

prof. dr hab. inż. Lech Bałachowski
Katedra Geotechniki i Inżynierii Wodnej
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Politechnika Gdańska

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Ewy Iwanickiej
pt. „Ocena efektywności oczyszczania gruntów z substancji ropopochodnych
z uwzględnieniem warunków geotechnicznych”

promotor rozprawy: Prof. dr hab. inż. Eugeniusz Koda
promotor pomocniczy: Dr inż. Agnieszka Kiersnowska

1. Podstawa opracowania

Niniejszą recenzję pracy doktorskiej sporządziłem na podstawie uchwały Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie i otrzymanego egzemplarza rozprawy.

2. Tematyka i cel rozprawy

Przedmiotem rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Ewy Iwanickiej jest zagadnienie remediacji gruntów zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi. Na podstawie zebranych materiałów doświadczalnych na rzeczywistych obiektach badawczych, Autorka analizuje efektywność procesu oczyszczania różnego rodzaju gruntów z zastosowaniem wybranych metod remediacji podłoża gruntowego. Tematyka rozprawy, o niezwykle aktualnym charakterze, dotyczy zagadnień oceny stanu zanieczyszczonego podłoża, doboru metody jego oczyszczania, projektowania instalacji do remediacji gruntu oraz monitoringu tego procesu. Związana jest z występowaniem w gruncie zanieczyszczeń substancjami ropopochodnymi oraz koniecznością zagospodarowania i wykorzystania terenów przemysłowych, charakteryzujących się występowaniem gruntów zdegradowanych i zanieczyszczonych. Celem rozprawy jest analiza skuteczności różnych metod oczyszczania takich gruntów w wybranych lokalizacjach (obektach badawczych) oraz opracowanie propozycji wieloetapowego sposobu postępowania w przypadku wystąpienia zanieczyszczenia podłoża.

3. Ogólna charakterystyka rozprawy

Recenzowana praca zawiera 224 strony tekstu z uwzględnieniem streszczeń w języku polskim i angielskim, spisu treści, wykazu ważniejszych symboli, oznaczeń i skrótów oraz listy rysunków i tabel. Rozprawa liczy ponadto 36 stron załączników zawierających profile sondowań środowiskowych i charakteryzujących wybrane obiekty badawcze oraz zebrane na nich dane doświadczalne.

Doktorantka podzieliła tekst rozprawy doktorskiej na dziewięć rozdziałów o zróżnicowanej objętości. Krótki rozdział pierwszy stanowi wprowadzenie do zagadnienia gruntów zanieczyszczonych. Autorka przedstawia tu cel i zakres pracy oraz uzasadnia wybór tematu.

W rozdziale drugim przedstawiono podstawowe źródła i rodzaje zanieczyszczeń gruntu oraz podział substancji ropopochodnych. Omówiono też mechanizmy ich rozkładu oraz zjawisko migracji zanieczyszczeń w gruncie. Autorka przedstawia analizę ryzyka dla substancji o działaniu toksycznym, rakotwórczym lub mutagennym oraz definiuje szereg współczynników charakteryzujących zagrożenie oddziaływaniem takich substancji na człowieka i środowisko.

W rozdziale trzecim Doktorantka definiuje podstawowe pojęcia związane z rekultywacją i rewitalizacją terenów poprzemysłowych. Omawia obowiązujące przepisy w zakresie remediacji i rekultywacji oraz przytacza listę związanych z tym tematem ustaw i rozporządzeń. Przedstawia pojęcie historycznych zanieczyszczeń powierzchni ziemi i szkód w środowisku oraz ich rejestr prowadzony przez Generalną Dyрекcję Ochrony Środowiska. Autorka podkreśla konieczność wielofunkcyjnego podejścia do rewitalizacji terenów poprzemysłowych i jednoczesnego stosowania wielu działań naprawczych. Odwołuje się tutaj do doświadczeń Amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (EPA) oraz europejskiej grupy roboczej CLARINET.

W rozdziale czwartym Doktorantka opisuje pięcioetapową procedurę oceny zanieczyszczenia gruntu obowiązującą w Polsce. Odwołuje się też do sposobu oceny zanieczyszczeń w innych krajach. Omawia poszczególne etapy tego postępowania z odpowiednim szczegółowym komentarzem dotyczącym przepisów prawnych i ich stosowania. Szczególną uwagę poświęca podziałowi rozpatrywanego obszaru na sekcje i lokalizacji punktów poboru próbek gruntu do badań. Podkreśla konieczność wykonywania badań nie tylko samego podłoża, ale również ewentualnych nasypów, często o niewiadomym pochodzeniu i nierozpoznanej strukturze, które też mogą być źródłem potencjalnego zanieczyszczenia.

Rozdział piąty stanowi jeden z zasadniczych elementów rozprawy, w którym Autorka przedstawia metody badań podłoża w gruntach zanieczyszczonych oraz dyskutuje wpływ zanieczyszczeń na parametry geotechniczne. Analizuje metody poboru próbek przy wierceniu świdrem spiralnym i wierceniach rdzeniowych, zwłaszcza w technologii 'direct push'. Najbardziej interesującym elementem tego rozdziału jest opis wykorzystania sond środowiskowych do oceny rozkładu i stężenia zanieczyszczeń w danym profilu gruntowym. Mgr inż. Ewa Iwanicka omawia zastosowanie dwóch rodzajów sond: Optical Interface Probe (OIP) oraz Membrane Interface Probe (MIP). Ostatnia sonda może być wyposażona w różne czujniki gazu, pozwalające na wykrycie i bardzo precyzyjne określenie stężenia różnych zanieczyszczeń węglowodorowych. Oba te urządzenia są praktycznie szerzej nieznane i niestosowane na terenie Polski. Dodatkowo, Autorka omawia niepewności związane z poborem próbek gruntu. Podsumowaniem tego rozdziału jest opis wpływu zanieczyszczeń na parametry geotechniczne podłoża. Doktorantka przeprowadziła też własną analizę wpływu zanieczyszczeń na wytrzymałość, odkształcalność, zagęszczalność, wodoprzepuszczalność i granice konsystencji gruntu i sformułowała ocenę wpływu tych zanieczyszczeń na omawiane parametry geotechniczne w skali od 1 do 10.

W rozdziale szóstym Autorka, po krótkim wprowadzeniu, szczegółowo opisuje metody remediacji oraz określa zakres ich stosowania, z podziałem na zanieczyszczenia związkami organicznymi i nieorganicznymi. Wyodrębnia metody biologiczne, chemiczne oraz fizyczne. Podkreśla, że ze względu na złożoność procesu oczyszczania i dążenie do podniesienia jego skuteczności istnieje konieczność łącznego stosowania kilku metod oczyszczania podłoża (podejście hybrydowe). Wybór optymalnej

metody będzie zależał od rodzaju gruntu i zanieczyszczenia oraz od stężenia substancji i jej rozkładu w gruncie.

Rozdział siódmy stanowi zasadniczy element rozprawy, gdzie Doktorantka przedstawia mapę rozważanych obiektów badawczych i wyróżnia 5 wybranych spośród nich obiektów do bardziej pogłębionych analiz przedstawionych w rozprawie. Cztery przypadki dotyczą podłoża zbudowanego z gruntów niespoistych, a jeden z nich obejmuje sytuację, w której występują zarówno grunty spoiste, jak i niespoiste. We wszystkich przypadkach wystąpiło skażenie substancjami ropopochodnymi w strefie przypowierzchniowej (do 0,25m) lub na większych głębokościach. Wybrane do analiz przypadki uwzględniają wszystkie trzy rodzaje metod aktywnej remediacji (in-situ, on-site i ex-situ). Autorka szczegółowo omawia budowę podłoża, historię terenu, źródła występowania zanieczyszczeń, ich rozkłady i stężenia przed przystąpieniem do oczyszczania oraz techniki remediacji dla każdej z analizowanych lokalizacji. Przedstawia wyniki pomiarów stężeń zanieczyszczeń podczas procesu oczyszczania wraz z docelowym wymaganym maksymalnym stężeniem dopuszczalnym dla danej kategorii terenu, zagłębienia, współczynnika wodoprzepuszczalności gruntu oraz rodzaju substancji zanieczyszczającej. Doktorantka ocenia również skuteczność procesu remediacji na wybranych obiektach dla różnych frakcji zanieczyszczeń i poziomów głębokości. Rozdział ten zakończony jest krótkim podsumowaniem dotyczącym skuteczności poszczególnych metod w danych warunkach gruntowych i przy zastosowanych instalacjach.

W rozdziale ósmym Doktorantka analizuje proces remediacji gruntu i proponuje sposób postępowania (algorytm) dotyczący przebiegu całego tego procesu, ze szczególnym uwzględnieniem wyboru lub modyfikacji stosowanej metody oczyszczania podłoża. Całe postępowanie podzieliła na osiem etapów. Autorka podkreśla tu szczególną wagę testów pilotażowych przy wyborze optymalnych parametrów oczyszczania oraz monitoringu przy ocenie skuteczności przebiegu remediacji.

W rozdziale ostatnim Doktorantka zwięźle podsumowuje rozprawę i przedstawia rozbudowaną listę wniosków końcowych. Podaje wnioski szczegółowe wynikające z doświadczeń i analiz pomiarów na wybranych obiektach badawczych i kreśli kierunki dalszych badań.

4. Ocena merytoryczna pracy

Rozprawa doktorska mgr inż. Ewy Iwanickiej dotyczy oczyszczania podłoża gruntowego zanieczyszczonego substancjami ropopochodnymi. Praca ma charakter doświadczalny z wykorzystaniem wyników badań przeprowadzonych w skali naturalnej na obiektach rzeczywistych. Po przeanalizowaniu kilkudziesięciu lokalizacji na terenie całej Polski, Autorka wybrała pięć obiektów badawczych do bardziej szczegółowej analizy. Obiekty te można potraktować jako reprezentatywne, rozmieszczone równomiernie w centralnej części Polski i dotyczące podłoża zanieczyszczonego różnego rodzaju działalnością przemysłową. W czterech z nich występowały wyłącznie grunty piaszczyste, natomiast w obiekcie nr 5, charakteryzującym się bardziej złożoną budową podłoża, grunty spoiste i niespoiste.

W obiekcie nr 1 zastosowano bioremediację on-site wydobytego gruntu. Autorka opisuje przygotowanie i uszczelnienie podłoża pod przyzmą, formowanie przyzmy, lokalizację punktów kontrolnych podczas monitoringu procesu oczyszczania. Przedstawia spadek stężenia zanieczyszczeń obserwowany w kolejnych seriach pomiarowych, porównując je do wartości dopuszczalnych w danym rodzaju gruntu, dla określonej kategorii terenu oraz zakresu głębokości. W obiektach nr 2 i 3 zastosowano metodę bioremediacji in-situ, gdzie odpowiednio przygotowane biopreparaty iniektowano w studniach piezometrycznych oraz zraszano nimi powierzchnię terenu. W obiekcie nr 4

wykorzystano metodę bioremediacji in-situ poprzez zraszanie powierzchni gruntu roztworem zawierającym mikroorganizmy i wzbogaconym zawartością związków azotu i fosforu. W obiekcie nr 5 założono bioremediację in-situ z iniekcją biopreparatu do studni piezometrycznych i zraszanie powierzchni terenu z dodatkiem biopreparatu. Zebranie i analiza danych uzyskanych podczas procesu oczyszczania gruntu na obiektach rzeczywistych stanowi najważniejszą wartość recenzowanej rozprawy doktorskiej. Dane te pozwoliły na oszacowanie krotności przekroczeń wartości dopuszczalnych stężeń oraz efektywności remediacji na poszczególnych obiektach badawczych. Autorka wnioskuje, że wysoka krotność przekroczeń stężeń dopuszczalnych wymaga intensywnych i długotrwałych działań remediacyjnych oraz zastosowania metod hybrydowych. Podkreśla, że niejednorodna, zróżnicowana budowa podłoża oraz obecność gruntów słaboprzepuszczalnych obniża efektywność remediacji oraz wymaga bardziej intensywnych i długotrwałych zabiegów remediacji. W oparciu o własne doświadczenia podczas realizacji działań remediacyjnych oraz analizę danych na rozpatrywanych obiektach badawczych, Autorka proponuje pewien całościowy sposób postępowania podczas procesu remediacji poczynając od analizy historycznej terenu, poprzez badania pilotażowe i dobór lub zmianę technologii remediacji, kończąc na monitoringu i ocenie skuteczności podjętych działań.

Do najważniejszych osiągnięć ocenianej rozprawy doktorskiej zaliczam:

- właściwy, reprezentatywny dobór obiektów badawczych o zróżnicowanej budowie podłoża i różnym rozkładzie i zakresie stężeń zanieczyszczeń substancjami ropopochodnymi,
- zastosowanie różnych metod remediacji na analizowanych obiektach,
- opis technik remediacji i działania monitoringu na poszczególnych obiektach,
- analizę wyników działań remediacyjnych i określenie ich skuteczności,
- propozycję algorytmu, w postaci schematu blokowego, opisującego cały proces remediacji, z uwzględnieniem zmian, które mogą wystąpić.
- opis dwóch nowych metod sondowań środowiskowych.

Chciałbym ponadto podkreślić interdyscyplinarny charakter rozprawy, na pograniczu chemii, inżynierii środowiska, geologii i geotechniki. Autorka zrealizowała obszerny program długotrwałych badań doświadczalnych w terenie i przedstawiła szczegółową analizę uzyskanych wyników. Na podstawie zebranego doświadczenia zawodowego oraz zrealizowanych prac badawczych Doktorantka sformułowała szczegółowy, wielowariantowy sposób postępowania podczas procesu remediacji oraz nakreśliła kierunki przyszłych działań.

5. Uwagi dyskusyjne i krytyczne

Omawiając mechanizmy migracji zanieczyszczeń Autorka uwzględnia w tekście adwekcję i adsorpcję, a pomija dyspersję i biodegradację (rozważa je we wzorze 2.1). Jaki jest wpływ desorpcji na migrację zanieczyszczeń?

W rozdziale 5.4 Autorka omawia zastosowanie dwóch rodzajów sond: Optical Interface Probe (OIP) oraz Membrane Interface Probe (MIP). Stanowią one bardzo nowatorskie i zaawansowane narzędzia badań polowych rozkładu i stanu zanieczyszczenia węglowodorami w gruncie, pozwalające na

uzyskanie ciągłego profilu zanieczyszczeń w danym węźle sondowania. Urządzenia te są praktycznie nieznane w Polsce i szkoda, że nie opisano dokładniej parametrów rejestrowanych podczas sondowania, ani nie skomentowano uzyskanych wyników. Co oznaczają sformułowania captured, analyzed, overlayed oraz oznaczenia głębokości w nagłówku wykresu. Czy w badaniach tych rejestrowane są również klasyczne pomiary, takie jak podczas sondowania statycznego metodą CPTU? Czy omawiane badania pozwalają na oszacowanie rodzaju i stanu samego gruntu i jego wodoprzepuszczalności poprzez odpowiednie korelacje, czy jedynie koncentrują się na danych środowiskowych i wymagają przeprowadzenia dodatkowych badań geotechnicznych?

W rozdziale 5.7 Doktorantka omawia wpływ zanieczyszczeń na wybrane parametry geotechniczne. W rozdziale tym należałoby również uwzględnić paragraf dotyczący tego zagadnienia na stronie 68. Autorka omawia zagadnienie wpływu stężenia zanieczyszczenia na parametry podłoża. Jak zmieniają się parametry geotechniczne po remediacji lub naturalnej degradacji zanieczyszczeń. Czy parametry te powracają do wartości pierwotnych (przed wprowadzeniem zanieczyszczenia) tj. czy proces ten jest w pełni odwracalny?

We wprowadzeniu do remediacji (rozdział 6.1) Doktorantka pomija grupę metod „on-site”. Przydałby się bardziej szczegółowy opis na czym polegają poszczególne grupy metod remediacji. Przedstawiony w kolejnych podrozdziałach opis poszczególnych metod wymaga usystematyzowania. Rozdział 6.6 powinien raczej nosić nazwę immobilizacja i mógłby być połączony z 6.7. Warto byłoby tu też opisać technologię wgłębnego mieszania, zwłaszcza z dodatkiem spoiw alternatywnych. Należy jednak podkreślić, że w takim przypadku nie zachodzi jednak zjawisko remediacji, a zanieczyszczenia są jedynie związane ze szkieletem gruntowym. Rozdział 6.8 nazwałbym zastosowanie barier, z opisem barier zupełnych i zawieszonych oraz studni obniżających zwierciadło wody gruntowej w obrębie zanieczyszczonego obszaru. Rozdział 6.15 - Desorpcja par należałoby połączyć z rozdziałem 6.4.

W przypadku remediacji z wykorzystaniem przyzmy brakuje schematu obiegu wody na stanowisku, z pokazaniem systemu jej oczyszczania. Autorka przedstawia wyniki pomiarów stężenia zanieczyszczeń w poszczególnych seriach pomiarowych. Brakuje komentarza odnośnie czasu trwania całego procesu i czy serie te rejestrowano w jednakowych odstępach czasowych. Na wykresach pokazano najprawdopodobniej wartości uśrednione stężenia zanieczyszczeń. Jakie były odchylenia od tej średniej w obrębie danego stanowiska badawczego? Jak realizowano proces monitoringu wilgotności i stężenia zanieczyszczeń na stanowisku badawczym (czujniki, pobór próbek)? Należałoby również nanieść poziom zwierciadła wody gruntowej, o ile występuje w strefie oddziaływania procesu remediacji. Jakie były proporcje między ilością zastosowanej substancji zraszającej a iniektowanej w otworach.

Na czym polegał proces monitoringu w przypadku iniekcji biopreparatu w studni? Czy instalowano dodatkowe studnie kontrolne poza obszarem oczyszczanym? Czy w przedstawionych obiektach realizowano badania pilotażowe?

Czy biopreparaty, kultury bakterii i ich stężenia oraz dodatki substancji odżywczych były różne na poszczególnych stanowiskach badawczych? W jakich warunkach odbywała się ich hodowla oraz w jakiej porze roku (warunkach termicznych i wilgotności podłoża) przeprowadzono badania. Jak wpłynęło to uzyskaną efektywność remediacji? Czy termin ten rzeczywiście właściwie opisuje skuteczność remediacji?

Autorka rozprawy nie ustrzegła się pewnych błędów językowych, wynikających często z bezpośredniego tłumaczenia pojęć z języka angielskiego. Doktorantka często stosuje skrótowce bez ich rozwinięcia. Praca wymaga też pewnego uprządkowania, poprawy błędów edytorskich oraz ujednolicenia pojęć w tekście i na rysunkach. Należy zwrócić tutaj uwagę zwłaszcza na wyraźne rozróżnienie między gruntem a glebą. Szczegółowe uwagi w tym zakresie przekazałem Doktorantce.

6. Podsumowanie i wniosek końcowy

Rozprawa doktorska Pani mgr inż. Ewy Iwanickiej stanowi ważny wkład w projektowanie i analizę procesu remediacji gruntów zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi. Praca ta stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, dotyczy ważnego i aktualnego problemu inżynierskiego i wnosi istotne elementy poznawcze. Oceniana rozprawa doktorska spełnia wymogi określone w odpowiednich przepisach. Pragnę podkreślić, że Autorka wykazuje się w rozprawie umiejętnością prowadzenia badań doświadczalnych i analiz w dyscyplinie Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport. Zawarte w pracy sformułowania i rozwiązania problemu badawczego potwierdzają, że Doktorantka zgodnie z ustawą z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2024, poz. 1571 z późn. zm.) sprostała wymaganiom stawianym kandydatom do stopnia naukowego doktora. Wnioskuje o dopuszczenie rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Ewy Iwanickiej pt. „Ocena efektywności oczyszczania gruntów z substancji ropopochodnych z uwzględnieniem warunków geotechnicznych” do publicznej obrony.

