



Dr hab. inż. Karolina Lewińska, prof. UAM
Instytut Geografii Fizycznej
i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego
Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Poznań, 07.01.2024 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Magdaleny Bednik
z tytułu**

***Czynniki decydujące o degradacji biowęgla w glebie w kontekście możliwości
wykorzystania węgla pirogenicznego jako narzędzia sekwestracji CO₂***

Napisanej pod kierunkiem dr hab. inż. Agnieszki Medyńskiej-Juraszek, prof. uczelni jako
promotorki rozprawy
oraz dr Irminy Ćwieląg-Piaseckiej jako promotorki pomocniczej.

Recenzję opracowano na podstawie pisma Prof. dr hab. Cezarego Kabały, Przewodniczącego Rady
Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego We Wrocławiu
z dnia 17 października 2023 r., w związku z decyzją wspomnianej Rady powołania mnie na
recenzentkę w przewodzie doktorskim mgr inż. Magdaleny Bednik.

Ocena rozprawy doktorskiej

Dysertacja zatytułowana „*Czynniki decydujące o degradacji biowęgla w glebie w kontekście
możliwości wykorzystania węgla pirogenicznego jako narzędzia sekwestracji CO₂*” wykonana
została w Instytucie Nauk o Glebie, Żywnienia Roślin i Ochrony środowiska na Wydziale
Przyrodniczo-Technologicznym Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Przedłożona rozprawa doktorska Pani mgr inż. Magdaleny Bednik składa się z trzech
powiązanych tematycznie recenzowanych publikacji naukowych poprzedzonym wspólnym
streszczeniem (odpowiednio w języku polskim i angielskim):

1. Bednik, M.; Medyńska-Juraszek, A.; Ćwieląg-Piasecka, I. Effect of Six Different Feedstocks on Biochar's Properties and Expected Stability. *Agronomy* **2022**, *12*, 1525. IF₂₀₂₂ = 3,7, punktacja MEiN=100.



2. Bednik, M.; Medyńska-Juraszek, A.; Cwielałg-Piasecka, I. Biochar and Organic Fertilizer Co-Application Enhances Soil Carbon Priming, Increasing CO₂ Fluxes in Two Contrasting Arable Soils. *Materials* **2023**, *16*, 6950. IF₂₀₂₂ =3,4, punktacja MEiN=140.
3. Bednik, M.; Medyńska-Juraszek, A.; Cwielałg-Piasecka, I.; Dudek, M. Enzyme Activity and Dissolved Organic Carbon Content in Soils Amended with Different Types of Biochar and Exogenous Organic Matter. *Sustainability* **2023**, *15*, 15396. IF₂₀₂₂ =3,9, punktacja MEiN=100.

Punktacja MEiN publikacji określona została na podstawie wykazu czasopism zawartego w komunikacie Ministra Edukacji i Nauki z dnia 3 listopada 2023 r.. Łączna liczba punktów osiągnięcia wynosi 340, a sumaryczny wskaźnik IF 11,0.

Doktorantka we wszystkich pracach składających się na osiągnięcie jest autorem wiodącym, co potwierdzają załączone do rozprawy stosowne oświadczenia współautorów. Pani mgr inż. Magdalena Bednik brała udział w opracowywaniu koncepcji oraz metodyki badań, prowadziła analizy laboratoryjne oraz eksperymenty, opracowywała i interpretowała uzyskiwane wyniki wraz z ich graficzną wizualizacją oraz przygotowywała pierwszą wersję manuskryptów. Ponadto, przygotowywała korektę artykułu i odpowiedzi na recenzje. Stopień zaangażowania w poszczególne etapy działań był zróżnicowany, a wkład całościowy wahał się od 50-65%. Wszystkie prace są publikacjami wieloautorskimi.

Oprócz zamieszczonych manuskryptów i oświadczeń, przedłożono do recenzji również rozprawę doktorską. Składa się ona z pięciu rozdziałów oraz spisu literatury i tabelarycznego zestawienia dodatkowej aktywności naukowej Doktorantki.

W opracowaniu tym przedstawiono główne cele pracy jakim było:

1. określenie wpływu rodzaju biomasy stosowanej do produkcji biowęgla na wybrane parametry związane z oceną jego potencjalnej trwałości w środowisku glebowym,
2. określenie wpływu właściwości gleby oraz dodatku egzogennej materii organicznej w postaci materiałów o większej podatności na rozkład mikrobiologiczny na stabilność biowęgla w glebie,
3. określenie możliwości wykorzystania wybranych metod analizy aktywności biologicznej gleby do oceny przemian biowęgla w środowisku glebowym,
4. określenie potencjału biowęgla wytworzonych z różnych typów biomasy do procesów sekwestracji CO₂ w glebie.

Ponadto, Doktorantka przedstawiła hipotezy badawcze, które zweryfikowała w poszczególnych manuskryptach, wchodzących w skład omawianej rozprawy doktorskiej.

W pierwszym artykule zatytułowanym „Effect of Six Different Feedstocks on Biochar’s Properties and Expected Stability” Doktorantka porównała trwałość biowęgla wytworzonych z różnej biomasy, tj. odpadów kuchennych, ściętej trawy pochodzącej z przydomowych ogródków,



fusów z kawy, słomy pszenicy, łupin słonecznika i zrębek drewna bukowego. Wszystkie materiały przekształcono termicznie w tych samych warunkach, a następnie oceniono, bazując na kilku różnych parametrach, trwałość biowęgla w środowisku. Opierając się na wskaźnikach molowych H:C i O:C, ustalono, że biowęglami o najwyższej trwałości są te, których materiałem wyjściowym była skoszona trawa, łupiny słonecznika i bukowe zrębki. Analiza widm w średniej podczerwieni (MIR) wskazała, że trwałość ta związana jest ze wzbogaceniem materiałów w ligninę i celulozę. Natomiast wyniki analizy lotnych związków organicznych nie dały jasnej odpowiedzi, które z nich mogą stanowić wskaźnik trwałości biowęgla. Podjęto także próbę oceny trwałości biowęgla opierając się o zawartości rozpuszczalnego węgla organicznego (DOC) oraz o wodnorozpuszczalnych węglowodanów (WSC) i wykazując, że oba wskaźniki mogą stanowić dodatkową informację o losie biowęgla w glebie.

Drugi manuskrypt pt. "Biochar and Organic Fertilizer Co-Application Enhances Soil Carbon Priming, Increasing CO₂ Fluxes in Two Contrasting Arable Soils" opierał się na doświadczeniu inkubacyjnym prowadzonym na dwóch różnych typach gleb (piasek gliniasty i pył gliniasty), do których dodano biowęgle wytworzone z różnego rodzaju materiałów, opisanych w manuskrypcie pierwszym. Dodatkowym czynnikiem modyfikującym doświadczenie było wprowadzenie egzogennej materii organicznej (EXOC) tj. kompostu, obornika bydlęcego oraz rozdrobnionej świeżej mieszanki koniczyny łąkowej i białej. W różnych odstępach czasu wykonywano pomiary respiracji glebowej, jako stężenia CO₂, a także podjęto się oszacowania strat węgla. Największą respirację glebową zaobserwowano w doświadczeniu z piaskiem gliniastym, z dodatkiem biowęgla pochodzącego z odpadów kuchennych i fusów z kawy (czyli odpadów o najmniejszej trwałości, co określono w pracy numer 1). Obliczone straty węgla były również w tych wariantach największe. Wprowadzenie dodatkowej materii organicznej wzmocniło ten efekt, przy czym największą ilość uwalnianego CO₂ z gleb zaobserwowano po zastosowaniu obornika i świeżej biomasy roślin. Najwyższą intensywność wydzielania CO₂ zarejestrowano w ciągu pierwszych 10 dni, a w dalszym okresie czasu rodzaj zastosowanego dodatku traci na znaczeniu.

W trzeciej pracy zatytułowanej "Enzyme Activity and Dissolved Organic Carbon Content in Soils Amended with Different Types of Biochar and Exogenous Organic Matter" Doktorantka skupiła się na analizie wpływu biowęgla i dodatków egzogennej materii organicznej na aktywność enzymatyczną gleb. W doświadczeniu inkubacyjnym, opisanym już powyżej, aktywność enzymatyczną dehydrogenazy, β-glukozydazy oraz celulazy, a także DOC oznaczano po 30, 60, 90, 180 i 360 dniach. Enzymy te są ważne z punktu widzenia oceny aktywności mikrobiologicznej związanej z transformacją węgla w glebach. Aktywność dehydrogenazy i β-glukozydazy była wyższa w pyle gliniastym, a tylko dla celulazy obserwowano wyższą aktywność w glebach lekkich. Większa aktywność enzymatyczna obserwowana była w glebach po zastosowaniu biowęgla z odpadów kuchennych i fusów z kawy (podobnie jak w artykule nr 2). W wariantach z dodatkiem EXOC, większą aktywność dehydrogenazy i β-glukozydazy oznaczono po wprowadzeniu obornika i świeżej biomasy koniczyny, natomiast wyniki aktywności celulazy były bardzo zróżnicowane.



Analiza DOC również wykazywała duże zróżnicowanie, zarówno biorąc pod uwagę wariant doświadczenia (rodzaj gleby, biowęgla i EXOC), jak i od czasu, w którym pobierano próbki do analizy.

Powyższe artykuły tworzą spójną, logiczną całość. Badania opublikowane w wyżej wymienionych manuskryptach zostały sfinansowane ze środków projektu badawczego Innowacyjny Doktorat pt.: "Czynniki decydujące o degradacji węgla w glebie w kontekście możliwości wykorzystania węgla pirogenicznego jako narzędzia sekwestracji CO₂", którym Doktorantka kierowała. Badania te finansowane były ze środków Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu.

Uwagi merytoryczne

Tekst rozprawy napisany jest poprawnym językiem i poza pewnymi drobnymi błędami przygotowany jest starannie. Sama treść była bardzo interesująca, jednak w przypadku opisu metodyki, jakże istotnej dla późniejszych wyników i wnioskowania, powinna zostać ona w pełni opisana w rozprawie. Uważam także za niewłaściwe odsyłanie czytelnika do poszczególnych manuskryptów, w celu zapoznania się z metodami analitycznymi. Natomiast wszystkie schematy i inne rysunki, nie tylko w rozprawie, ale i w pracach są bardzo dobrze przygotowane. Stanowią niewątpliwie ogromną wartość dodaną opracowań.

Poniżej przedstawiam uwagi i pytania, które nasunęły się w trakcie studiowania rozprawy i manuskryptów Pani mgr inż. Magdaleny Bednik:

1. Z jakiego klucza dobrano świeżo ścięte gatunki koniczyny białej (tu mylnie wskazana koniczyna czerwona jako *Trifolium repens* –s.11 rozprawy) i łąkowej? O ile rozumiem dobór kompostu i obornika, jako często stosowanego dodatku do gleb, o tyle brakuje mi wytłumaczenia doboru trzeciego dodatku. Ponadto, intrygujące jest w jaki sposób i gdzie zbierano koniczynę.
2. W przypadku wyników prezentowanych we wszystkich pracach, ale głównie w artykule pierwszym, uważam, że powinna zostać podana informacja o właściwościach fizykochemicznych materiału wyjściowego, wykorzystanego do przygotowania biowęgla.
3. Dlaczego nie oznaczono azotu w materiale roślinnym koniczyny, skoro wiadomo, że jest ona bogatym źródłem azotu i będzie to wpływać na aktywność mikrobiologiczną. To pytanie dotyczy także innych podstawowych właściwości zastosowanych dodatków (artykuł drugi i trzeci). Brak informacji o zawartości azotu uniemożliwił obliczenie stosunku C:N, który w przypadku obiegu węgla jest kluczowy.
4. Jak ma się wilgotność 20% (wilgotności wagowej? nie jest to wyraźnie zaznaczone w tekście) do powszechnie utrzymywanej Polowej Pojemności Wodnej (PPW) w doświadczeniach inkubacyjnych i wazonowych? Dlaczego przyjęto tak niską wilgotność? Czy przy określaniu wilgotności wagowej uwzględniono gęstość gleb, która jak wiadomo wpływa na wilgotność wagową i jest różna dla piasków i pyłów?



5. Skąd wynika różnica we właściwościach biowęgla np. pomiędzy trawą a słomą z pszenicy, skoro należą do tej samej rodziny i mają podobne wymagania m.in. dotyczące pH? Co więcej, analizując właściwości biowęgla zastanawiające są różnice w całkowitej pojemności wymiany kationów (CEC) i popielności (BC2 – 228 cmol(+)/kg, popielność 31,3% i BC4 – 7,41 cmol(+)/kg, popielność 1,3%). Tak wysoki CEC świadczą o dużej ilości łatwo rozpuszczalnych kationów, przy dużej ilości składników mineralnych, niepodlegających wymianie, znajdujących się w popiele. W związku z tym wynika, że w analizie CEC włączone zostały do sumy kationy uwolnione z tlenków czy soli np. jony Ca, a nie pochodzące z wymiany z kompleksem sorpcyjnym. Szkoda więc, że nie przywołano w wynikach zawartości form tlenkowych kationów wchodzących do CEC, podobnie jak nie podano zawartości CaCO₃, który również może powodować zawyżanie CEC w biowęgłach. I tu nasuwa się kolejne pytanie, czy oznaczona została powierzchnia sorpcyjna biowęgla, która mogłaby ewentualnie zweryfikować te wyniki? Czy była oznaczana kwasowość hydrolityczna i czy została ona włączona do obliczenia CEC?
6. Czy przed wprowadzeniem biowęgla do gleb był on inkubowany lub stabilizowany w inny sposób i jeśli tak, to w jakich warunkach?
7. Zdecydowanie uważam, że jednym z poważniejszych braków w pracy (-ach, artykuły drugi i trzeci) jest brak pomiarów, bądź brak przedstawienia ich wyników, dotyczących zmiany pH w glebach po zastosowaniu biowęgla i porównanie jego wpływu m.in. na aktywność mikrobiologiczną. Odczyn jest jednym z kluczowych czynników wpływających na procesy zachodzące w glebach, zwłaszcza w kontekście przeprowadzonych doświadczeń.
8. W pracy numer dwa Doktorantka wykazała, że respiracja była wyższa w glebach lekkich, natomiast w pracy numer trzy, że aktywność enzymatyczna była wyższa w glebach cięższych. Jak Doktorantka może wyjaśnić odmienne wyniki zaprezentowane w pracach drugiej i trzeciej? Skoro źródłem enzymów są m.in. mikroorganizmy to czy nie powinna występować korelacja pomiędzy większą respiracją i większą aktywnością enzymatyczną? Jeśli nie, to jakie czynniki mogą na to wpływać?
9. Dyskusyjne wydaje się także zamienne stosowanie określenie „sekwestracji CO₂” i „sekwestracji węgla”. Odnoszę wrażenie, że dla Doktorantki są to synonimy. O ile CO₂ jest wbudowywane w materiał roślinny i ulega magazynowaniu w biomasie, o tyle trudno mówić o sekwestracji CO₂ poprzez wprowadzanie biowęgla do gleb. Zwiększając pulę węgla w glebach poprzez wprowadzanie biowęgla do gleb będzie sprzyjać, w pewnych warunkach, sekwestracji, ale węgla, a nie CO₂. Zatem należałoby doprecyzować, że wprowadzenie biowęgla wytworzonego np. z trawy, łupin słonecznika czy zrębek drewna bukowego będzie sprzyjało sekwestracji węgla poprzez zwiększanie jego puli w glebie i ograniczanie tempa mineralizacji materii organicznej.



Uwagi redakcyjne

- Ryciny przedstawione w manuskryptach są słabo czytelne. Mnogość wariantów na jednym wykresie mocno utrudnia śledzenie wyników.
- Dane w tabeli S1, załączonej do manuskryptu drugiego mogłaby zostać nieco lepiej zorganizowana. W moim odczuciu jest nieco chaotyczna.
- W rozprawie doktorskiej występują drobne błędy interpunkcyjne oraz stylistyczne. Jest ich jednak bardzo niewiele.
- Na stronie 8 rozprawy „..., pH, wilgotności i aktywności biologicznej.” brakuje zacytowania źródła podanych informacji.

Wnioski końcowe

Tematyka sekwestracji węgla wpisuje się w aktualne trendy badawcze, zatem wszelkie prace wnoszące nowe informacje oraz narzędzia sprzyjające procesowi zatrzymywania węgla w glebach są niezwykle potrzebne. W wielu publikacjach biowęgiel przedstawiany jest jako wszechstronny dodatek poprawiający właściwości gleb, wielkość plonów czy redukujący stres u roślin w wyniku np. zanieczyszczenia gleb. Doktorantka wykazała jednak, że rodzaj biomasy, z którego jest on wytwarzany, a także udział labilnych frakcji węgla może mieć ogromne znaczenie w kontekście wzrostu tempa mineralizacji materii organicznej w glebach. Ujęte w artykułach zagadnienia są bardzo ciekawe i pomimo wymienionych powyżej uwag, stwierdzam, że przedstawione w rozprawie główne cele badawcze zostały spełnione. Tym samym **w mojej ocenie przedstawiona rozprawa doktorska jest pozytywna**. Ponadto, na uznanie zasługuje także dorobek naukowy Doktorantki. W trakcie swojej jeszcze krótkiej kariery naukowej, Pani Bednik była współautorką 7 recenzowanych publikacji, w tym m.in. w renomowanym czasopiśmie Scientific Reports (IF 4,38) oraz jednego rozdziału w monografii. Sumaryczny IF publikacji niewchodzących w skład rozprawy doktorskiej wynosi 26,08, co uważam za imponujące osiągnięcie i gratuluję Doktorantce zaangażowania. W latach 2022-2023 brała udział także w realizacji grantu finansowanego ze środków NCBiR, przy jednoczesnym realizowaniu własnych badań prowadzonych w ramach pracy doktorskiej, co niewątpliwie wymagało bardzo dobrej organizacji pracy.

Przedstawiona rozprawa doktorska spełnia warunki określone w art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r. poz. 1669) i tym samym **wniosuję do Rady dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu o dopuszczenie Pani mgr inż. Magdaleny Bednik do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Magdalena Lewińska