Prof. dr hab. Anna Karczewska
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Instytut Nauk o Glebie, Żywienia Roślin i Ochrony Środowiska
ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr inż. Beaty RUSTOWSKIEJ
pt.: „Bioakumulacja makro- i mikroelementów w biomasie brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth) na glebach o zróżnicowanym stopniu zniekształcenia"

wykonana w odpowiedzi na pismo pani dr hab. Elżbiety Wójcik-Gront, prof. SGGW, Przewodniczącej Rady Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, z dnia 6 listopada 2025 r. (sygn. BON.5100.33.2025), w związku z uchwałą Rady Dyscypliny, która powierzyła mi funkcję recenzenta.

Ocenianą pracę Doktorantka wykonała w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, w Instytucie Rolnictwa, pod kierunkiem dr. hab. Jerzego Jonczaka, prof. SGGW, oraz promotora pomocniczego: dr. inż. Wojciecha Kwasowskiego.

Wybór problematyki badawczej w dyscyplinie „rolnictwo i ogrodnictwo"

Rozprawa doktorska pani mgr inż. Beaty Rustowskiej stanowi studium nad bioakumulacją makro- i mikroelementów w różnych częściach brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Growth), rosnącej na różnych stanowiskach, w tym na terenach zdegradowanych i poddanych rekultywacji oraz na terenach porolnych. Rozprawa ma charakter wybitnie interdyscyplinarny, łączy zagadnienia z zakresu szeroko rozumianych nauk przyrodniczych i rolniczych. Tematyka badawcza rozprawy najlepiej wpisywałaby się w - usuniętą z wykazu dyscyplin tworzących nauki rolnicze - dyscyplinę „kształtowanie i ochrona środowiska". Wobec braku takiej dyscypliny w obecnej klasyfikacji, zasadne jest umieszczenie jej w dyscyplinie „rolnictwo i ogrodnictwo", gdyż problematyka badań odnosi się bezpośrednio do właściwości gleb, a część obiektów badawczych usytuowano na obszarach porolnych.

Problematyka podjęta przez Doktorantkę ma istotne znaczenie w aspekcie obiegu przyrodniczego pierwiastków, a zwłaszcza ich zawracania do gleby z opadem liści oraz wzbogacania warstwy próchnicznej, z co za tym idzie - kształtowania zasobności, bioróżnorodności i zdrowia gleb, zwłaszcza gleb ubogich. Rozpoznanie czynników decydujących o rozmieszczeniu pierwiastków w różnych częściach biomasy brzozy ma też znaczenie praktyczne w kontekście możliwego wykorzystania i dalszego przetwarzania tej biomasy, np. przez spalanie, produkcję biowęgla, czy kompostowanie.

Wprawdzie w literaturze naukowej wiele uwagi poświęcono już pobieraniu składników pokarmowych z gleb przez brzozę brodawkowatą, to jednak wyniki badań nad składem biomasy, uzyskiwane przez różnych autorów, nie są spójne. Ważne jest zatem uzupełnianie wiedzy w tym zakresie, zwłaszcza w odniesieniu do terenów słabo przebadanych. Takimi terenami są m.in. wydmy śródlądowe ze skrajnie ubogimi glebami, tereny porolne, obszary dawnych pożarzysk a także rekultywowane zwałowiska nadkładu w górnictwie odkrywkowym czy grunty w bliskim sąsiedztwie składowisk popiołów paleniskowych. Podjęcie przez Doktorantkę badań nad biogeochemią pierwiastków na takich właśnie obiektach, zasiedlonych przez brzozę brodawkowatą, uważam za słuszne zarówno z punktu widzenia poznawczego jak i praktycznego.

Struktura i formalna strona rozprawy

Rozprawę doktorską pani mgr inż. Beaty Rustowskiej stanowi zbiór czterech powiązanych tematycznie artykułów naukowych, opublikowanych w języku angielskim w czasopismach zamieszczonych na liście Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego:

- I: Rustowska B. 2022. Long-term wildfire effect on nutrient distribution in silver birch (*Betula pendula* Roth) biomass. *Soil Science Annual*, 73(2), 149943;
- II: Rustowska B. 2024. Nutrient distribution and bioaccumulation in silver birch (*Betula pendula* Roth) biomass grown in nutrient-poor soil. *Trees*, 38, 441-454;
- III: Rustowska B., Jonczak J., Pędziwiatr A. 2024. Nutrient accumulation in silver birch (*Betula pendula* Roth) biomass in a lignite mining area. *Water, Air & Soil Pollution*, 235, 430;
- IV: Rustowska B. Nutrient distribution in silver birch (*Betula pendula* Roth) growing on post-arable soils. *Soil Science Annual*, 75(3), 195922.

Powyższa kolejność i numeracja publikacji są zgodne z wykazem przedstawionym przez Doktorantkę w dokumentacji, zapewne w układzie chronologicznym, choć z punktu widzenia logicznego układu treści, ta kolejność powinna być, w mojej opinii, następująca: II-IV-I-III. Łączna liczba punktów MNiSW odpowiadająca publikacjom składającym się na rozprawę, zgodnie z rokiem opublikowania, wynosi 310, a łączny *Impact Factor* ma wartość 8,8. W dwóch pracach mgr inż. Beata Rustowska jest jedyną autorką, w pozostałych dwóch - jest autorką pierwszą i korespondencyjną, a oświadczenia współautorów oraz samej Doktorantki potwierdzają jej wiodącą rolę w opracowaniu koncepcji badań, zestawianiu i interpretacji wyników, a także w przygotowaniu tekstów publikacji i ich ostatecznej redakcji.

Wszystkie cztery artykuły składające się na rozprawę stanowią spójną całość. Struktura wszystkich prac, ich założenia metodyczne, zastosowane metody badawcze i statystyczne oraz zasadnicze aspekty interpretacji wyników, są we wszystkich czterech publikacjach skonstruowane podobnie, choć pod względem merytorycznym każda z publikacji stanowi odrębne opracowanie naukowe z wyraźnie sformułowanym problemem badawczym i dostosowanym do niego przeglądem literatury oraz doborem odpowiednich obiektów badawczych.

Przedłożony do oceny zbiór publikacji został, zgodnie z Uchwałą Nr 89-2022/2023 Senatu SGGW z dnia 26 czerwca 2023, uzupełniony o polskojęzyczny opis, dla którego w dalszej części recenzji będę używać określenia „autoreferat". Opis ten, przygotowany zgodnie z wytycznymi zamieszczonymi w Zarządzeniu Rektora SGGW Nr 78/2025, zawiera przegląd literatury, sformułowanie celu pracy i hipotez badawczych, ogólny opis metodyki pracy i wyników badań oraz elementy ich syntezy i zbiorczej interpretacji. Opis pracy zawarty w autoreferacie kończy się podsumowaniem oraz trzema rozbudowanymi wnioskami bezpośrednio nawiązującymi do hipotez badawczych.

Pragnę w tym miejscu nadmienić, że – w świetle dostępnej mi interpretacji zapisów ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2024 poz. 1571, z późn. zm.), a w szczególności art. 190 ust. 3 tej ustawy – recenzent formułujący ocenę w postępowaniu w sprawie nadania stopnia doktora powinien ocenić rozprawę, którą (zgodnie z art. 187) jest *„zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych"*. Autoreferat, nie będący zatem integralną częścią rozprawy doktorskiej, nie powinien podlegać ocenie merytorycznej. Dołączenie autoreferatu do zbioru publikacji, zgodnie z Uchwałą Nr 89-2022/2023 Senatu SGGW, oraz jego formalna zgodność z w/w Zarządzeniem Rektora SGGW, stanowią *„inne wymaganie określone przez podmiot doktoryzujący"*, zgodnie z art. 186 ust. 1 pkt 5 ustawy. Merytoryczną ocenę rozprawy sformułuję zatem przede wszystkim w oparciu o analizę samych publikacji, jednak pozwolę sobie również odnieść się do treści i wniosków zawartych w autoreferacie, które w całości materiałów przedłożonych do oceny stanowią wartość dodaną.

Ocena merytoryczna rozprawy

Rozprawa doktorska mgr inż. Beaty Rustowskiej stanowi studium nad akumulacją dziesięciu pierwiastków, w tym sześciu makroelementów (N, P, K, Ca, Mg i S) oraz czterech mikroelementów niezbędnych dla roślin (Fe, Mn, Cu i Zn) w biomasie brzozy brodawkowatej rosnącej na różnych terenach, o zróżnicowanych właściwościach gleb. Obiekty badawcze stanowiły:

- trzy stanowiska na wydmach śródlądowych, gdzie z eolicznych piasków luźnych wytworzyły się gleby skrajnie ubogie w składniki pokarmowe. Analizowano płatowo występujące drzewostany brzozowe o różnym wieku: 12, 20 i 34 lata (publikacja II);
- cztery stanowiska na terenach porolnych, na glebach o różnym uziarnieniu (piasków gliniastych i glin piaszczystych, niecałkowitych). Analizowano drzewostany o wieku 10 i 35 lat (publikacja IV);
- dwa stanowiska na terenach objętych pożarem lasu w roku 1992 oraz stanowisko kontrole poza zasięgiem pożaru. Gleby tych stanowisk wytworzone są z piasków luźnych, a drzewostany brzozowe, o wieku 27 lat, występują lokalnie w obrębie większych zespołów boru sosnowego (publikacja I);
- trzy stanowiska na terenie objętym eksploatacją węgla brunatnego oraz oddziaływaniem osadnika popiołów z elektrowni węglowej – wszystkie z glebami wytworzonymi z piasków luźnych. Stanowiska zlokalizowano na zrekultywowanym zwałowisku nadkładu kopalni oraz w bliskim sąsiedztwie osadnika popiołów. Dodatkowo uwzględniono stanowisko kontrolne, położone w odległości 8-10 km od tych obiektów (publikacja III).

Za cel pracy Doktorantka postawiła sobie przeanalizowanie wpływu różnych czynników środowiskowych, w tym właściwości gleb ukształtowanych w różnych warunkach oraz wieku drzewostanów, na rozmieszczenie wymienionych dziesięciu pierwiastków w poszczególnych organach brzozy, zwanych w autoreferacie „frakcjami": w korzeniach I i II rzędu, w drewnie pnia i korze na wysokości pierśnicy (130 cm), w gałęziach I i II rzędu oraz w liściach w centralnej części korony. W autoreferacie Doktorantka sformułowała 3 hipotezy, których weryfikacji służyły przeprowadzone badania. Dotyczyły one: 1) istotnego wpływu właściwości gleb (ich „zniekształcenia") na bioakumulację pierwiastków w biomasie brzozy, 2) istnienia ścisłych korelacji między stężeniami pierwiastków w glebach i w biomasie, 3) wpływu wieku drzewostanów na akumulację pierwiastków.

Mimo, że badania nad akumulacją różnych pierwiastków w biomasie brzozy brodawkowatej były prowadzone już przez wielu badaczy, to nowymi aspektami, uwzględnionymi w rozprawie, są: 1) szczegółowy podział biomasy brzozy na 7 frakcji, reprezentujących różne organy, 2) próba oceny wpływu różnych form degradacji gleb, określonych terminem „zniekształcenie" (po angielsku „*deformation*") na akumulację makro- i mikroelementów w poszczególnych frakcjach biomasy, a także 3) poszukiwanie zależności między zasobami analizowanych pierwiastków zgromadzonymi w glebie do głębokości 80 cm a stężeniami tych pierwiastków w biomasie. Cennym aspektem pracy jest ponadto próba oceny wpływu wieku drzewostanu na rozmieszczenie pierwiastków w różnych częściach brzozy, zwłaszcza że prace publikowane wcześniej rzucają różne światło na to zagadnienie.

Pobocznym problemem, związanym z tematyką rozprawy i zasygnalizowanym w autoreferacie oraz w przeglądzie literatury we wszystkich publikacjach, jest zdolność brzozy do intensywnego pobierania niektórych pierwiastków, zwłaszcza Zn, i ich akumulacji w biomasie nadziemnej. Ta cecha otwiera potencjalną możliwość wykorzystania brzozy w fitoremediacji terenów zanieczyszczonych z zastosowaniem metody fitoekstrakcji. Jednak w badawczej części pracy Doktorantka nie zajmowała się tym zagadnieniem, a gleby obiektów badawczych zawierały niedoborowe, a nie nadmierne, stężenia mikroelementów.

Metodyka badań została starannie przemyślana i zaplanowana. Wprawdzie wybór do poszczególnych publikacji obiektów badawczych o bardzo różnej genezie utrudnił zbiorczą interpretację wyników

i identyfikację uniwersalnych czynników decydujących o akumulacji pierwiastków w poszczególnych frakcjach biomasy, to jednak szerokie spektrum właściwości siedlisk objętych badaniami pozwoliło na ukazanie złożoności tego zagadnienia.

Stanowiskami badawczymi były powierzchnie 20 x 20 m, w obrębie których wytypowano po 10 reprezentatywnych osobników brzozy. Pobierano z nich materiał roślinny do analiz, a w odległości 1 m od pnia pobierano próbki gleb z 4 warstw, do głębokości 80 cm. Analizowano podstawowe właściwości gleb (uziarnienie, pH, zawartość węgla organicznego) oraz całkowite stężenia 10 pierwiastków stanowiących przedmiot rozprawy. Materiał roślinny, reprezentujący 7 frakcji biomasy, analizowano pod kątem stężeń tych pierwiastków, stosując właściwe metody analityczne. Dla każdego z oznaczanych parametrów obliczano wartości średnie i wskaźniki rozproszenia, charakteryzujące dane stanowisko.

W oparciu o wyniki dotyczące właściwości gleb i stężeń pierwiastków w poszczególnych warstwach gleby obliczono średnią ważoną charakteryzującą zasoby danego pierwiastka w warstwie 0-80 cm. W publikacjach I, III i IV obliczono także współczynniki bioakumulacji pierwiastków BF, będące stosunkiem stężenia danego pierwiastka w biomasie do jego średniego stężenia w warstwie 0-80 cm gleby.

Do interpretacji wyników zastosowane zostały poprawnie dobrane metody analizy statystycznej. Istotność różnic między stanowiskami testowano wykorzystując nieparametryczny test Kruskal-Wallisa uzupełniony o test post-hoc Tukeya, a do oceny korelacji między poszczególnymi parametrami zastosowano nieparametryczny test korelacji Spearmana (w publikacji II) oraz analizę czynnikową PCA (w pozostałych publikacjach). Wyniki niektórych analiz zostały przedstawione w formie tabelarycznej, natomiast większość wyników, zwłaszcza dotyczących stężeń pierwiastków w glebach i biomasie roślin, zilustrowano w formie wykresów słupkowych. Wyniki analizy PCA również przedstawiono głównie w formie graficznej, jako wykresy typu biplot, a w pracy III dodatkowo w formie projekcji indywidualnych danych na płaszczyźnie. W autoreferacie przeprowadzono dodatkowo analizę PCA dla wszystkich obiektów i zaprezentowano jej wyniki w formie wykresu biplot.

Uzyskane zależności pokazały złożoność czynników kształtujących skład pierwiastkowy różnych części biomasy brzozy brodawkowatej. Stężenia niektórych pierwiastków w poszczególnych częściach biomasy wykazywały duże, potwierdzone statystycznie, różnice między obiektami badawczymi. Względnie niewielkim zróżnicowaniem charakteryzowały się stężenia N oraz Cu w biomasie, natomiast duże zróżnicowanie obserwowano w przypadku P oraz Mn. Wyniki analiz potwierdziły też wysokie wartości BF dla Zn, zwłaszcza na stanowiskach o silnie kwaśnych glebach.

W odniesieniu do hipotez postawionych w autoreferacie, analiza wyników badań ze wszystkich obiektów pozwoliła na sformułowanie następujących wniosków: 1) Zróżnicowanie właściwości gleb poszczególnych obiektów (pod wpływem ich „zniekształcenia") może istotnie wpływać na bioakumulację pierwiastków w biomasie brzozy; 2) W skali całego zbioru obiektów badawczych zasadniczo nie stwierdzono istnienia ścisłych korelacji między stężeniami pierwiastków w glebach i w biomasie; 3) Nie stwierdzono też jednoznacznego wpływu wieku drzewostanów na akumulację pierwiastków. Warto jednak podkreślić, że w przypadku analizy różnowiekowych drzewostanów na wydmach (publikacja I) takie zależności potwierdzono. Analiza PCA wykazała istnienie pewnych korelacji między zawartością materii organicznej, Fe oraz Mn w glebach a bioakumulacją pierwiastków, choć – w mojej opinii – te zależności pozostają dyskusyjne. Brak jasnych prawidłowości w obrazie akumulacji pierwiastków w biomasie brzozy Doktorantka tłumaczy m.in. niewystarczającą reprezentatywnością obiektów dla szerokiego spektrum właściwości gleb. Przykładowo fakt, że nie ujawniła się zależność bioakumulacji pierwiastków od odczynu gleb, może być spowodowany silnie kwaśnym odczynem gleb większości stanowisk, z wyjątkiem jednego stanowiska w publikacji III, gdzie odczyn gleby był alkaliczny. Brak jednoznacznych zależności między zawartością pierwiastków w glebach i w biomasie brzozy wynika też z mnogości innych czynników decydujących o dystrybucji i akumulacji pierwiastków w roślinach, w tym takich czynników, które nie

podlegały analizie, jak zmienność w sezonie, zależność od warunków pogodowych, zróżnicowanie specjacji pierwiastków w glebach wytworzonych z różnych skał macierzystych oraz aktywność organizmów glebowych, w tym mikoryz. Doktorantka wskazuje też na znaczenie niejednorodności gleb w obrębie poszczególnych stanowisk, co potwierdziły duże wartości wskaźników rozproszenia. W pełni się zgadzam z powyższą interpretacją.

Niewątpliwie uzyskane wyniki stanowią bogaty wkład do wiedzy na temat bioakumulacji pierwiastków pokarmowych w biomasie brzozy, choć nie udało się przedstawić jednoznacznych, ogólnych trendów i zależności. Niektóre zależności, wskazane w pojedynczych publikacjach, w grupach podobnych obiektów, nie znalazły potwierdzenia w całym zbiorze wyników. Szczegółowe dane zebrane przez Doktorantkę tworzą jednak bardzo obszerny materiał porównawczy do dalszej eksploracji zagadnienia podjętego w rozprawie.

Podsumowując merytoryczną ocenę rozprawy stwierdzam, że przedłożony zbiór publikacji zasługuje na jednoznacznie pozytywną i wysoką ocenę. Fakt, że nie udało się Doktorantce przedstawić ogólnych trendów bioakumulacji pierwiastków w różnych organach brzozy, nie umniejsza wartości rozprawy. Przeciwnie, wskazuje na złożoność czynników, które decydują o przebiegu procesów biogeochemicznych. W dyskusji zamieszczonej w poszczególnych publikacjach, a także w autoreferacie, Doktorantka zaprezentowała wnikliwe podejście do wyników badań i umiejętność krytycznej ich analizy.

Uwagi i wątki dyskusyjne

Mimo, że całość rozprawy oceniam bardzo wysoko, to jednak – z obowiązku recenzenta – pozwolę sobie przedstawić uwagi, które nasunęły mi się podczas lektury poszczególnych publikacji oraz autoreferatu. Niektóre z tych uwag mają charakter polemiczny, a Doktorantka zapewne podejmie z nimi dyskusję.

1. Mam zastrzeżenia do tytułu rozprawy, a w szczególności do użycia w nim określenia „stopień zniekształcenia gleb", i odpowiadającego mu angielskiego terminu „*soils with varying degree of deformation*". Termin „zniekształcenie" zasadniczo dotyczy niekorzystnych fizycznych zmian powierzchni. W ocenianej rozprawie takich aspektów degradacji gleb nie analizowano. W mojej opinii należałoby tu raczej mówić o glebach „przekształconych", lub „zmienionych". Ponadto Doktorantka nie analizowała różnych „stopni", czy „gradientu" niekorzystnych zmian, może z wyjątkiem pracy II, gdzie analizowano 3 grupy wiekowe drzewostanów na wydmach. Trudno jednak mówić o zniekształceniu gleb pod wpływem wieloletniego oddziaływania brzozy.
   Rozumiem, że tytuł rozprawy został już zatwierdzony przez Radę Dyscypliny, ale czuję się w obowiązku przedstawienia powyższej uwagi.
2. Wykaz publikacji ponumerowano (I-IV) w układzie chronologicznym, a nie logicznym, co nieco utrudnia lekturę rozprawy jako całości.
3. Wprawdzie artykuły składające się na rozprawę były już recenzowane na etapie przygotowania do publikacji, to jednak brakuje mi w nich bliższych informacji o walidacji metod analitycznych, w tym danych o certyfikowanych materiałach referencyjnych wykorzystanych przy analizie gleb oraz roślin.
4. Mam zastrzeżenia dotyczące sposobu podawania wyników niektórych analiz, ze zbyt dużą liczbą cyfr znaczących. Wyniki pojedynczych pomiarów należy podawać z precyzją odpowiadającą niepewności analitycznej, a wartości obliczone w oparciu o wyniki pomiarów (np. stężenia pierwiastków w glebie) nie mogą zawierać większej liczby cyfr znaczących niż to wynika z niepewności pomiaru najmniej precyzyjnego (np. naważki). W przypadku oznaczania stężeń pierwiastków w glebie lub biomasie roślin zwykle bezzasadne (i błędne) jest podawanie wyników z liczbą cyfr znaczących większą niż 3 (maksymalnie 4). Analogiczne zasady dotyczą też przedstawiania średnich i odchyleń. Nie jest zatem poprawne przedstawianie stężeń K, Ca, czy Fe w glebach w postaci liczb zawierających 5 cyfr

znaczących. Dotyczy to tabel nr 3 i omawiania wyników w tekście we wszystkich publikacjach stanowiących rozprawę. Niestety, ta ważna zasada jest coraz częściej ignorowana przez recenzentów i redaktorów czasopism. Mój krytyczny komentarz w tej sprawie ma na celu przede wszystkim zwrócenie uwagi Doktorantki na poprawny sposób prezentowania wyników badań w jej przyszłej pracy naukowej.

5. Uwaga dyskusyjna: w analizie zależności między właściwościami gleb i bioakumulację pierwiastków brała Pani pod uwagę średnie (ważone) stężenia pierwiastków w glebie do głębokości 80 cm. Czy takie podejście jest powszechnie stosowane w podobnych pracach? Wiadomo, że korzenie drzew nie są rozmieszczone równomiernie w glebie do głębokości 80 cm. Czy nie bardziej zasadne byłoby uwzględnienie w analizie płytszej warstwy gleby?

6. Jednym z czynników utrudniających łączną interpretację wyników z czterech publikacji jest zmienność sezonowa oraz zależność od pogody, o czym Doktorantka pisze w autoreferacie. Czy istnieją dane literaturowe dotyczące tych zależności w odniesieniu do akumulacji makro- i mikroelementów w biomasie brzozy lub innych gatunków roślin?

7. Szkoda, że w analizie PCA, wśród czynników glebowych, nie uwzględniono parametru charakteryzującego zdolność sorpcyjną lub uziarnienie gleb. Dotyczy to zwłaszcza publikacji IV, w której gleby poszczególnych stanowisk miały zróżnicowane uziarnienie.

8. Dlaczego w przeprowadzonych badaniach oznaczano pH w wodzie, a nie na przykład w 0.01M $CaCl_2$ lub 1M KCl? Czy taka decyzja miała jakieś uzasadnienie?

9. W tytule publikacji III oraz w omówieniu tej publikacji wskazany został jeden rodzaj działalności przemysłowej, mianowicie górnictwo węgla (*lignite mining*), choć stanowiska badawcze zlokalizowano nie tylko na terenie zwałowiska nadkładu górniczego, ale też w sąsiedztwie osadnika popiołów elektrownianych, obiektu niezwiązanego z górnictwem. Szkoda, że recenzenci tej publikacji nie zwrócili na to uwagi, bo – oczywiście – tej usterki nie można już usunąć.

10. Niektóre stwierdzenia sformułowane w oparciu o wyniki analizy PCA, zamieszczone w rozdziale 5.3. autoreferatu, są dla mnie dyskusyjne. Dotyczy to m.in. tezy o istnieniu silnej korelacji między zawartością węgla organicznego w glebach i wiekiem drzewostanów a stężeniami niektórych pierwiastków w biomasie brzozy. Może należałoby sprawdzić te zależności w oparciu o analizę pojedynczych korelacji Spearmana (jak w artykule II). Jest to tylko luźna sugestia.

11. Mam zastrzeżenia dotyczące zaliczenia brzozy brodawkowatej do hiperakumulatorów cynku. W profesjonalnej literaturze (Reeves, van der Ent) przyjmuje się progowe dla hiperakumulacji stężenie Zn w biomasie na poziomie 0,3 %, a wcześniej za wartość progową uważano 1% (za Bakerem). Badania przeprowadzone przez Doktorantkę potwierdziły wprawdzie wysokie wartości współczynnika BF dla Zn, jednak najwyższe notowane stężenia Zn w biomasie nadziemnej były 10-krotnie niższe od progu hiperakumulacji.

12. Zamieszczenie w przeglądzie literatury wątku fitoremediacji gleb zanieczyszczonych, z zastosowaniem brzozy, można było śmiało pominąć. W tekście dotyczącym tej problematyki – zarówno w publikacjach, jak i w autoreferacie - znalazły się nieścisłości, dlatego pragnę uczulić Doktorantkę na precyzję sformułowań w tym zakresie, Wymagania wobec roślin, stosowanych w fitoremediacji gleb zanieczyszczonych toksycznymi pierwiastkami, są różne zależnie od wyboru strategii fitoekstrakcji bądź fitostabilizacji.

13. Do polskiego tekstu autoreferatu wkradły się pewne niezgrabne lub nieprecyzyjne sformułowania, które należałoby przeredagować. Do takich sformułowań należą: „drzewa porastające gleby..." albo stwierdzenie, że „w opadłych liściach dominują makroelementy: N, P, K, Ca i Mg" (podczas gdy

wskazane pierwiastki stanowią zaledwie kilka procent składu biomasy, a jej głównym składnikiem jest bez wątpienia węgiel).

Wymienione wyżej uwagi krytyczne nie wpływają na wysoce pozytywną ocenę rozprawy. Dotyczą one w znacznej mierze jedynie autoreferatu, a tylko niektóre odnoszą się do tworzących rozprawę publikacji, które zostały przygotowane bardzo rzetelnie.

Podsumowanie

Zadaniem recenzenta jest ocena, czy rozprawa doktorska stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, czy treści zawarte w rozprawie prezentują wiedzę teoretyczną Doktorantki w odnośnej dyscyplinie naukowej i czy potwierdzają umiejętność samodzielnego prowadzenia przez nią pracy naukowej. Stwierdzam, że zarówno części wstępne publikacji składających się na rozprawę, zawierające przegląd literatury, jak i trafna argumentacja przedstawiona w dyskusji wyników, nawiązująca do literatury, dowodzą **dobrze usystematyzowanej wiedzy teoretycznej** Doktorantki, dotyczącej właściwości gleb oraz czynników glebowych warunkujących pobieranie składników odżywczych (makro- i mikroelementów) przez rośliny. Doktorantka potwierdziła też dużą wiedzę dotyczącą wymagań siedliskowych brzozy brodawkoatej (*Betula pendula* Roth) oraz specyficznych cech tego gatunku decydujących o akumulacji różnych pierwiastków w biomasie.

Wysoki poziom publikacji przedłożonych do oceny świadczy o dojrzałości Doktorantki jako badacza i potwierdza **umiejętność prowadzenia przez nią pracy naukowej**. Fakt, że dwie spośród ocenianych publikacji są samodzielne, pozwala mi stwierdzić, że mgr inż. Beata Rustowska potrafi **samodzielnie** prowadzić pracę naukową. W mojej ocenie Doktorantka uzyskała wystarczające przygotowanie do planowania doświadczeń naukowych z zakresu nauk rolniczych i przyrodniczych, odpowiedniego doboru metod badawczych, a także podejmowania dyskusji wyników i ich interpretacji w odniesieniu do literatury, z należnym podejściem krytycznym. We wszystkich czterech publikacjach, składających się na rozprawę doktorską, uwagę zwraca profesjonalnie przeprowadzona dyskusja wyników, z rzetelnym nawiązaniem do literatury. Dobrego przygotowania Doktorantki do pracy naukowej dowodzi także jej pozostały dorobek, a zwłaszcza uczestnictwo w projektach, zagraniczne staże naukowe w Hiszpanii i Słowacji oraz aktywne uczestnictwo w co najmniej ośmiu konferencjach naukowych w kraju i za granicą.

Badania przedstawione w rozprawie stanowią istotny wkład do wiedzy dotyczącej akumulacji pierwiastków odżywczych w biomasie roślin i zawierają oryginalną, dobrze udokumentowaną analizę problemu naukowego sformułowanego w tytule pracy. Badania mgr inż. Beaty Rustowskiej stanowią **oryginalny wkład do rozwiązania problemu naukowego** polegającego na analizie czynników wpływających na bioakumulację makro- i mikroelementów w biomasie brzozy brodawkowatej na glebach o zróżnicowanych właściwościach.

W mojej opinii Doktorantka znakomicie poradziła sobie z interpretacją bardzo dużej liczby wyników analiz, które na pierwszy rzut oka mogły wydawać się niespójne. Zastosowała w tym celu odpowiednio dobrane narzędzia statystyczne. Trafnie wskazała też dodatkowe czynniki, które nie były objęte badaniami, a mogły wpłynąć na uzyskane wyniki. Umiejętność krytycznej analizy wyników i analityczne poszukiwanie przyczyn niezgodności wyników z postawionymi hipotezami, to bardzo cenne cechy, które powinien posiadać naukowiec. Mgr inż. Beata Rustowska wykazała, że posiada te cechy. Pragnę też dodać, że kilkakrotnie miałam okazję śledzić jej wystąpienia konferencyjne, wygłaszane swobodnie w języku polskim i angielskim. Dowodziły one ugruntowanej wiedzy i wysokich kompetencji w zakresie prowadzenia dyskusji naukowej. Wysoce pozytywna ocena rozprawy doktorskiej, jak i wskazane wyżej dodatkowe kwalifikacje Doktorantki, skłaniają mnie do **wnioskowania o wyróżnienie**.

Wniosek końcowy

Z pełnym przekonaniem stwierdzam, że rozprawa doktorska pani mgr inż. Beaty Rustowskiej pt. „Bioakumulacja makro- i mikroelementów w biomasie brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth) na glebach o zróżnicowanym stopniu zniekształcenia" spełnia wszystkie warunki określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2024 poz. 1571, z późn. zm.). Na ręce pani dr hab. Elżbiety Wójcik-Gront, prof. SGGW, Przewodniczącej Rady Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo w Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, składam zatem pozytywną ocenę rozprawy wraz z wnioskiem do Rady Dyscypliny o dopuszczenie pani mgr inż. Beaty Rustowskiej do dalszych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora w dziedzinie nauk rolniczych w dyscyplinie rolnictwo i ogrodnictwo. Jednocześnie, w nawiązaniu do argumentacji, którą przedstawiłam powyżej, wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.

Wrocław, 8 stycznia 2026 r.

Anna Skarżyńska
.....
podpis recenzenta

Prof. dr hab. Anna Karczewska
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Instytut Nauk o Glebie, Żywienia Roślin i Ochrony Środowiska
ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław

Wrocław, 11 stycznia 2026 r.

Szanowna Pani
dr hab. Elżbieta Wójcik-Gront, prof. SGGW
Przewodnicząca Rady Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo
Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Szanowna Pani Profesor,

W odpowiedzi na pismo z dnia 6 listopada 2025 r. (sygn. BON.5100.33.2025), w związku z uchwałą Rady Dyscypliny Rolnictwo i Ogrodnictwo, która powierzyła mi funkcję recenzenta rozprawy doktorskiej mgr inż. Beaty Rustowskiej pt.: „Bioakumulacja makro- i mikroelementów w biomasie brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth) na glebach o zróżnicowanym stopniu zniekształcenia", przesyłam wydruk sporządzonej przeze mnie recenzji. Recenzja jest pozytywna i zawiera wniosek o wyróżnienie.

Jednocześnie cyfrowe odwzorowanie (skan) recenzji przesyłam na adres email: bon@sggw.edu.pl

Z poważaniem

Anna Karczewska

Nad.
Anna Karczewska
Instytut Nauk o Glebie,
Żywienie Roślin i Ochrony Środowiska
Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
50-357 Wrocław, ul. Grunwaldzka 53

R

(00)859007734313843722

(00)859007734313843722

2025

Poczta Polska
Opłata pobrana 10 zł 30 gr

WROCŁAW 54
13012026
BE

KANCELARIA GŁÓWNA SGGW
2026 -01- 15
WPŁYNĘŁO DNIA -4-

PRIORYTET

Biuro Obsługi Nauki
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
w Warszawie
ul. Nowoursynowska 166
02-787 WARSZAWA

RPW/973/2026 N
Data:2026-01-15