dr hab. inż. Katarzyna Styszko, profesor AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Energetyki i Paliw
e-mail: styszko@agh.edu.pl

Kraków, 22 czerwca 2026 r.

Recenzja

rozprawy doktorskiej mgr Agnieszki Olgi Sołtys, pt. „ Wykorzystanie podpoziomu glebowego Ofh jako geoindykatora w ocenie stanu środowiska"

1. Podstawa formalna recenzji

Przedstawiona do recenzji praca została wykonana po kierunkiem promotorki dr hab. Sabiny Dołęgowskiej, prof. UJK oraz promotora pomocniczego Dariusza Wideła. Podstawą opracowania recenzji jest uchwała Rady Naukowej Instytutu Chemii nr 24/2026. Recenzja przygotowana jest w oparciu o Ustawę Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2024 r., poz. 1571 z późn. zm.) na podstawie rozprawy doktorskiej stanowiącej opracowanie zwarte.

2. Zakres rozprawy

Pracę przedstawiono w postaci monografii zawierającej dwie zasadnicze części: literaturową i eksperymentalną. Całkowita objętość rozprawy wynosi ponad 170 stron, włącznie z wykazem aktywności naukowych doktorantki. Praca składa się z 6 głównych rozdziałów, które poprzedza wstęp, a zamykają wnioski końcowe, bibliografia, aneksy oraz streszczenia. Część literaturowa (teoretyczna): obejmuje Rozdziały 1–3 i zajmuje 32 strony. Część eksperymentalna (badawcza): obejmuje Rozdziały 4–6 i zajmuje 72 strony. Klamrę łączącą obie części stanowi wyodrębniony podrozdział „Cele i hipotezy pracy".

Wstęp wprowadza czytelnika w problematykę monitoringu środowiska przyrodniczego i rosnącej presji antropogenicznej. Uzasadnia potrzebę poszukiwania nowych geoindykatorów oraz stawia wstępną tezę o unikalnych zdolnościach sorpcyjnych podpoziomu glebowego Ofh. Rozdział 1. „Geoindykatory" przedstawia historię pojęcia (wprowadzonego w latach 90. XX wieku przez Międzynarodową Unię Nauk Geologicznych) oraz ogólną klasyfikację 27 wskaźników geologicznych. Szczegółowo omawia dwa geoindykatory bezpośrednio powiązane z glebami: „erozję gleby i osadów" oraz „jakość gleby", analizując wpływ odczynu pH, materii organicznej i mikroorganizmów na wiązanie zanieczyszczeń. Rozdział 2. „Gleba i profile glebowe" opisuje mechanizmy glebotwórcze w klimacie umiarkowanym oraz pionową stratyfikację profili (poziomy O, A, E, B, C, R). Skupia się na charakterystyce wierzchniej warstwy leśnej, definiując podpoziom detrytyczno-epihumusowy (Ofh) jako przypominającą splątane włókna tytoniu warstwę o miąższości 1–10 cm, działającą jak naturalny filtr. Rozdział 3. „Podpoziom Ofh jako potencjalny wskaźnik jakości gleb klimatu umiarkowanego względem wybranych zanieczyszczeń" stanowi syntezę dotychczasowego stanu wiedzy na temat retencji pierwiastków śladowych (Cd, Hg, Pb, Zn) oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w poziomie Ofh. Przywołuje historyczne i współczesne badania gleboznawcze realizowane w Polsce, ze szczególnym uwzględnieniem Gór Świętokrzyskich.

„Cele i hipotezy pracy" precyzuje główny cel dysertacji (weryfikacja przydatności Ofh jako geoindykatora) oraz formułuje dwie główne hipotezy badawcze:

1) podpoziom Ofh może pełnić rolę geoindykatora jakości gleb w strefie umiarkowanej;
2) na efektywność sorpcji wpływają właściwości fizykochemiczne tego podpoziomu, w szczególności pH i zawartość materii organicznej, a także wybrane czynniki środowiskowe.

Rozdział 4. "Metodyka" obejmuje opis lokalizacji 5 obszarów badawczych w rejonie Kielc i Chęcin oraz procedurę poboru 130 próbek glebowych. Prezentuje bogaty warsztat analityczny: spektrometrię XRF i AAS (GFAAS, CVAAS, FAAS) do analizy metali, chromatografię GC-MS z optymalizacją ekstrakcji ultradźwiękowej dla 16 priorytetowych WWA, miareczkową metodę Boehma, dyfrakcję rentgenowską (XRPD) oraz mikroskopię skaningową (SEM). Definiuje również wykorzystane wzory matematyczne (m.in. tło geochemiczne i lokalny współczynnik wzbogacenia LEF). Rozdział 5. "Wyniki stanowi faktograficzne i tabelaryczne zestawienie danych uzyskanych z pomiarów 130 próbek. Prezentuje uśrednione wartości stężeń parametrów fizykochemicznych (pH, PEW, SOM, C, N, CEC) oraz zawartości poszczególnych pierwiastków i węglowodorów z podziałem na badane warstwy (Ofh, A, AE). Rozdział 6. "Dyskusja" przeprowadza krytyczną syntezę i pogłębioną interpretację wyników. Wyjaśnia zjawisko fizycznego uwięzienia cząsteczek WWA w mikroporach warstwy Ofh, dyskutuje różnice w mechanizmach wiązania kadmu i ołowiu, analizuje zmienność wskaźników diagnostycznych WWA oraz weryfikuje wpływ czynników zewnętrznych (składu gatunkowego lasu i wysokości n.p.m.) na potencjał akumulacyjny gleby.

Wnioski to syntetyczne, wypunktowane potwierdzenie postawionych hipotez badawczych. Autorka udowadnia, że podpoziom Ofh jest pełnoprawnym geoindykatorem i barierą ograniczającą migrację zanieczyszczeń w głąb litosfery. Bibliografia obejmuje wykaz 333 cytowanych pozycji literaturowych oraz aktów prawnych i norm. Spisy, Aneksy i Streszczenia przedstawiają: spisy tabel i rysunków, rozbudowane tabele z surowymi wynikami pomiarowymi (Aneksy), streszczenia w języku polskim i angielskim oraz dorobek naukowy doktorantki.

3. Aktualność i znaczenie podjętej tematyki

W dobie gwałtownych przemian środowiskowych i narastającej antropopresji, stały monitoring ekosystemów przestał być wyłącznie domeną akademicką, stając się twardym wymogiem cywilizacyjnym. Przedstawiona praca odpowiada na to zapotrzebowanie. Wybór tematu rozprawy należy uznać za niezwykle trafny i wysoce aktualny z perspektywy współczesnych badań środowiskowych i geochemicznych. Systematyczny monitoring elementów środowiska jest kluczowy dla śledzenia presji antropogenicznej. Praca podejmuje ambitną próbę udowodnienia, że podpoziom detrytyczno-epihumusowy (Ofh) gleb leśnych w strefie klimatu umiarkowanego może z powodzeniem pełnić funkcję innowacyjnego geoindykatora dla specyficznych zanieczyszczeń, w tym pierwiastków śladowych oraz wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Odejście od traktowania powierzchniowej warstwy gleby jako jednorodnego "topsoilu" na rzecz analizy konkretnych poziomów i podpoziomów genetycznych jest nowoczesnym i metodologicznie uzasadnionym podejściem, które ułatwia precyzyjną ocenę skażenia.

4. Ocena metodyki badań i materiału badawczego

Jedną z najmocniejszych stron recenzowanej pracy jest jej rozbudowana i rzetelnie zaplanowana metodyka. Autorka oparła swoje wnioski na obszernym materiale badawczym, obejmującym 130

próbek gleb pobranych ze zróżnicowanych siedlisk (lasy liściaste, iglaste i mieszane) na obszarze Gór Świętokrzyskich.

Aparat analityczny zaprezentowany w dysertacji świadczy o wysokich kompetencjach warsztatowych Doktorantki. Zastosowano nowoczesny wachlarz technik badawczych:

- Chromatografię gazową sprzężoną ze spektrometrią mas (GC-MS) z uprzednio zoptymalizowaną ekstrakcją wspomaganą ultradźwiękami do precyzyjnego oznaczania WWA.
- Fluorescencyjną spektrometrię rentgenowską (XRF) i atomową spektrometrię absorpcyjną (AAS, w tym GFAAS i CVAAS) do analizy pierwiastków śladowych.
- Analizy uzupełniające, nadające pracy głęboki charakter wielowymiarowy: badania metodą Boehma (grupy funkcyjne), rentgenowską dyfraktometrię proszkową (XRPD) do wskaźnika krystaliczności oraz uzupełnienie w postaci skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM), pozwalające na ocenę porowatości struktury Ofh.

Podejście statystyczne z użyciem analizy głównych składowych (PCA), korelacji rang Spearmana oraz regresji wielorakiej pozwala na zaawansowaną interpretację uzyskanych wyników.

Podpoziom Ofh to specyficzna warstwa przypominająca „splątane włókna tytoniu". Badania potwierdziły, że różni się ona znacząco od poziomów podścielających:

- Posiada niższe pH (średnio 4,8 w porównaniu do 5,2 w poziomie A i 5,4 w poziomie AE).
- Charakteryzuje się bardzo wysoką zawartością glebowej materii organicznej (średnio 58,3% dla Ofh, podczas gdy poziom A zawierał jej 20,6%, a poziom AE zaledwie 4,08%).

Z uwagi na swoją budowę i właściwości fizykochemiczne, podpoziom Ofh działa na pierwiastki jak "naturalna gąbka".

- Odnotowano w nim najwyższe średnie stężenia kadmu (1,41 mg/kg), cynku (144 mg/kg) oraz rtęci (0,231 mg/kg).
- Wyjątek stanowił ołów (Pb), który wykazywał tendencję do silniejszej akumulacji w głębiej położonym poziomie A (średnio 123 mg/kg, podczas gdy w Ofh było to 63,7 mg/kg).
- Efektywność zatrzymywania rtęci i cynku była silnie powiązana z zawartością materii organicznej, natomiast akumulacja kadmu zależała przede wszystkim od pH gleby.

Akumulacja wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA):

- Najwyższą sumaryczną zawartość 16 analizowanych WWA zaobserwowano właśnie w podpoziomie Ofh (średnio 1547 µg/kg) w zestawieniu z poziomem A (1103 µg/kg) oraz AE (tylko 109 µg/kg).
- Zauważono zróżnicowane zachowanie poszczególnych frakcji węglowodorów: w podpoziomie Ofh dominowały najcięższe, 6-pierścieniowe WWA, w poziomie A dominowały WWA 4- i 5-pierścieniowe, a w najgłębszym poziomie AE przeważały lekkie, 3-pierścieniowe WWA.
- Wskaźniki diagnostyczne wykazały, że głównym źródłem odłożonych węglowodorów jest spalanie węgla, ropy naftowej oraz biomasy.

Praca ma ogromne znaczenie dla ekologii lasu, ponieważ rozkłada na czynniki pierwsze zjawisko tzw. *forest filter effect*. Wykazano, że włóknista struktura Ofh fizycznie zamyka wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) wewnątrz mikroporów, unieruchamiając je. Oznacza to, że Ofh działa jak tarcza chroniąca głębsze warstwy gleby oraz wody podziemne przed skażeniem. Ta wiedza ma bezpośrednie przełożenie na praktykę leśną: udowadnia na przykład, że promując lasy liściaste i mieszane (gdzie wyższe pH stymuluje mikrobiologiczny rozkład tych uwięzionych WWA) zamiast monokultur sosnowych, człowiek może aktywnie sterować procesem samooczyszczania się środowiska.

Na oficjalnej liście Międzynarodowej Unii Nauk Geologicznych znajduje się 27 zdefiniowanych geoindykatorów, z czego glebie przypisano zaledwie dwa ogólne hasła: „erozję" oraz „jakość". Postulat, aby to właśnie podpoziom Ofh stał się pełnoprawnym, znormalizowanym geoindykatorem zanieczyszczenia środowiska, był obecny w literaturze od 2008 roku (od prac prof. Migaszewskiego i prof. Gałuszki), jednak pozostawał hipotezą. Przedstawiona praca dostarcza obszernego dowodu statystycznego, wypełniając lukę w światowej pedologii i dając podstawę do aktualizacji wytycznych poboru próbek.

5. Omówienie i uwagi dotyczące przyjętych celów badawczych i uzyskanych wyników

Autorka w sposób rzetelny udowodniła postawione hipotezy badawcze. Wykazano m.in., że podpoziom Ofh wykazuje naturalne predyspozycje do działania jako „bariera geochemiczna" lub "naturalna gąbka", skutecznie zatrzymując metale takie jak kadm, rtęć i cynk, a także ciężkie, 6-pierścieniowe WWA. Udowodniono również konieczność rozróżniania poszczególnych (pod)poziomów glebowych w ocenie stanu środowiska, co ma fundamentalne znaczenie dla unikania błędnych klasyfikacji czystości gruntów przez jednostki kontrolujące.

Autorka zastosowała szeroki wachlarz zaawansowanych technik badawczych, co podnosi wiarygodność wyników. Wykorzystano m.in. chromatografię gazową sprzężoną ze spektrometrią mas (GC-MS) do oznaczania WWA, spektrometrię XRF i AAS do metali, a także rentgenowską dyfraktometrię proszkową (XRPD) i skaningową mikroskopię elektronową (SEM). Pobranie aż 130 próbek z 5 różnych lokalizacji, obejmujących zróżnicowane typy lasów (iglasty, liściasty, mieszany) oraz różne wysokości n.p.m., daje podstawę do formułowania uogólnionych wniosków. Zastosowanie zaawansowanych metod statystycznych, takich jak analiza głównych składowych (PCA), korelacje rang Spearmana oraz regresja wieloraka, pozwoliło na rzetelną identyfikację powiązań między różnymi parametrami glebowymi a akumulacją zanieczyszczeń. Praca łączy aspekty chemiczne, środowiskowe i pedologiczne, analizując nie tylko same zanieczyszczenia, ale i mechanizmy ich wiązania (np. wpływ krystaliczności, grup funkcyjnych oznaczanych metodą Boehma czy struktury porów).

6. Uwagi krytyczne

Uwagi recenzenta mają charakter porządkujący i nie wpływają na ogólną, bardzo wysoką ocenę rozprawy.

W rozprawie wielokrotnie podkreślany jest fakt, że podpoziom Ofh charakteryzuje się dużą aktywnością mikrobiologiczną i enzymatyczną, co kluczowo rzutuje na mechanizmy biodegradacji WWA. Jak jednak przyznaje Autorka, czynniki te nie były w pracy mierzalne ani uwzględniane. Stanowi to lukę badawczą, przez co obraz mechanizmów retencji/transformacji węglowodorów w tym poziomie jest niepełny. Model regresji wielorakiej tłumaczący zmienność WWA w podpoziomie Ofh okazał się statystycznie dość słaby (wyjaśniał zaledwie 33% wariancji). Wskazuje to pośrednio na to, że nie ujęto w analizie istotnych czynników determinujących to zjawisko, którymi mogły być właśnie wspomniane

wyżej braki parametrów mikrobiologicznych. Należy jednak podkreślić, że nie było to celem pracy i jest zrozumiałe ze względu na obszerność tego zagadnienia.

Autorka stawia w pracy hipotezy i wnioski dotyczące wpływu wysokości n.p.m. na badane parametry. Jaki był gradient topograficzny wybranych stanowisk badawczych? Czy różnice moga wynikac z specyficznych warunków mikrosiedliskowych, utrudniając jednoznaczne uogólnienie wniosków dotyczących wpływu wysokości w strefie umiarkowanej?

7. Wniosek końcowy

Praca doktorska mgr Agnieszki Olgi Sołtys jest wartościowym i niezwykle rzetelnym dziełem naukowym o dużym znaczeniu poznawczym i aplikacyjnym. Podjęty w rozprawie temat oraz wyniki badań są istotne dla rozwoju nauki i szeroko pojętej ochrony środowiska. Przeprowadzone badania stanowią cenne uzupełnienie dostępnej lietratury naukowej, a jednocześnie mogą stanowić solidną podstawę do kontynuowania tej tematyki badawczej.

Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca:

- stanowi oryginalne rozwiązanie problem naukowego,
- potwierdza ogólną wiedzę teoretyczną Doktorantki w dyscyplinie nauki chemiczne,
- potwierdza umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy badawczej przez Doktorantkę.

Stwierdzam, że rozprawa doktorska mgr Agnieszki Olgi Sołtys, pt. „Wykorzystanie podpoziomu glebowego Ofh jako geoindykatora w ocenie stanu środowiska", odpowiada wymogom określonym w Art. 187 ust. 1–3 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 z późn. zm.) i kieruje wniosek do Rady Naukowej Instytutu Chemii UJK o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Katarzyna Styszko