

prof. dr hab. Marta Pogrzeba
Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych
ul. Kossutha 6
40-844 Katowice

Katowice, 18.09.2025 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej Pani **mgr Dominiki Gmur**
pt. **„Ocena występowania pierwiastków ziem rzadkich w glebach i odpadach oraz
możliwości ich odzysku w procesie fitoekstrakcji”**

(w języku angielskim „Evaluation of the occurrence of rare earth elements in soils and waste
and potential for their recovery through phytoextraction”)

wykonanej w Zakładzie Gleboznawstwa i Analiz Środowiskowych, w Instytucie Uprawy
Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowym Instytucie Badawczym w Puławach,
przygotowana pod kierunkiem dr hab. Grzegorza Siebielca, prof. IUNG-PIB.

Podstawa opracowania recenzji

Recenzja została przygotowana w odpowiedzi na pismo (RN-120/2025)
Pana prof. dr hab. Janusza Podleśnego, Zastępcy Przewodniczącego Rady Naukowej IUNG-PIB,
z dnia 8 września 2025 roku.

Ogólna charakterystyka rozprawy doktorskiej

Powierzona mi do recenzji rozprawa doktorska Pani mgr Dominiki Gmur została wykonana
pod opieką naukową promotora dr hab. Grzegorza Siebielca, prof. IUNG-PIB. Opisane
w rozprawie doktorskiej badania były finansowane z grantu badawczego NCN OPUS, „Badanie
środowiskowych skutków występowania pierwiastków ziem rzadkich oraz antymonu i wanadu
w glebach i odpadach”, nr projektu 2019/35/B/ST10/03244, których kierownikiem był
Pan dr hab. Grzegorz Siebielec, prof. IUNG-PIB, zaś Doktorantka była jednym z wykonawców.

Biorąc pod uwagę, że wszystkie publikacje zawarte w przedstawionej mi do oceny rozprawie
doktorskiej zostały rzetelnie opracowane i pozytywnie ocenione przez recenzentów
w procesie publikacyjnym, skupię się na ocenie formalnej oraz merytorycznej rozprawy
doktorskiej.

Ocena formalna

Przedstawiona do oceny dysertacja naukowa mgr Dominiki Gmur, zgodnie z ustawą z dnia
14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule
w zakresie sztuki z późniejszymi zmianami (tekst jednolity – Dz. U. 2017 r., poz. 1789), stanowi
cykl trzech powiązanych tematycznie oryginalnych prac. Rozprawę doktorską opatrzone
tytułem „Ocena występowania pierwiastków ziem rzadkich w glebach i odpadach oraz

możliwości ich odzysku w procesie fitoekstrakcji”, zaś przedział czasowy publikacji manuskryptów to lata 2022 – 2025.

Dysertacja, napisana w języku polskim liczy 120 stron. W skład jej wchodzi zbiór trzech spójnych artykułów:

1. **Gmur D.**, Siebielec G. 2022. Phytoextraction of Rare Earth Elements. Polish Journal of Agronomy, 50, 3–11, **punkty MNiSW: 20**;

2. **Gmur D.**, Siebielec G., Pecio M. 2025. Differences in Accumulation of Rare Earth Elements by Plants Cultivated in Soil and Substrates from Industrial Waste Materials. Plants, 14(4), 589., **IF: 4.1, punkty MNiSW: 70**;

3. **Gmur D.**, Siebelec G., Pecio M. Chelate-induced accumulation of rare earth elements in plants grown on soil and ash-based growing media. Current Agronomy, 2025, 2, 1 – 17, **punkty MNiSW: 20**.

Doktorantka we wszystkich pracach jest pierwszym autorem oraz autorem korespondencyjnym. Sumaryczny IF dysertacji wynosi 4.1, zaś sumarycznie punkty MNiSW to 110. Wkład Doktorantki w powstanie tych publikacji wynosi od 65% do 85%, co wskazuje na jej wiodącą rolę w prowadzeniu przedstawionych w rozprawie doktorskiej badań. Potwierdzają to załączone do dysertacji oświadczenia wszystkich współautorów publikacji, w których jednoznacznie wskazano na rolę Doktorantki w opracowaniu koncepcji badań, wykonanie analiz, opracowanie danych, interpretację wyników oraz przygotowanie manuskryptów. Cykl publikacji poprzedzony został szeroko przedstawionym wstępem do badań, który obejmuje wprowadzenie do istoty problemu zarówno w zakresie źródeł i wpływu pierwiastków ziem rzadkich na środowisko i organizmy żywe oraz charakterystykę procesu fitoekstrakcji metali ziem rzadkich i ocenę efektywności procesu z wykorzystaniem współczynników translokacji i biokoncentracji. Sformułowano jedną hipotezę badawczą oraz jeden cel główny uzupełniony trzema celami szczegółowymi. Kolejne istotne elementy dysertacji stanowią opisy materiału badawczego, wykorzystanych metod badawczych, uzyskanych wyników badań oraz sześć sformułowanych wniosków. Rozprawa zakończona jest zwięzłymi i starannie przygotowanymi streszczeniami w językach polskim i angielskim oraz spisem 59 pozycji najnowszej literatury.

Ocena merytoryczna

Znaczenie metali ziem rzadkich (REE) w gospodarce wzrasta, zaś ich dostępność dramatycznie maleje. Takie sformułowanie potwierdza wielu naukowców zajmujących się tematyką występowania metali ziem rzadkich w środowisku, jak i popytem na światowych rynkach oraz wzrastającymi gałęziami przemysłu wykorzystujące REE, bez których nie będą one tylko konkurencyjne, ale wykluczona jest ich innowacyjność i działalność. Czy światowa gospodarka może działać bez metali ziem rzadkich? Odpowiedź brzmi: NIE. Do grupy pierwiastków ziem rzadkich zaliczamy łącznie 17 pierwiastków, w tym 2 skandanowce (skand i itr) i wszystkie lantanowce (lantan, cer, praeodym, neodym, promet, samar, europ, gadolin, terb, dysproz, holm, erb, tul, iterb i lutet). Powyższe pierwiastki możemy jeszcze podzielić na metale lekkie

i ciężkie. Ponad 95% występujących na Ziemi pierwiastków ziem rzadkich to 4 metale lekkie (cer, lantan, neodym i prazeodym). Udział pozostałych 13 pierwiastków ciężkich wynosi łącznie mniej niż 5% i faktycznie w tym przypadku ich nazwa zwyczajowa pasuje do nich doskonale. 17 pierwiastków zaliczonych do grupy metali ziem rzadkich, w tym lantanowce, skand i itr, są fundamentem nowoczesnych technologii – od samochodów elektrycznych, przez elektronikę, medycynę, po systemy obronne. Szacuje się, że już w 2030 r. światowy roczny popyt na same magnesy ziem rzadkich tylko do budowy samochodów elektrycznych sięgnie nawet 70 tys. t, podczas gdy jeszcze w 2019 r. branża motoryzacyjna potrzebowała ok. 5 tys. t tego surowca. Do tego trzeba doliczyć co najmniej ponad 100 tys. t metali rzadkich, które będą niezbędne przy produkcji obrabiarek, robotów czy różnych elementów związanych z wytwarzaniem energii odnawialnej. Nazwa „metale ziem rzadkich” nie pochodzi wbrew pozorom od ich niewielkiego udziału w litosferze, ale od charakterystyki ich występowania, utrudniającej efektywne wydobycie tych pierwiastków. Największe udokumentowane złoża metali ziem rzadkich występują w Chinach, Stanach Zjednoczonych, Birmie, Wietnamie, Australii, Brazylii i Rosji. Wielkość złóż nie przekłada się na opłacalne możliwości wydobycia znanymi dotychczas metodami. Dlatego największymi producentami związków metali ziem rzadkich są Chiny (90% światowego udziału), Stany Zjednoczone i Brazylia. W Europie największe złoża metali ziem rzadkich, które nadają się do eksploatacji, posiada Szwecja.

Polska na chwilę obecną nie posiada rozpoznanych złóż metali ziem rzadkich nadających się do wydobycia. Stwierdzono występowanie tych pierwiastków w Górach Świętokrzyskich, jednak ich rozproszenie nie pozwala na opłacalne wydobycie. Prowadzone są prace nad odzyskiem tych metali z odpadów produkcyjnych z przemysłu wydobywczego (miedź), energetycznego (popioły lotne ze spalania węgla) czy odpadów elektronicznych. Najbardziej zaawansowane są badania koncernu KGHM dotyczące pozyskiwania skandu, znajdującego się w odpadach poprodukcyjnych miedzi, jednak na chwilę obecną nie ma opracowanej technologii jego efektywnej produkcji.

Wykorzystana przez Doktorantkę metoda fitoekstrakcji metali nie jest metodą nową, gdyż już w ubiegłym wieku była stosowana do oczyszczania gleb z metali ciężkich. Ogólnie proces fitoremediacji, zwany również zieloną remediacją, jest biologiczną metodą oczyszczania gleb opierającą się na aktywności roślin i mikroorganizmów z nimi związanych, które mają zdolność do degradacji (fitodegradacja), immobilizacji (fitostabilizacja) lub usuwania zanieczyszczeń z gleby (fitoekstrakcja, fitouwalnianie). Technologia ta została po raz pierwszy zastosowana w Stanach Zjednoczonych w latach 60-tych ubiegłego wieku, a intensywne badania rozpoczęto od początku lat 90-tych. Wśród niewątpliwych zalet tej metody wyróżnić można możliwość stosowania jej zarówno *ex situ* jak i *in situ*, jednak w ograniczonym zakresie stężeń zanieczyszczeń, które nie mogą przekraczać poziomu tolerancji wykorzystywanych organizmów oraz niskie koszty wdrożenia. Duże znaczenie ma również niewielka inwazyjność wobec środowiska oraz wysoki poziom społecznej akceptacji. Często mówi się o tzw. „zrównoważonej remediacji”, jako że termin ten oznacza oczyszczanie terenu z zastosowaniem praktyk uwzględniających zasady zrównoważonego rozwoju. Główną wadą technologii fitoremediacji jest zależność efektywności od zawartości i biodostępności

zanieczyszczeń oraz w odniesieniu do fitoekstrakcji zazwyczaj długi czas potrzebny do uzyskania oczekiwanego efektu oczyszczenia. Ponadto, fitoekstrakcja generuje zanieczyszczoną biomasę, która musi być poddana bezpiecznym dla środowiska procesom utylizacji. Koszt wdrożenia fitoremediacji (w zależności od docelowego przeznaczenia terenu) to około jednej dziesiątej do jednej trzeciej kosztu tradycyjnych technologii oczyszczania (metody fizyczne lub chemiczne). Strategia taka wydaje się być więc najlepszym rozwiązaniem przy oczyszczaniu lub stabilizacji zanieczyszczeń na obszarze Europy Środkowej i Wschodniej. W ostatnich latach mówi się również o fitogórnictwie (phytomining) czyli wykorzystaniu roślin do ekstrakcji cennych metali z gleby. Polega na uprawie roślin pobierających z gleby ponadnormatywne stężenia metali czyli hiperakumulatorów. Te rośliny zostały dobrze przez Doktorantkę opisane w jednym z podrozdziałów dotyczących procesu fitoremediacji. Metale pobrane przez hiperakumulatory mogą być odzyskiwane z "bio-rud" roślinnych, co stanowi nową, bardziej zrównoważoną metodę wydobycia cennych pierwiastków.

Zaproponowana przez Doktorantkę metoda fitoekstrakcji metali z gleb czy odpadów mimo, iż nie jest ideą nową to wykorzystana do pozyskania wysoce pożądaných w gospodarce, metali ziem rzadkich, stanowi interesujące rozwiązanie, zwłaszcza jeżeli dotyczy terenów zanieczyszczonych czy odpadów poprzemysłowych zawierających te pierwiastki.

Podjęcie w dysertacji tematyki metali ziem rzadkich i oceny racjonalnych sposobów ich pozyskiwania jest nie tylko ważne w obecnej sytuacji geopolitycznej, uniezależnienia się rozwijających się sektorów gospodarki od Chin, ale również wzmacniania procesu ich efektywnego odzyskiwania z odpadów we wdrażanej przez UE idei gospodarki obiegu zamkniętego, gdzie odpad jest surowcem.

Sformułowana hipoteza badawcza, że alternatywnym źródłem pierwiastków ziem rzadkich mogą być składowiska różnych typów odpadów przemysłowych a zastosowanie odpowiednich gatunków roślin oraz dodatków ułatwiających translokację REE z podłoża do tkanek roślin może przyczynić się do optymalizacji metod ich (fito)odzysku ze środowiska, odpowiada wyzwaniom naszych czasów w zakresie poszukiwania alternatywnych metod ich pozyskania. Tematyka rozprawy jest zatem bardzo aktualna, a wyniki badań wypełniają lukę poznawczą w zakresie wykorzystania procesu fitoremediacji do pozyskiwania pierwiastków ważnych dla gospodarki.

Poza trzema publikacjami ważną częścią merytoryczną pracy jest wprowadzenie do istoty problemu. We wstępie Autorka szeroko przedstawiła problem metali ziem rzadkich, ich poziom w glebach, znaczenia dla gospodarki, możliwości wykorzystania procesu fitoremediacji oraz związanych z nim współczynników pozwalających na klasyfikację przydatności do procesu fitostabilizacji czy fitoekstrakcji. Ta część dysertacji świadczy o dobrym rozpoznaniu problemu, jest nadpisana zwięźle i zrozumiale.

Przeprowadzone studia literaturowe pozwoliły na sformułowanie hipotezy badawczej, która jest logicznie sformułowana, ale mam uwagę do jej opisu (3 zdania). Moim zdaniem powinny zostać sformułowane dwie hipotezy: (1) „Alternatywnym źródłem pierwiastków ziem rzadkich (REE) mogą być składowiska różnych typów odpadów przemysłowych”

i (2) „Zastosowanie odpowiednich gatunków roślin oraz dodatków ułatwiających translokację REE z podłoża do tkanek roślin może przyczynić się do optymalizacji metod ich (fito)odzysku ze środowiska”. Dopuszczałabym również wyznaczenie jednej hipotezy, ale napisanej w postaci łącznej, tak jak napisałam w powyższym opisie – „Alternatywnym źródłem pierwiastków ziem rzadkich (REE) mogą być składowiska różnych typów odpadów przemysłowych a zastosowanie odpowiednich gatunków roślin oraz dodatków ułatwiających translokację REE z podłoża do tkanek roślin może przyczynić się do optymalizacji metod ich (fito)odzysku ze środowiska”.

Dla zweryfikowania hipotezy wyznaczono jeden cel naukowy i trzy cele szczegółowe. **Cele naukowe dysertacji są poprawnie i logicznie sformułowane, zaś etapowy plan badawczy zaplanowano skrupulatnie w oparciu o najnowsze badania w obszarze zarówno procesu fitoekstrakcji, dodatków doglebowych, jak i wykorzystanych roślin.** Trzyetapowe badania prowadzono w warunkach kontrolowanych, w tym w etapie pierwszym określono zawartości REE w odpadach z gałęzi przemysłu i glebach, zaś w doświadczeniach z roślinami, weryfikowano nie tylko różnice w zawartości REE (La, Ce, Eu oraz Gd) pomiędzy gatunkami (badano 8 gatunków roślin), ale również wpływ dodatków doglebowych (chelatuujących) zwiększających pobieranie metali przez rośliny (badano 3 gatunki roślin). W doświadczeniach jako podłoże wykorzystano glebę w różnym stopniu zanieczyszczoną REE, podłoża powstałe na bazie popiołu lotnego i odpadu poflotacyjnego, glebę wzbogaconą chlorkami lantanowców oraz mieszkę popiołu lotnego, kompostu i torfu. Dodatkowo w części eksperymentów zastosowano chelaty: CA, EGTA oraz EDTA. Tak szeroki wachlarz podłoży, jak i skład gatunkowy roślin wykorzystany w eksperymentach pozwolił na uzyskanie odpowiedzi na postawione pytania badawcze i weryfikację hipotezy. I tak, najwyższe zawartości REE oznaczono w popiołach lotnych i glebach, a niższe w osadach ściekowych i żuźlach. Najwyższe zawartości REE stwierdzono w korzeniach wszystkich badanych roślin. Wykazano, że rodzaj podłoża i źródło REE wpływają na pobieranie i akumulację REE przez rośliny. Dodatkowo wzrost roślin oraz pobieranie REE były wyższe na podłożach zawierających glebę w porównaniu do podłoży zawierających odpady przemysłowe. Dodatek chelatów nie zwiększył pobierania REE przez rośliny i był specyficzny dla gatunku rośliny i wykorzystanego substratu. Najefektywniejszą rośliną w pobieraniu REE z podłoża była narecznica czerwonozawijkowa (*Dryopteris erythrosora*), której wyliczone współczynniki biokoncentracji (BCF) i translokacji (TF) były wyższe niż u pozostałych roślin.

Za najważniejsze osiągnięcia Doktorantki przedstawione w rozprawie, stanowiące jednocześnie element nowości naukowej i wzbogacenie obecnego stanu wiedzy w obszarze dziedziny nauk rolniczych, dyscypliny rolnictwo i ogrodnictwo uważam:

- stwierdzenie że, najwyższe zawartości pierwiastków ziem rzadkich występują w popiołach lotnych z sektora energetycznego i mogą być wykorzystane jako źródło REE;
- potwierdzenie, że rośliny pobierają pierwiastki ziem rzadkich w sposób zróżnicowany, zależnie od gatunku lub zastosowanego podłoża. Najefektywniejszą rośliną pod względem akumulacji REE była narecznica czerwonozawijkowa (*Dryopteris erythrosora*);

- udowodnienie, że zastosowanie chelatów: CA, EGTA i EDTA może zwiększać poziom akumulacji REE w roślinach, jednak efekt ten nie jest jednakowy dla wszystkich roślin. Jest on gatunkowo specyficzny oraz zależy od składu użytego podłoża;
- zbadanie, że najwyższy wskaźnik biokoncentracji BCF po dodaniu chelatów uzyskano dla koniczyny łąkowej (*Trifolium pratense*) (Gd, 5 mM EGTA), natomiast wskaźnik translokacji TF 5,42 dla narecznicy czerwonożawijkowej (*Dryopteris erythrosora*) (La, 10mM CA);
- potwierdzenie, że współczynniki biokoncentracji (BCF) i translokacji (TF) dla pozostałych roślin wykorzystanych w badaniach wynosiły poniżej 1, co wskazuje, że testowane rośliny nie posiadają specyficznych właściwości do gromadzenia dużych ilości REE przy ich uprawie na podłożach charakteryzujących się niską dostępnością REE.

Mam kilka pytań do Doktorantki:

- czy możliwe jest na podstawie przeprowadzonych badań uszeregowanie roślin przydatnych do procesu ekstrakcji badanych metali ziem rzadkich (nie biorąc pod uwagę podłoża) oraz jakie czynniki mogły wpłynąć na pobieranie metali u roślin wybranych do doświadczeń? Czy jest jakaś roślina uniwersalna dla ekstrakcji kilku metali ziem rzadkich?
- to, że pobieranie metali jest gatunkowo specyficzne zostało udowodnione w pracy, ale czy przy jednoczesnym wpływie wszystkich czynników tj. biodostępności metali po dodaniu chelatów, właściwości podłoża oraz typu rośliny nadal to pobieranie jest gatunkowo specyficzne, który Pani zdaniem czynnik wpływający na pobieranie metali jest najważniejszy?
- o planowaniu dalszych badań w zakresie optymalnych podłoży i chelatów zwiększających pobieranie REE przez rośliny wspomniano w dysertacji. Czy brany jest pod uwagę wpływ na proces pobierania REE mikrobiomu glebowego?
- czy jest możliwe podanie zakresu zawartości w glebie REE, w tym procentowego udziału frakcji biodostępnych tych metali, przy których możemy mówić o efektywnej fitoekstrakcji/fitowydobyciu REE?

Z recenzenckiego obowiązku wymienię poniżej kilka niedociągnięć, które zauważyłam:

- str. 14 - w podrozdziale opisującym hiperakumulatory brakuje mi polskich nazw rodzajowych i gatunkowych roślin wykorzystywanych w tym procesie. Nazwy łacińskie pozwalają znawcom na zidentyfikowanie dokładnie gatunku, zaś polskie (rodzajowe i gatunkowe) nazwy roślin, dają możliwość laikowi znaleźć te rośliny wśród znanych w przyrodzie. Obrona pracy doktorskiej jest publiczna, zatem zwiększenie listy osób, które zrozumieją o czym mówimy jest w interesie nie tylko Doktorantki, ale też Recenzentów;
- w opisie dysertacji brakuje mi schematycznego przedstawienia prowadzonych badań z odniesieniem do hipotezy badawczej i założonych celów badawczych (głównego i szczegółowych) oraz publikacji, takie graficzne przedstawianie umożliwiłoby sprawniejsze poruszanie się recenzenta pomiędzy przedłożonymi do dysertacji badaniami i publikacjami;

- na str.16 dwie uwagi – (1) w zdaniu „Rośliny o wyższych wartościach TF mają większą zdolność do przenoszenia metali z korzeni do pędów” powinno być użyte słowo transport metali pomiędzy korzeniem, a pędem; (2) użycie w zdaniu słowa „akumulator” – „W przypadku akumulatorów danej grupy metali zaleca się, aby TF był wyższy niż 1, wówczas takie rośliny nazywane są hiperakumulatorami” to bezpośrednia „kalka” z j. angielskiego, poprawniej należałoby napisać „wśród roślin wykorzystywanych w procesie fitoremediacji i pobierających ponadnormatywne stężenia danego pierwiastka, gdzie TF jest wyższy od 1 mówimy o hiperakumulatorach;

- dla całego opisu dysertacji - nie jestem zwolenniczką stosowania słowa „doniczki” to proste tłumaczenie z j. angielskiego – „pot experiment”, zwyczajowo stosuje się nazwę „wazon” i wtedy mamy doświadczenie wazonowe; również zwrot „części podziemne roślin” mimo, że nie jest błędem to lepiej brzmiałoby korzenie roślin, zwłaszcza, że spośród badanych roślin tylko krwawnik pospolity i narecznica czerwonozawijkowa mogą tworzyć kłącza i tu użycie sformułowania części podziemne roślin byłoby poprawne, lecz dla roślin jednorocznych (kukurydza, gorczyca biała) już nie, również sformułowanie „ogólnie rzecz biorąc” nie stosuje się w pracach naukowych – str. 29 i 31.; nie ma słowa koncentracja metali w j. polskim – str. 12, str. 51 w odniesieniu do roślin, jest to zawartość metalu;

- na str. 20 przy wyborze 3 gatunków roślin do badań wazonowych bark nazw polskich gatunkowych;

- na str. 21 – podano informację o doświadczeniu drugim: „gleba pobrana na terenie RZD Kępa, wzbogacona LaCl_3 , CeCl_3 , EuCl_3 , GdCl_3 (jako roztwór wodny w dawce 100 mg każdego pierwiastka na doniczkę), bardziej precyzyjne byłoby podanie informacji ile dodano mg metalu w postaci soli na kg substratu wykorzystanego w doświadczeniach, a nie na doniczkę, bo nie wiedząc jaka jest pojemność doniczki, nie jesteśmy w stanie ocenić uzyskanego stopnia zanieczyszczenia metalami podłoża wykorzystanego w badaniach, zwłaszcza, że w przypadku drugiego doświadczenia z chelatami taka informacja jest podana - str. 26 „Po wschodzie roślin do substratów zostały dodane chelaty: CA, EGTA, EDTA w stężeniach 5 mM lub 10 mM na kg podłoża”; zamiast zwrotu „zgromadzone gleby” to poprawniej byłoby „pobrane gleby”;

- str. 24 i 25 w Tabeli 3 i 4 część parametrów została podana w j. angielskim, tak jak była przedstawiona w publikacji, w wersji polskiej dysertacji wszystko powinno być przetłumaczone na j. polski łącznie z parametrami w tabelach;

- na str.43 w Tabeli 10 podano zawartości pierwiastków z wykorzystaniem „.” a nie przecinka w systemie dziesiętnym, chyba omyłkowo;

- na str. 59 w rozdziale „Wnioski” błąd logiczny we wniosku nr 6. „Zawartości RE w roślinach wykazane w przypadku podłoża glebowego wzbogaconego solami REE wskazują, że testowane rośliny tolerują dość wysokie zawartości tych pierwiastków w nadziemnych częściach” rośliny nie mogą tolerować zawartości w częściach nadziemnych raczej w podłożu, a na str. 57 ten wniosek jest podany w zdaniu prawidłowo: „że badane rośliny nie wykazują objawów

toksyczności REE na poziomach ich zawartości sięgających 40 – 60 mg danego pierwiastka na kg s.m. rośliny”;

- str. 67 i 68 w streszczeniu polskim niefortunne użycie sformułowania – „w podziemnych partiach” w zdaniu „W doświadczeniach szklarniowych rośliny wykazały większe zawartości REE w podziemnych partiach w porównaniu do części nadziemnych.” Oraz w zdaniu : „Rośliny pobierały dosyć niewielkie ilości REE. w podziemnych partiach” -zastąpić „w korzeniach”; w streszczeniu dodatkowo niepoprawnie napisano: „Wzrost roślin i akumulacja metali nie może być wydajna w zdaniu: „Dodatkowo wzrost roślin oraz akumulacja pierwiastków były nieco bardziej wydajne w podłożach zawierających glebę niż te, których głównymi komponentami były odpady przemysłowe”, zastąpić wzrost i pobieranie było wyższe lub efektywność wyższa;

- drobne uwagi edycyjne – str. 4. brak litery „i” w słowie publikacji; formatowanie całego dokumentu na kolejnych stronach odbiega od kolejnej.

Mimo powyższych błędów, praca jest przygotowana starannie, z niewielką ilością błędów interpunkcyjnych i stylistycznych.

Mam taką sugestię na przyszłość, aby w badaniach szeroko pojętego procesu fitoremediacji, gdzie wykorzystujemy „naturalnie” lub sztucznie zanieczyszczoną metalami glebę, korzenie badanych gatunków roślin były myte w płuczce ultradźwiękowej, która daje możliwość usunięcia tych cząstek gleby, które w trakcie wzrostu roślin zostały de facto częściowo wbudowane w tkankę roślinną. Zwykłe mycie wodą bieżącą z ciśnieniem z wodociągu, zwłaszcza jak pracujemy z bardzo dużymi stężeniami metali może wpłynąć na ostateczny wynik oznaczeń metali w korzeniach roślin.

Podsumowując, stwierdzam że **praca pod względem merytorycznym nie budzi żadnych zastrzeżeń i napisana jest na dobrym poziomie naukowym. Nie bez znaczenia są również użyteczne aspekty prowadzonych badań, które oczywiście trzeba kontynuować, ale dopracowane i implementowane w środowisku mogą znacznie przysłużyć się zwiększeniu możliwości pozyskiwania z terenów zanieczyszczonych i odpadów, metali ziem rzadkich tak potrzebnych nowym sektorom gospodarki światowej.**

Dorobek naukowy Doktorantki

W publikacyjnym portfolio Doktorantki znajdziemy 7 publikacji, w tym cztery w j. angielskim i dwie indeksowane w bazie Journal Citation Reports (JCR) o IF w zakresie od 3.0 do 5.8. Doktorantka brała czynny udział w czterech projektach naukowych, w tym trzech finansowanych ze środków UE w ramach programu HORYZONT EUROPA oraz jeden przez MNiSW. Trzy projekty międzynarodowe są w toku realizacji w tym jeden kończy się w bieżącym roku, zaś dwa kolejne w 2026 roku. Świadczy to o aktywnym udziale Doktorantki w badaniach naukowych, dającym możliwość ulepszania warsztatu badawczego oraz pogłębiania nabytej wiedzy praktycznej i merytorycznej.

Na uwagę zasługuje również aktywność Doktorantki w rozpowszechnianiu wyników badań poprzez współautorstwo w 13-tu wystąpieniach ustnych lub prezentacjach posterowych na konferencjach krajowych i międzynarodowych. We wszystkich prezentowanych materiałach na konferencjach, w publikacjach naukowych i projektach Pani mgr wspierana jest mentoringiem Promotora niniejszej dysertacji Pana dr hab. Grzegorza Siebielca, prof. IUNG-PIB. **Zaangażowanie Doktorantki, aktywny udział w licznych projektach i pracach grupy badawczej kierowanej przez prof. Siebielca potwierdza, że jest dobrze rokującym naukowcem.**

Wniosek końcowy

Podsumowując, **rozprawa doktorska Pani mgr Dominiki Gmur stanowi samodzielne rozwiązanie problemu badawczego przy użyciu adekwatnej metodyki badań, co jest ustawowym wymaganiam stawianym rozprawom doktorskim.** Tematyka rozprawy w pełni wpisuje się w dziedzinę nauk rolniczych, dyscyplinę rolnictwo i ogrodnictwo.

Stwierdzam, że przedstawiony do oceny cykl trzech prac stanowiących podstawę przedstawionej do oceny rozprawy doktorskiej pt. „Ocena występowania pierwiastków ziem rzadkich w glebach i odpadach oraz możliwości ich odzysku w procesie fitoekstrakcji” spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z ustawą z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (tekst jednolity DZ.U z 2017 r. poz. 1789) w związku z art. 179 ust. 1 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669).

Zwracam się zatem do Wysokiej Rady Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – PIB o dopuszczenie Pani mgr Dominiki Gmur do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

prof. dr hab. Marta Pogrzeba