

Uniwersytet Rzeszowski, Kolegium Nauk Przyrodniczych,
Zakład Podstaw Rolnictwa i Gospodarki Odpadami,
e-mail: jkostecka@ur.edu.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Dominika Rogalskiego, pt. „Ocena skuteczności metod remediacji z zastosowaniem związków mobilizujących metale w glebie”

Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Dominika Rogalskiego, pt. „Ocena skuteczności metod remediacji z zastosowaniem związków mobilizujących metale w glebie”, wykonana pod kierunkiem dr hab. inż. Agnieszki Pusz, profesor Politechniki Warszawskiej.

Oceniana w tej recenzji rozprawa ma być podstawą do nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

Recenzja została wykonana w odpowiedzi na pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska Górnictwo i Energetyka, Pana prof. dr hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego z dnia 17.10. 2024 roku (pismo RND.IŚGiE. 149.2024), na mocy którego zostałam powołana na recenzenta pracy doktorskiej Pana mgr inż. Dominika Rogalskiego.

Podstawa formalna wykonania recenzji

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Dominika Rogalskiego, pt. „Ocena skuteczności metod remediacji z zastosowaniem związków mobilizujących metale w glebie” została wykonana na podstawie umowy zawartej pomiędzy Politechniką Warszawską, Wydziałem Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, 00-653 Warszawa, ul. Nowowiejska 20 reprezentowanym przez Dziekana Wydziału dr hab. inż. Macieja Chaczykowskiego, prof. uczelni, a recenzentem pracy doktorskiej - prof. dr hab. Joanną Kostecką, Uniwersytet Rzeszowski. Rozprawa doktorska została skierowana do recenzji przez Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka prof. dr hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego pismem RND.IŚGiE.149.2024. Recenzja została opracowana na bazie egzemplarza pracy doktorskiej, którą otrzymano wraz z umową.

W ocenie pracy doktorskiej kierowano się wymaganiami określonymi w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024. 0.1571 t.j.), a mianowicie:

- 1) czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej [wykładnia /W1].

- 2) czy przedmiot rozprawy doktorskiej stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne [wykładnia /W2].
- 3) czy forma rozprawy jest poprawna, a zatem stanowi ją praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej [wykładnia /W3].
- 4) czy do rozprawy doktorskiej dołączono streszczenie w języku angielskim (w przypadku pracy polskojęzycznej), a do rozprawy doktorskiej przygotowanej w języku obcym również streszczenie w języku polskim [wykładnia /W4].

Celowość podjęcia tematu i oryginalność podjętego problemu

Konieczność utrzymywania ekosystemu i zasobów gleby w dobrej jakości i żyzności doczekała się zainteresowania naukowego stosunkowo późno. Najpierw zauważono i wprowadzano w życie potrzebę ochrony zasobów powietrza, następnie wody pitnej, natomiast glebę, jako środowisko badawczo trudne, długo pozostawiano poza troską i niekiedy traktowano jako miejsce składowania odpadów, wylewania trucizn, ksenobiotyków i innych.

W ostatniej dekadzie obserwujemy wzrost świadomości na temat konsekwencji przemysłowej i rolniczej działalności, co wynika z edukacji oraz programów wspierających zrównoważone praktyki. Intensywna antropopresja prowadzi do zanieczyszczenia powietrza, wód, utraty bioróżnorodności a także często do zanieczyszczenia i degradacji zasobów gleby.

Dobrej jakości, żyzne gleby są podstawowym elementem środowiska przyrodniczego. Gleba jest miejscem gdzie złożone elementy przyrody ożywionej (bioróżnorodność) i nieożywionej spełniają liczne świadczenia ekosystemowe dla wieloelementowej i wielopoziomowej biosfery – w tym człowieka. Gleby, stanowiąc otwartą przestrzeń i będąc także środkiem do produkcji rolnej, mają ogromne znaczenie społeczno-gospodarcze.

Pomimo dużego wzrostu zainteresowania tym środowiskiem ze strony różnych dziedzin nauki, ocena jego aktualnej jakości, zarówno lokalnie, regionalnie jak i globalnie, wymaga stałej uwagi i działań ze strony nauki, decydentów, stowarzyszeń prośrodowiskowych oraz szeroko pojętych edukatorów formalnych i nieformalnych. Gleba biologicznie czynna i i żyzna jest bowiem podstawowym środkiem produkcji żywności wysokiej jakości. W glebie zaczyna się i kończy proces krążenia materii i przepływu energii. Zdrowa gleba to zdrowy surowiec do produkcji pokarmu i pasz o potencjalnie wysokiej jakości. Według *Natural Resources Conservation Service U.S. Department of Agriculture*, zdrowie gleby jest definiowane jako jej ciągła zdolność do funkcjonowania jako żywy ekosystem, który podtrzymuje rośliny, zwierzęta i ludzi. Zdrowa gleba zapewnia czyste powietrze i wodę, obfite uprawy i lasy, produktywnie pastwiska, różnorodną przyrodę i piękne krajobrazy.

W wyniku antropopresji gleba może zostać skażona, przy czym jednym z częstych jej zanieczyszczeń są metale w różnych formach, mobilności i biodostępności. Źródłami zanieczyszczenia gleb metalami ciężkimi są: emisje przemysłowe (górnictwo, hutnictwo, przemysł chemiczny), komunikacyjne, gospodarka komunalna (składowanie odpadów) oraz rolnictwo (stosowanie produktów odpadowych np. z przemysłu do nawożenia roślin, chemicznych środków ochrony roślin itd.). Toksyczne metale ciężkie mogą dostawać się do organizmu człowieka z zanieczyszczonym nimi pokarmem; pochodzenia roślinnego i zwierzęcego. W ciele człowieka mogą rozregulowywać układ immunologiczny, powodować mutację genów lub zmieniać ich ekspresję co w konsekwencji może prowadzić do alergii, chorób autoimmunologicznych, nowotworów i innych.

W obecnych standardach jakości gleby i ziemi wyznaczono niższe dopuszczalne wartości stężeń substancji zanieczyszczających, co wymusza stałe poszukiwanie skutecznych metod, po to by sprostać rosnącym wymaganiom ochrony wszystkich zasobów środowiska przed

antropopresją, w zgodzie ze strategiami zrównoważonego rozwoju i gospodarką cyrkularną. Wśród innych, ważnym problemem jest poszukiwanie skutecznych i bezpiecznych metod remediacji gleb. Sposoby działania i stosowane związki powinny być dobierane w taki sposób, aby gleba po oczyszczeniu nie tylko spełniała normy dla dopuszczalnych zawartości metali zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 1 września 2016 r. w sprawie sposobu prowadzenia oceny zanieczyszczenia powierzchni ziemi, ale również nadawała się do dalszego zagospodarowania.

Z powyżej opisanych przyczyn, temat i problem, oraz oczekiwane rezultaty badań podjętych przez doktoranta - mgr inż. Dominika Rogalskiego, są wybrane prawidłowo oraz mają duże znaczenie. W przedstawionej do oceny monografii, mgr inż. Dominik Rogalski prowadził badania nad dwoma metodami remediacji: odmywania i fitoekstrakcji wspomaganiej – z zastosowaniem różnych związków mobilizujących cynk, kadm, miedź i ołów w glebie (używał związków biodegradowalnych i nie biodegradowalnych oraz kwasów mineralnych). W pracy sprawdzano, czy uzyskane wyniki badań pozwolą na określenie selektywności badanych związków wobec powyższych metali w zanieczyszczonych podłożach glebowych oraz czy metody te umożliwią ocenę skuteczności zastosowanych związków, mobilizujących metale w danej metodzie.

Celem pracy była ocena skuteczności metod remediacji gleb – odmywania (*ex situ*) i fitoekstrakcji wspomaganiej (*in situ*) – z zastosowaniem różnych związków mobilizujących metale. Do odmywania gleby zastosowano sól kwasu (S,S)-etylenodiamino-N,N'-dibursztynianu trisodowego (EDDSNa₃) o wzorze sumarycznym C₁₀H₁₃N₂Na₃O₈, kwas hydroksyetylenodiaminotrójoctowy (HEDTA) o wzorze sumarycznym C₁₀H₁₈N₂O₇ oraz kwas nitrylotriooctowy (NTA) o wzorze sumarycznym C₆H₉NO₆ oraz dwa dodatkowe związki mobilizujące metale w glebie, tj. kwas chlorowodorowy techniczny (HCl) i kwas azotowy techniczny (HNO₃). W doświadczeniach wazonowych w metodzie fitoekstrakcji wspomaganiej zastosowano użyte w doświadczeniu odmywania gleby związki EDDSN₃, HEDTA i NTA. Do określenia fitoprzyswajalności metali zastosowano cztery gatunki roślin. Były to: wilec purpurowy (*Ipomoea purpurea* L.), szarłat trójbarwny (*Amaranthus tricolor* L.), rzepak jary (*Brassica napus* L.) oraz kukurydza zwyczajna (*Zea mays* L.), które wybrano na podstawie literatury, uwzględniając ich selektywność wobec badanych w pracy metali (cynku, kadmu, miedzi, ołowiu).

W pracy wyznaczono cele cząstkowe:

- 1) określenie wpływu związków mobilizujących metale (tj. EDDSN₃, HEDTA, NTA, HCl, HNO₃) na całkowite ich zawartości w glebach;
- 2) określenie wybranych wskaźników ryzyka środowiskowego dla gleb w doświadczeniach wazonowych;
- 3) określenie wpływu badanych związków mobilizujących metale na wybrane właściwości fizyczne i chemiczne gleb;
- 4) określenie właściwości fitoakumulacyjnych wilca purpurowego (*Ipomoea purpurea* L.), szarłatu trójbarwnego (*Amaranthus tricolor* L.), rzepaku jarego (*Brassica napus* L.) oraz kukurydzy zwyczajnej (*Zea mays* L.) w odniesieniu do metali po zastosowaniu trzech związków, tj. EDDSN₃, HEDTA i NTA;
- 5) określenie wpływu badanych związków mobilizujących metale na zawartości aminokwasów w wybranych roślinach;
- 6) określenie fitotoksyczności gleb w doświadczeniach wazonowych po zastosowaniu związków mobilizujących metale;

- 7) ocena skuteczności zastosowanych metod remediacji gleb zanieczyszczonych metalami (odmywania gleby *ex situ* i fitoekstrakcji wspomaganiej *in situ*) z wykorzystaniem związków mobilizujących metale.

Teza pracy

Założono, że uzyskane wyniki pozwolą na określenie selektywności badanych związków wobec wybranych metali w zanieczyszczonych glebach oraz umożliwią ocenę skuteczności zastosowanych związków mobilizujących metale w danej metodzie.

Zakres pracy

Zakres pracy obejmował liczne, pracochłonne i długofalowe działania oraz analizy laboratoryjne z użyciem właściwych metod i nowoczesnej aparatury:

- przegląd literatury dotyczącej tematu rozprawy;
- zaprojektowanie doświadczeń *laboratoryjnego* (odmywania gleby), i *wazonowych* (fitoekstrakcji wspomaganiej);
- pobieranie próbek gleby/ziemi do doświadczeń (laboratoryjnego i wazonowych);
- analizę właściwości fizycznych i chemicznych pobranych gleb przed założeniem doświadczeń;
- określenie wybranych parametrów odmywania gleby i wykonanie doświadczenia z zastosowaniem związków mobilizujących metale takich jak sól kwasu (S,S)-etylenodiamino-N,N'-dibursztynianu trisodowego (EDDSNa₃), kwas hydroksyetylenodiaminotrójocowy (HEDTA), kwas nitrylotrioctowy (NTA), kwas chlorowodorowy techniczny (HCl) i kwas azotowy techniczny (HNO₃) z uwzględnieniem określonych parametrów;
- oznaczenie całkowitych zawartości metali (cynku, kadmu, miedzi, ołowiu) w odmytych próbkach gleb w doświadczeniu laboratoryjnym;
- wyselekcjonowanie do doświadczeń wazonowych trzech związków mobilizujących metale: EDDSN₃, HEDTA, NTA;
- wybranie czterech roślin do doświadczeń wazonowych takich jak: wilec purpurowy (*Ipomoea purpurea* L.), szarłat trójbarwny (*Amaranthus tricolor* L.), rzepak jary (*Brassica napus* L.) oraz kukurydza zwyczajna (*Zea mays* L.);
- założenie doświadczeń wazonowych w 2018 r. w hali vegetacyjnej Katedry Fizjologii Roślin SGGW w Warszawie;
- wprowadzenie do każdego wazonu z zanieczyszczoną glebą (jednorazowo w 2018 r., w czasie trwania pierwszego sezonu vegetacyjnego) związków mobilizujących metale (EDDSNa₃, HEDTA, NTA) w dwóch różnych dawkach w okresie, kiedy roślina (*Ipomoea purpurea* L.) uzyskiwała maksymalną biomasę;
- pielęgnację roślin w okresie vegetacyjnym wraz z utrzymywaniem odpowiedniego poziomu wilgotności w wazonach;
- pobranie i przygotowanie próbek gleb i roślin do analiz laboratoryjnych;
- mineralizację materiału glebowego oraz roślinnego, oznaczenie całkowitych zawartości metali (cynku, kadmu, miedzi, ołowiu) w próbkach gleb i testowanych roślin pobranych z wazonów doświadczalnych;
- określenie zawartości aminokwasów w częściach nadziemnych wilca purpurowego i kukurydzy zwyczajnej dla wszystkich kombinacji gleb;
- wykonanie testów fitotoksyczności PhytotoxkitTM z zastosowaniem trzech, zalecanych w teście, roślin kontrolnych; rzeżuchy siewnej (*Lepidium sativum* L.), gorzycy białej (*Sinapis alba* L.) i sorga cukrowego (*Sorghum saccharatum* L.) oraz określenie fitotoksyczności gleb w doświadczeniach wazonowych po zastosowaniu związków mobilizujących metale (EDDSNa₃, HEDTA, NTA);

- określenie współczynników biokoncentracji (BCF) oraz translokacji (TF);
- wykonanie analizy statystycznej oraz określenie wybranych wskaźników ryzyka środowiskowego;
- ocenę skuteczności zastosowanych metod remediacji gleb zanieczyszczonych metalami z wykorzystaniem badanych związków mobilizujących metale.

Charakterystyka rozprawy doktorskiej

Praca doktorska mgr inż. Dominika Rogalskiego liczy 195 numerowanych stron. Jest podzielona logicznie na dziewięć rozdziałów. We *Wstępie* (3 strony) omówiono syntetycznie tło podejmowanych badań, w kolejnym rozdziale *Cel, teza i zakres* pracy (2 strony) zaprezentowano cel główny oraz 7 celów cząstkowych, sformułowano założoną tezę pracy oraz wypunktowano 18 postawionych sobie przez autora pracy, zadań. Rozdział *Przegląd literatury* (36 stron) przeprowadza czytelnika manuskryptu przez 7 podrozdziałów; w tym przez charakterystykę i źródła metali, prezentuje dopuszczalne zawartości substancji powodujących ryzyko w glebie i ziemi, podaje ocenę stopnia zanieczyszczenia gleb i wskaźniki dotyczące ryzyka dla zdrowia ludzi i stanu środowiska. Doktorant podejmuje także opis współczynników charakteryzujących zależność gleba-roślina oraz metod remediacji gleb zanieczyszczonych metalami; w tym ich podział na metody fizyczne i termiczne, chemiczne oraz biologiczne. W obrębie metod odmywania gleby rozdział ten zawiera opis technologii oraz stosowane związki mobilizujące metale. W podrozdziale fitoremediacja doktorant dokonuje przeglądu literatury w zakresie pobierania i akumulacji metali w roślinie, poglądów na strategię reakcji roślin na metale, badania fitoekstrakcji, fitoekstrakcji ciągłej i wspomaganą, a także zagospodarowania zanieczyszczonej biomasy. Tą część pracy napisano w komunikatywnym stylu.

Rozdział czwarty to *Materiał i metody badań* obejmuje kolejne 14 stron. Opisano tu charakterystykę gleb i związków mobilizujących metale użytych w doświadczeniach, oraz dwa doświadczenia: laboratoryjne – odmywanie gleby oraz wazonowe obejmujące fitoekstrakcję wspomaganą. Rozdział ten obejmuje także opis metod oznaczeń laboratoryjnych (z przywołaniem ogólnie przyjętych norm), materiału glebowego i roślinnego, wykonanie testów fitotoksyczności oraz metody wykonania analizy statystycznej wyników.

Wyniki złożonych i pracowitych badań opisano w trzech kolejnych, połączonych z celem pracy doktorskiej i zaplanowanymi w niej zadaniami badawczymi, rozdziałach (obejmujących 84 strony). *Dyskusję* podjęto sprawnie na następnych 18 stronach. Ostatni numerowany rozdział obejmuje 17 *wniosków* (4 strony). Opis wyników i ich dyskusja z wnioskami zajmują więc bardzo znaczącą część przygotowanej pracy doktorskiej (razem 106 stron: 55% manuskryptu). Bogate zestawienie *Literatury* pokazuje rozległe tematycznie, w zasadniczej większości anglojęzyczne publikacje (358 pozycji).

Manuskrypt zawiera także *spis tabel* (54) i *spis rysunków* (83), z czego 36 tabel i 66 rysunków stanowi bogatą ilustrację graficzną wyników badań.

Oceniając strukturę pracy należy podsumować, że odpowiada ona klasycznej konstrukcji rozprawy doktorskiej. Układ pracy jest logiczny, dostosowany do wyznaczonych celów badawczych a kolejność rozdziałów jest właściwa. W manuskrypcie zachowano odpowiednie proporcje między treścią w rozdziałach z opisem podstaw teoretycznych i opisem wyników badań własnych.

W spisie literatury mgr inż. Dominik Rogalski zastosował raczej jednolity i przejrzysty zapis cytowanych pozycji. Większość z cytowanych prac zostało opublikowanych po roku 2000 (80%), z czego 25% objęło prace z ostatnich lat - włącznie z rokiem 2024. Świadczy to dużym zaangażowaniu poznawczym i o tym, że doktorant zapoznał się ze współczesnymi trendami badań w temacie, który podjął. Spis literatury obejmuje głównie sztandarowe anglojęzyczne publikacje z zakresu poruszanej problematyki, zamieszczone w różnych periodykach naukowych. Zawiera także podręczniki i monografie jak również akty prawne

dotyczące wybranych problemów w przedmiocie badań oraz polskie wersje zastosowanych norm ISO. W spisie cytowanej literatury znajdują się też 3 pozycje, których doktorant jest współautorem, co może świadczyć o stałej aktywności w różnych przestrzeniach naukowych. Rozprawa doktorska została zredagowana starannie, choć przy tak rozległych działaniach autorowi nie udało się uniknąć niejasności. Doktorant najczęściej używa poprawnego języka i zrozumiałych zdań bez zbyt wielu skrótów myślowych i uproszczeń. W takim razie można zauważyć, że mgr inż. Dominik Rogalski opanował technikę organizacji badań i pisania prac naukowych. Potwierdzam tym samym, że oceniana praca doktorska spełnia wymagania określone w pkt. 1, art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (aktualnie Dz. U. 2024. 0.1571 t.j.) [W1]).

Na bazie informacji jakie doktorant zamieścił w części *Materiał i Metody badań*, a konkretnie opisu wielu poczynań prowadzących do sfinalizowania złożonych eksperymentów (pobieranie próbek do badań, organizacja badania i wykonanie założonych oznaczeń), oraz biorąc pod uwagę zakres i formę, także analizę statystyczną zebranych danych i dyskusję uzyskanych wyników z przedmiotową literaturą, stwierdzam, że przedmiot rozprawy doktorskiej stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, bazujące na wynikach badań własnych doktoranta. Przedłożona do oceny praca doktorska spełnia wymagania określone w pkt. 2, art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (aktualnie Dz. U. 2024. 0.1571 t.j.) [W2]).

Niezależnie od uwag krytycznych jakie przytoczę poniżej stwierdzam, że forma rozprawy doktorskiej jest poprawna (monografia), a tym samym spełniono wymagania określone w pkt. 3, art 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (aktualnie Dz. U. 2024. 0.1571 t.j.) [W3].

Praca doktorska jest zaopatrzona w streszczenie w języku polskim i angielskim. Można w tym miejscu ponownie jednoznacznie stwierdzić, że monografia spełnia kolejne wymaganie określone w punkcie 4, art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (aktualnie Dz. U. 2024. 0.1571 t.j.) [W4].

Uwagi krytyczne

Złożoność podjętego celu i eksperymentów mogła utrudniać syntetyczny i jednoznaczny opis podjętych badań. Doktorant postawił sobie bowiem za cel ocenę skuteczności dwóch metod remediacji: odmywania (*ex situ*) i fitoekstrakcji wspomaganiej (*in situ*). W doświadczeniach zastosował pięć różnych związków mobilizujących w glebie cztery metale (Zn, Cd, Cu i Pb). W eksperymentach stosowano także zróżnicowanie podłoża glebowego (kombinacje trzech podłoży glebowych), zróżnicowanie parametrów gleba: roztwór (2 kombinacje) oraz czasu wstrząsania podłoża (2 czasy). W układ badań wprowadzono dodatkowo siedem gatunków roślin (wilec purpurowy (*Ipomoea purpurea* L.), szarłat trójbarwny (*Amaranthus tricolor* L.), rzepak jary (*Brassica napus* L.) odmiana Goliat, kukurydza zwyczajna (*Zea mays* L.) odmiana Rosomak) oraz rzeżuchę siewną (*Lepidium sativum* L.), gorczycę białą (*Sinapis alba* L.) i sorgo cukrowe (*Sorgo saccharatum* L.). Badania prowadzono w latach 2018-2021.

Czytając powierzoną mi do oceny pracę doktorską kilkakrotnie potrzebowałam ponownych powrotów do czytanego tekstu. Choć doktorant w rozdziale *Materiał i Metody badań* używa kilku tabel (tab. 14,15,16) oraz rysunków (rys. 8-16), złożoność opisów i kolejności podejmowanych działań możnaby tu próbować jeszcze bardziej uprościć – np. tabelarycznie. Mogłoby to dotyczyć jeszcze np. opisu i działań dotyczących stosowania podłoża / materiału glebowego. Chyba np. bardziej odpowiednim dla tabeli 17 i 18 miejscem jej zamieszczenia byłyby (zamiast wyników), początki opisu *materiału i metody badań*.

Opisać tak złożone działania w sposób jasny, jednoznaczny i ułatwiający dokładne powtórzenie przeprowadzonych badań jest niewątpliwie trudno, ale myślę, że mgr inż. Dominik

Rogalski poradzi z tym sobie doskonale przygotowując wyniki swoich badań do druku w postaci mniejszych fragmentów.

Zamieszczam poniżej moje spostrzeżenia nie do końca poprawnych zapisów i sugestie poprawy:

Str. 3, od góry 7 wiersz; jest: ... wymuszają ciągle poszukiwanie eksperymentalnych metod mogących sprostać wymaganiom prawnym, praktycznym oraz ekonomicznym..... warto dodać środowiskowym, uwzględniając założenia zrównoważonego rozwoju...

Str. 11, od góry 9 wiersz; jest: rosnąca świadomość zagrożeń wynikających z zanieczyszczenia środowiska naturalnego sprawia....; zamiast tego poprawniej byłoby użyć środowiska przyrodniczego (bo nawet głębiny mórz i oceanów zmieniły się w antropocenie i nie ma już właściwie środowiska naturalnego), tak jak nie powinno się używać określenia zdrowa żywność (każda powinna mieć cechy zdrowej), bo to zwykle chodzi o żywność wysokiej jakości.

Str. 61, od dołu; jest: ...łącznie założono 8 kombinacji, z których jedna obejmowała glebę niezanieczyszczoną (w prezentacji wyników badań została oznaczona symbolem „P”).... Może jaśniej byłoby, gdyby oznaczyć ją np. PK- co bardziej kojarzyłoby się z kontrolą.

Str. 62, od góry 4 wiersz; jest: ...kombinacje gleb kontrolnych dla piasku i gliny oznaczono odpowiednio symbolami „P” i „G”, a kombinacje gleb zanieczyszczonych metalami dla piasku i gliny oznaczono odpowiednio symbolami „Pz” i „Gz”. Kombinacje te nie zawierały badanych związków.... - ponownie mniej fortunne oznaczenie.

Str. 62, od góry 16 wiersz; jest: ...badane związki w odpowiednich dawkach wprowadzono do każdego wazonu w okresie, kiedy roślina uzyskała maksymalną biomasę. Dlaczego przyjęto taką metodę działania? Chodzi o czas wprowadzenia związków mobilizujących metale (EDDSNa₃, HEDTA, NTA) Proszę to wyjaśnić...

Str. 63, od góry 9 wiersz; jest: ...ze względu na ich selektywność wobec badanych w pracy metali.... Jestem ciekawa jak konkretnie wygląda selektywność w odniesieniu do tych wybranych roślin biotestowych? Proszę o uzupełnienie informacji....

Str. 66, od góry 13 wiersz; jest: ...a następnie oznaczono wybrane właściwości fizyczne i chemiczne: skład granulometryczny metodą areometryczną – proszę opisać prowadzone przez Pana działanie.

Str. 69, od góry 7 wiersz; jest: ...dla wartości średnich (z trzech powtórzeń) obliczono odchylenie standardowe... należy go podawać obok wskazywanej wartości średniej, np. str. 123 jest / a powinno być; ...w glebie kontrolnej P w doświadczeniu A średnia biomasa korzeni wilca z trzech wazonów wyniosła $0,35 \pm x$ g, a wielkość plonów części nadziemnych osiągnęła wartość $2,26 \pm x$ g, natomiast w glebie kontrolnej G w doświadczeniu B wartości te wyniosły $0,36 \pm x$ g oraz $3,71 \pm x$ g.... Obecność odchylenia standardowego przy prezentowanej wartości średniej pozwala ocenić jak szeroko wartości jakiejś wielkości (na przykład masy, plonu) są rozrzucone wokół jej średniej.

Str. 67, od dołu 10 wiersz; ...do oceny fitotoksyczności badanych gleb zastosowano test Phytotoxkit™ firmy Tigret [Phytotoxkit 2004]. Ta przytoczona literatura belgijska i opis firmy Tigret odnosi badanie do 3 dni... tymczasem doktorant pisze dalej na str. 68 : ...płytki z testowanymi roślinami inkubowano w pozycji pionowej, w temperaturze 25°C, w ciemności, **przez 96 h**.... czy nie ma tu pomyłki ? wiadomo mi o teście 3 dniowym. Proszę o obrazowe opisanie testu jeszcze raz i ewentualnie wyjaśnienie modyfikacji...

Str. 115; jest: ...w badaniu zastosowano trzy rodzaje roślin... powinno być gatunki roślin.

- dodatkowo drobne błędy maszynowe możnaby nanieść na tekst prezentowanej do oceny pracy w kilku miejscach

Ocena końcowa

Mgr inż. Dominik Rogalski prowadził ocenę skuteczności dwóch metod – odmywania i fitoekstrakcji wspomaganą – z zastosowaniem pięciu różnych związków mobilizujących metale (EDDSNa₃, HEDTA, NTA, HCl, HNO₃) dodanych do zanieczyszczonych gleb. Założył, że uzyskane wyniki pozwolą na określenie selektywności badanych związków wobec wybranych metali (cynku, kadmu, miedzi i ołowiu) w zanieczyszczonych nimi glebach oraz umożliwią ocenę skuteczności zastosowanych związków mobilizujących metale w danej metodzie.

Cel działań doktoranta został osiągnięty, co pozwoliło mu sformułować 17 czytelnych (wspomaganych analizą statystyczną wyników badań) wniosków. Na szczególną uwagę, w moim odczuciu, zasługuje podjęcie i przeprowadzenie badań bardzo złożonych; bo wielowątkowych i długotrwałych, oraz przedstawienie ich w formie starannej monografii zawierającej, obok złożonych opisów, liczne tabele i rysunki, graficznie interpretujące wyniki badań. Wyniki tych badań mają znaczenie dla rozwoju inżynierii i ochrony środowiska glebowego przed wybranymi skutkami antropopresyjnego zanieczyszczenia. Przeniesie się to także na ochronę gleb, bioróżnorodności i jakości zdrowia człowieka. W złożonych założeniach badawczych pracy, usiłowano nie ominąć także aspektu w zakresie próby obniżenia śladu węglowego prowadzonej remediacji. W pracy wykonano odmywanie zanieczyszczonych gleb z wykorzystaniem związków mobilizujących metale z zastosowaniem różnych proporcji gleba : roztwór oraz czasów trwania odmywania. Dodatkowo w celu ewentualnego ograniczenia zużycia energii w procesie oczyszczania, w doświadczeniu z zastosowaniem kwasów mineralnych uwzględniono dwa warianty: ze wstrząsaniem oraz bez wstrząsania. Wykazano, że optymalizacja procesów oczyszczania pozwoli na zwiększenie ich efektywności, a tym samym na zmniejszenie ilości wykorzystywanej energii i szkodliwych substancji uwalnianych w trakcie działania do atmosfery.

Mgr inż. Dominik Rogalski sprawnie przedyskutował swoje wyniki badań z informacjami z literatury, także tej najbardziej aktualnej.

W moim odczuciu, istotnym wynikiem rozprawy mgr inż. Dominika Rogalskiego i ważnym osiągnięciem badań tutaj prezentowanych, jest między innymi stwierdzenie, że:

1) zastosowanie EDDSN₃, HEDTA, NTA, HCl i HNO₃ wpłynęło na zmniejszenie całkowitych zawartości badanych metali (Zn, Cd, Cu, Pb) w glebach zanieczyszczonych, przy czym określono szeregi odmywania tych metali. Największe zawartości procentowe metali były odmywane po zastosowaniu kwasów mineralnych.

2) badania wskazują na złożoność problemu stosowania remediacji. Wydłużenie czasu wstrząsania z 1 do 72 h wpłynęło na skuteczniejsze odmywanie wszystkich metali po zastosowaniu związków biodegradowalnych (EDDSNa₃ i NTA) i w niewielkim stopniu biodegradowalnego HEDTA w glebie bardzo lekkiej, ale w glebie średniej wydłużenie tego czasu spowodowało zmniejszenie ilości odmytego Cd i Cu. Zwiększenie ilości roztworu (proporcja 1 : 10) spowodowało poprawienie odmywania jedynie Zn w obu glebach. Spośród wszystkich związków w doświadczeniu wazonowym metale z gleb najslabiej mobilizował EDDSN₃, który jednocześnie wykazywał największą selektywność wobec Cu. W warunkach prowadzonego doświadczenia najwyższe skuteczności w usuwaniu Cd, Cu i Pb z gleby bardzo lekkiej wykazał HCl, a dla Zn – HNO₃, natomiast z gleby średniej – HCl w przypadku Zn, Cu i Pb oraz HNO₃ w przypadku Cd. Największą skuteczność w odmywaniu badanych metali w obu glebach posiadał HCl w proporcji 1 : 2,5. Wstrząsanie wpłynęło na zwiększenie odmywania wszystkich metali w obu glebach po zastosowaniu kwasów mineralnych; z wyjątkiem HCl dla gleby bardzo lekkiej, gdzie stwierdzono odwrotną zależność.

Testowane rośliny rosnące w glebach zanieczyszczonych, ze względu na ilość pobranych metali, wykazywały w większości przypadków przydatność paszową. Obecność związków EDDSNa₃, HEDTA i NTA wpłynęła natomiast na zmianę / obniżenie ich kwalifikacji; do przydatności przemysłowej w różnych kombinacjach. Badania doktoranta po raz kolejny udowodniły więc konieczność ostrożnego manipulowania właściwościami środowiska glebowego i przyrodniczego.

3) doktorant zwrócił uwagę na to, że w warunkach silnego stresu spowodowanego wysoką zawartością metali, dodanie związków mobilizujących powodowało podwyższenie zawartości aminokwasów w częściach nadziemnych niektórych roślin testowanych w doświadczeniu. Nie stwierdził jednak jednoznacznego wpływu tych związków na zawartość aminokwasów w testowanych roślinach.

4) w swojej pracy doktorant praktykował obliczanie kilku wskaźników jakości środowiska: aby określić wskaźniki ryzyka środowiskowego na podstawie całkowitych zawartości badanych metali (Zn, Cd, Cu i Pb), po każdym roku trwania doświadczenia obliczał wskaźniki zanieczyszczenia (*C_f*), potencjalnego ryzyka ekologicznego (*RI*) oraz zintegrowany wskaźnik ładunku zanieczyszczeń (*PLI*). Ma to duże znaczenie teoretyczne i praktyczne.

5) zastosowanie związków EDDSNa₃, HEDTA i NTA pozwalało zwiększyć mobilność metali w glebach zanieczyszczonych, co prowadziło do ich uruchomienia i większej fitoprzyzwajalności. Współczynnik biokoncentracji poszczególnych metali w użytych do badań roślinach zwiększał się zależnie od stosowanego związku, oraz podłoża glebowego.

Dodanie związków sprawiło, że rośliny można było zaklasyfikować do roślin akumulujących metale (bioakumulatorów), przydatnych w metodzie fitoekstrakcji. Rzepak jary okazał się rośliną użyteczną w procesie fitoekstrakcji wspomaganiej, ponieważ zaobserwowano znaczną akumulację metali w jego częściach nadziemnych, co jest istotną cechą roślin stosowanych w tej metodzie.

Wymienione w recenzji osiągnięcia mgr inż. Dominika Rogalskiego zawierają duży ładunek nowych interesujących rezultatów, które mogą przyczynić się do praktycznego działania w ochronie gleb i łańcuchów pokarmowych. Pokazują także potrzeby i kierunki dalszych badań.

Zaprezentowane w rozprawie doktorskiej rezultaty badań wskazują na umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez doktoranta, a w przypadku przygotowania 3 współautorskich publikacji, także świadczą o umiejętności uczestnictwa w pracy zespołowej.

Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej to warunek stawiany rozprawom doktorskim; określony w Ustawie z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym. Ja, niżej podpisana, mam więc prawo stwierdzić, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Dominika Rogalskiego spełnia wymagania ustawowe (zawarte w Dz. U. z 2017 r. poz. 1789 z późn. zmianami) w Dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka.

Rozprawa spełnia również wymagania określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (aktualnie Dz. U. 2024. 0.1571 t.j.).

Wnioskuje o dopuszczenie mgr inż. Dominika Rogalskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego i publicznej obrony, oraz wyróżnienie pracy.

Prof. dr hab. Joanna Kostecka

Dodatkowe pytania dla doktoranta

Człowiek ingeruje w przyrodę w wielu celach, często także po to aby próbować naprawić wcześniejsze błędy wynikające z traktowania jej bardzo usługowo... Czy zastanawiał się Pan nad rolą współczesnego „inżyniera środowiska”? Wspomniał Pan w dyskusji w swojej pracy, o możliwościach użycia EDTA oraz EDDS do wspomaganiej fitoekstracji metali, ale że analizowano skutki uboczne tej metody... Czy może Pan określić uwarunkowania i zagrożenie środowiskowe związane z niekontrolowanym wymywaniem metali z gleby? Jak Pan to rozumie?

Która z metod zagospodarowania zanieczyszczonej biomasy po fitoremediacji, wydaje się Panu najbardziej odpowiednia i dlaczego?

