zwarte podsumowanie osiągnięć rozprawy zawierające informacje, która hipoteza badawcza jest potwierdzona przez dane osiągnięcie.

W podsumowaniu oceny pracy należy stwierdzić, że:

- praca zajmuje się sprawami ważnymi z punktu widzenia teorii i praktyki oraz wnosi nowe wartości do światowych zasobów wiedzy,
- z merytorycznego punktu widzenia praca charakteryzuje się wysokim poziomem naukowym, rzetelnością, wglądem i jest pionierska, nie tylko w skali krajowej. Praca w pełni odpowiada wymaganiom rozprawy doktorskiej.

Pomimo ogólnie wysokiej oceny recenzowanego dzieła, mam także uwagi szczegółowe zamieszczone poniżej, które autorka powinna wziąć pod uwagę przy przygotowaniu pracy do druku. Jednak uwagi te, głównie formalne, nie obniżają pozytywnej oceny rozprawy.

Biorąc pod uwagę wszystko to, co powiedziałem wyżej składam wniosek do Rady Naukowej Instytutu Agrofizyki PAN o dopuszczenie Wiolety Stelmach do dalszych etapów rozprawy doktorskiej.

Uwagi szczegółowe.

1. Str.5. w3g. Słowo „zmniejszanie” nie jest poprawne. Powinno być odpowiednie względem słowa „przyspieszenie”, bo te słowa odnoszą się do szybkości, tempa. A użyte słowo odnosi się do ilości. Należy użyć słowa: „spowolnienie”.

2. Str.17. zawartość 98,89% i 1,11% izotopów ^{12}C i ^{13}C odpowiednio nie jest naturalną, ale jest to zawartość tych izotopów w kopalnych wapieniach *Belemnitella Americana*. Ich stosunek $^{13}\text{C} / ^{12}\text{C}$ jest mianownikiem w równaniu 1.1.
3. Str.25. Użycie określenia "gleba piaszczysta" i "gleba gliniasta" nie jest poprawne. Materiał użyty do eksperymentów pobrano z jednej warstwy w przypadku obu gleb. Są to grupy granulometryczne. Tak więc w tabeli 3.3 powinno być "piasek" i "głina". W doświadczeniu wykorzystano nie glebę, ale grupy granulometryczne pobrane z pewnej gleby. Termin "gleba" odnosi się do całego profilu. Ponadto pierwsza próbka jest poprawnie nazywana "piaskiem", podczas gdy druga nie jest gliną, ale "pyłem" (patrz trójkąt Fereta). W opisie materiału dobrze byłoby powiedzieć, że materiał został pobrany z poziomu genetycznego tej i tej gleby i że dla uproszczenia określenie "gleba" będzie nadal stosowane zamiast ścisłego określania grupy granulometrycznej. Druga próbka zawiera zbyt dużo pyłu, (ponad 50%), aby można nazwać ją gliną. Ta próbka to po prostu pył (zawiera 86% pyłu).
4. Str. 26. Jaka pojemność wodna: całkowita, połowa czy kapilarna?
5. Str.33, Tab 3.5. Druga kolumna, blok "skład izotopowy C" symbol trzeciej, jest indeks górny: "G-wyprowadzony", ale w kolumnie czwartej jest podane: "mierzony".
6. Str.42. Wąsiki oznaczające błąd standardowy SE na rys. 4.1 są niewidoczne. Również na pozostałych figurach.
7. Str. 42, dół i str.43. góra. Jest napisane: "Wzrost ten był o połowę niższy niż w glebie gliniastej o zmodyfikowanym osadzie buraczanym. Było to spowodowane składem osadu, zwłaszcza ich stosunkami C / N. Osad buraczany miał niższy stosunek C / N, a niższy stosunek C / N powoduje szybszą mineralizację Ryc.3.2", ale z danych w Tabeli 3.2 wynika, że nie ma różnicy między stosunkami C/N buraka cukrowego i kukurydzy oraz między zawartością N w tych osadach. Różnica występuje w przypadku MBC, ale między burakami a sorgo, ale nie między burakami a kukurydzą.
8. Str. 44. Na rysunku, jako tytuł wykresu używane są terminy "gleba piaszczysta" i "gleba gliniasta", ale do opisu zabiegów stosuje się "piasek" - grupa

- granulometryczna i określenie "gleba", która nie nie znaczy, ponieważ jest zbyt ogólnym opisem. Te dwa opisy zabiegów powinny być odpowiednio: piasek i glina lub gleba piaszczysta i gleba gliniasta. Ten komentarz dotyczy wszystkich rycin.
9. Str. 50. Niepotrzebna zmiana kolejności wariantów w opisie dla sandy i loamy. To myli czytelnika przy porównywaniu wyników dla obu gleb.
 10. Str.52, box. Powinno być napisane "Dodatek tylko glukozy zwiększał emisję CO₂ ...", ponieważ istniejąc wyrażenie może sugerować, że ogólnie dodanie glukozy, niezależnie od innych dodatków, powoduje wzrost CO₂.
 11. Str.53. Fig. 4.8. Na lewym wykresie żółta linia jest kropkowana, a nie przerywana.
 12. Str. 53. Ryc.4.8 gleba gliniasta. Co przedstawia cienka zielona linia? Dlaczego zaczyna się od wartości niższej niż dwadzieścia, podczas gdy $^{13}\delta C$ osadu kukurydzianego wynosił 17,9?
 13. Str.53. Ryc. i tekst. Co to znaczy, że "wartości $\delta^{13}C$ w CO₂ wzrosły (dwie linie powyżej rysunku)? Z matematycznego punktu widzenia wartości $\delta^{13}C$ w CO₂ spadły, ponieważ absolutna wartość wzrosła, ale znak jest ujemny. Tutaj potrzebne jest wyjaśnienie, w jaki sposób autorka rozumie wartości ujemne.
 14. Str. 58. Pierwsze dwie linie. Jest napisane: "... nieznacznie wzrosło po 30 dniach (czarne i zielone punkty, ryc. 4.8 i ryc. 4.10) ,, ale czas na ryc. 4.8 kończy się na 30 dniach.
 15. Str.65. Rys. 4.15 i 4.16. Nie ma wyjaśnienia, co oznaczają wielkie litery u góry krat. Litery u góry słupków nie zawsze są zbieżne z informacjami w tekście pod wykresem.

