

Recenzja

Rozprawy doktorskiej M. Sc. Akinniyi Akinsunmade

pt. *“Application of geophysical methods for the evaluation of soil physical properties”*

Podstawą recenzji jest pismo prof. dr hab. inż. Jacka Matyszkiewicza Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej „Nauki o Ziemi i Środowisku” Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie z dnia 24 września 2021 r. oraz rozprawa doktorska M. Sc. Akinniyi Akinsunmade pt. “Application of geophysical methods for the evaluation of soil physical properties”.

Ocena formalna pracy

M. Sc. Akinniyi Akinsunmade swoją rozprawę doktorską wykonał pod kierunkiem Pani promotora dr hab. inż. Sylwii Tomeckiej-Suchoń, prof. AGH oraz Pana promotora pomocniczego dr inż. Mirosława Zagórdy. Głównym celem przeprowadzonych badań było wyznaczenie i ocena podstawowych właściwości fizycznych gleby, takich jak wilgotność, potencjał matrycowy, zwartość gleby/opór penetracji, porowatość, gęstość objętościowa, za pomocą metod geofizycznych (terenowych) i klasycznych metod laboratoryjnych.

Rozprawa doktorska jest napisana w języku angielskim i składa się ze 176 stron maszynopisu, zawierającego 163 numerowane strony tekstu (łącznie z tabelami, rysunkami i wykresami) i spisem 178 pozycji cytowanej literatury. Wszystkie cytowane artykuły, prace monograficzne i inne opracowania naukowe są ściśle związane z tematyką rozprawy doktorskiej. Przegląd literatury wskazuje, że doktorant zapoznał się dokładnie z krajową i zagraniczną literaturą przedmiotu badań. Rozprawa zawiera również 10 początkowych, nienumerowanych cyframi arabskimi, stron zawierających ogólne informacje o dysertacji (streszczenie, spis treści, spis rysunków i tabel, podziękowania, oświadczenie autora o samodzielnym wykonaniu pomiarów i ich opracowaniu oraz iż nie zostały one wcześniej zgłoszone jako podstawa do uzyskania stopnia naukowego lub kwalifikacji zawodowej, a także o wykorzystaniu części wyników zawartych w 3 autorskich i współautorskich publikacjach opublikowanych w 2019 i 2021 roku).

Rozprawa jest podzielona na dwie części, obejmujące w sumie sześć rozdziałów. Pierwszy rozdział to wstęp (*Introduction*) zawierający zwięzłe informacje dotyczące gleby, procesu jej powstawania, klasyfikację gleb, głównych właściwości fizycznych gleb oraz metod badania materiału glebowego, z szczególnym uwzględnieniem metod klasycznych i geofizycznych. Informacje te poparte są króciutkim przeglądem literatury. W rozdziale tym jest także zdefiniowana tematyka badań, przedstawiona hipoteza badawcza oraz cel badań (*Aim and objectives of research study; Hypothesis*). Zakończeniem tej sekcji jest krótki opis struktury i układu rozprawy doktorskiej.

Rozdziały 2 i 3 w Części I (*Research design and Basic principles of methods of research*) rozprawy zawierają obszerny przegląd literatury dotyczący różnych metod badania właściwości gleb, w tym zwłaszcza przegląd dotyczący geofizycznych badań gleb, pod kątem oceny metodologii, otrzymanych pomiarów i ich interpretacji. W rozdziale tym przedstawiono podstawy teoretyczne pomiarów georadarowych, aparaturę georadarową, teorię propagacji fal elektromagnetycznych oraz podstawy metody obrazowania hiperspektralnego.

W rozdziale 4 (*Methods of data acquisitions, analysis and research materials*) przedstawiono metodologię pomiarów polowych, pobierania próbek glebowych, sposoby przetwarzania i analizy danych pomiarowych. Przedstawiono także sprzęt pomocniczy i oprogramowanie mające na celu matematyczną obróbkę danych z uwzględnieniem koherentnej i losowej redukcji szumów. Pomimo tego, że główną metodą badawczą jest metoda GPR to podobne postępowanie zastosowano przy obróbce, przetwarzaniu i analizie danych uzyskanych metodami komplementarnymi do metody GPR. W rozdziale 5 (*Results and discussion*) zestawiono wyniki oszacowania badanych podstawowych właściwości fizycznych gleby, oceny i analizy danych pomiarów terenowych z czterech obiektów badawczych, zaprezentowano je w postaci skanów, krzywych, obrazów, tabel i map, które zostały szczegółowo omówione.

Podsumowanie i wnioski wyciągnięte na podstawie analizowanych wyników badań zamieszczono w rozdziale 6 (*Conclusions and recommendations*). W rozdziale tym przedstawiono także kierunki i perspektywy dalszych badań właściwości gleb z wykorzystaniem metod georadarowych.

Konstrukcja rozprawy doktorskiej jest właściwa dla tego typu opracowania.

Ocena merytoryczna pracy

Tematyka rozprawy dotyczy oceny niektórych właściwości fizycznych gleb (zawartość wilgoci, potencjał matrycowy, zwartość gleby/opór penetracji, porowatość, gęstość

objętościowa) w dużej skali, minimum w skali pola, z wykorzystaniem metody georadarowej, wspomaganej innymi metodami geofizycznymi oraz wynikami badań laboratoryjnych. Doktorant podjął się ambitnego zadania, zważywszy na złożony charakter gleby oraz ograniczeń wybranych metod badawczych. Truizmem jest stwierdzenie, że gleba jest materiałem wielofazowym, o wysokim stopniu niejednorodności i bardzo zróżnicowanej strukturze. Dlatego też selektywne, dokładne i nieniszczące pomiary właściwości fizycznych i chemicznych takich obiektów za pomocą metod analitycznych jest niezmiernie trudnym i skomplikowanym zadaniem.

Monitoring wilgotności gleby staje się obecnie bardzo ważnym zagadnieniem w świetle zmniejszania się zasobów wodnych. W czasie, gdy coraz częściej mamy do czynienia z anomaliami pogodowymi, związanymi z nadmiarem wody albo jej długotrwałym brakiem, monitorowanie jej zawartości w wierzchnich warstwach gleby i profilu glebowym zaczyna odgrywać decydującą rolę, umożliwiającą modelowanie hydrologiczne i klimatyczne, weryfikację tych modeli oraz dostarczanie informacji potrzebnych do interpretacji zdjęć satelitarnych. Dostosowanie parametrów gleby, np. wilgotności, do potrzeb roślin na dużych obszarach rolniczych, nazywane rolnictwem precyzyjnym, wymaga optymalnego doboru powyższych parametrów oraz ich powiązania z odpowiednim dawkowaniem nawozów, w celu uzyskania efektów zarówno ekonomicznych, jak i ochrony środowiska przyrodniczego.

Stan uwilgotnienia i jego zmiany w skali pola mogą być dobrze zbadane i opisane przez pomiary punktowe. Jednak obserwacja tą techniką zjawisk odbywających się w większych skalach byłaby bardzo pracochłonna, czasochłonna i kosztowna. Wyznaczanie wilgotności gleby w sposób bezpośredni można przeprowadzać przy zastosowaniu metody termograwimetrycznej zwanej potocznie „suszarkową”. Duża dokładność określania wilgotności gleb jaką zapewnia metoda termograwimetryczna stanowi referencyjne odniesienie dla innych metod pomiarowych. Ocena wilgotności gleby za pomocą tradycyjnej metody termograwimetrycznej jest procesem czasochłonnym, pracochłonnym oraz kosztownym. Ponadto pomiar wilgotności z wykorzystaniem tej w metody wymaga naruszenia struktury powierzchni badanej gleby, a wysoka temperatura usuwania wody z próbek glebowych powoduje nieodwracalne zmiany w jej właściwościach fizycznych oraz składzie chemicznym. Monitorowanie wilgotności gleby za pomocą metod pośrednich daje możliwość otrzymania wyniku w krótkim czasie bez konieczności większej ingerencji w strukturę badanego obiektu.

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska koncentruje się na możliwościach pomiarowych metody georadarowej (GPR), aparaturze, metodyce wykonania pomiarów

terenowych i obróbce uzyskanych danych oraz porównaniu otrzymanych wyników z wynikami innych metod, tj. metody przewodnictwa elektromagnetycznego (EM) i obrazowania hiperspektralnego oraz wynikami analizy laboratoryjnej pobranych próbek glebowych. Dyskusja danych otrzymanych z różnych metod miała na celu wykazaniu możliwości zastosowania metody georadarowej do wyznaczenia wilgotności, potencjału matrycowego, zwartości/oporu penetracji, porowatości i gęstości objętościowej gleby. Zdaniem Autora inne metody geofizyczne, takie jak np. metody elektryczne i elektromagnetyczne posiadają pewne ograniczenia, których nie ma metoda GPR lub która pozwala je zminimalizować. Co więcej, większość wyników dotyczących oceny gleby, w których wykorzystano georadarma jakościowy charakter. Doktorant podkreśla, że w rozprawie doktorskiej została podjęta próba ilościowej oceny parametrów fizycznych gleby otrzymanych metodą georadarową i skorelowania ich z wynikami metody konwencjonalnej w udowodnienia prawdziwości hipotezy sformułowanej na początku badań. Przewiduje On również, że te ilościowe parametry gleby mogą być przydatne w rolnictwie precyzyjnym, umożliwiając maksymalizację zarówno produkcji żywności, jak też efektywności wykorzystania zasobów, bez strat i szkód dla środowiska.

Takie podejście do zagadnienia wykorzystania metody georadarowej połączonej z metodami przewodnictwa elektromagnetycznego, obrazowania hiperspektralnego i metodą laboratoryjną dowodzi, że wybór tematu rozprawy doktorskiej jest uzasadniony, a problematyka ważna i ciągle aktualna. Cel główny, postawiona teza i cele szczegółowe pracy, zostały jasno przedstawione i były konsekwentnie realizowane.

Badania geofizyczne i laboratoryjne prowadzono na glebach uprawnych zlokalizowanych w okolicy Krakowa – Brzezińce, Kiertz, Kryspinowie i na terenie przy ulicy Balickiej w Krakowie. Badania prowadzono także na glebie sztucznie zagęszczonej podczas przejazdu traktora, symulującego ruch ciężkich maszyn rolniczych. Zbadano również wpływ infiltracji wody w glebie na wyniki pomiarów metodą GPR. Przeprowadzono symulację procesu infiltracji wody w glebie poprzez dodanie znanej objętości wody wzdłuż części transeptów, a po upływie 1 godziny wykonano pomiary GPR i oceniono wartość potencjału matrycowego wody. Do badań laboratoryjnych do cylinderków pobrano nienaruszone próbki glebowe z podpowierzchniowej warstwy gleby z różnych głębokości (do 10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm).

Rozdziały 4, 5 i 6 stanowią najważniejszą część rozprawy. Na podstawie danych literaturowych Doktorant stworzył hipotetyczny model gleby składający się z trzech warstw, którym przypisał wartości liczbowe względnej przenikalności dielektrycznej i magnetycznej oraz przewodnictwa, a także przyjęte rozmiary modelu i jego parametry (Tab. 4.1).

Na podstawie modelu uzyskał informacje o parametrach wejściowych i częstotliwości anteny (częstotliwość środkowa 800 MHz, długość fali 0,125 m przy prędkości transmisji 0,1m/ns i względnej przenikalności 10), które można wykorzystać do pomiarów terenowych. W tej części rozprawy Autor przedstawił obszernie metodykę badań GPR, w tym także parametry dla gleb zagęszczonych (Tab. 4.2, 4.3, 4.4), akwizycję danych terenowych i sposoby ich przetwarzania. Dane GPR z pomiarów polowych zostały przedstawione w postaci wykresów 2D i 3D w zależności od sposobu zbierania danych. Dane z pomiarów EM przedstawiono jako profile i przekroje głębokościowe pokazujące zmiany pozornej przenikalności. Dane obrazowania hiperpektralnego przedstawiono jako wykresy refleksyjności widmowej w funkcji długości fali dla badanych poziomów gleby. Obrazy uzyskane bezpośrednio z badań metodą georadarową zostały poddane obróbce z wykorzystaniem komercyjnych programów numerycznych, wprowadzając zmiany poszczególnych parametrów pomiarowych oraz stosując filtry. Przetworzone dane przedstawiono w postaci łatwych do interpretacji obrazów, wykresów i map. Autor wizualizuje i ilustruje materiałem fotograficznym, szeregiem schematów i rysunków, wykorzystywaną do badań aparaturę, poszczególne procedury, profile glebowe itd. co znacznie poprawia przekaz informacyjny. W mojej ocenie jest to jedną z zalet tej rozprawy.

Podrozdziały dotyczące porównania wyników, głównie, wilgotności gleby, stanowią bazę do potwierdzenia prawidłowości celu rozprawy i założonej hipotezy badawczej.

Doktorant zamieścił wyniki pomiarów terenowych GPR dla obiektu Brzezinka w Tab. 5.2, a w Tab. 5.3 i Tab. 5.4 porównanie wyników otrzymanych metodą GPR i wyników laboratoryjnych dla obiektu przy ulicy. Balickiej w Krakowie oraz obiektu Brzezinka. Dla obu lokalizacji tylko dla zależności pomiędzy objętościową zawartością wody oszacowaną obiema metodami współczynniki korelacji są powyżej 0,5 (Rys. 5.18 i Rys. 5.19). Zdaniem Doktoranta dodatnia korelacja wyników z obu metod pomiędzy objętościową zawartością wody, gęstością objętościową i porowatością oraz podobny, dodatni trend zależności wskazują na związek pomiędzy tymi podejściami pomiarowymi i pozwala na zamienne stosowanie obu metod do oceny podstawowych właściwości fizycznych gleby. Ponadto pomiary w skali pola pozwalają na oszacowanie właściwości fizycznych *in-situ*. Przedstawione na rysunkach zależności potwierdzają postawiony na wstępie cel rozprawy i założoną hipotezę badawczą.

W tych samych punktach pomiarowych obiektu Brzezinka dla których prowadzono pomiary GPR, przeprowadzono także pomiary przewodnictwa elektromagnetycznego. Oszacowane wyniki przewodnictwa elektromagnetycznego, przewodności, przenikalności

względnej, porowatości i gęstości Autor zestawiał w Tab. 5.6. Wartości przewodnictwa elektromagnetycznego gleby i objętościowej zawartości wody porównano z obliczonymi wartościami przenikalności względnej. Współczynniki korelacji badanych zależności (Rys. 5.25 a i b) były niskie ($r=0,3$), ale trend zależności był dodatni. Według Doktoranta wskazuje to podobieństwo oszacowanej ilości objętościowej zawartości wody na podstawie danych terenowych GPR i pomiaru przewodnictwa (EM). Mapy georadarowe wizualizujące wartość przewodnictwa w różnych punktach obiektu Brzezinka oszacowane z pomiarów GPR i EM wskazują na wyraźną zmianę przewodnictwa na różnej głębokości profilu glebowego (Rys. 5.26).

Najbardziej lakoniczna i tylko jakościowa jest analiza danych obrazowania hiperspektralnego otrzymanych dla punktów 1, 2 i 3 obiektu Brzezinka. Jakościowa analiza tych danych sugeruje możliwy wzrost zawartości wody glebowej w warstwach podpoziomów w porównaniu do warstwy powierzchniowej (Rys. 2.28a i b). Wyjątek stanowi analiza danych dla punktu 3 (Rys. 2.28c) sugerująca spadek zawartości wody glebowej w głębszych podpoziomach. Porównanie tych wyników zawartości wody glebowej z wynikami oszacowanymi metodą GPR i przewodnictwa EM (Rys. 5.27 i Tab. 5.6) pozwala na postawienie tezy o istnieniu korelacji wyników otrzymanych różnymi metodami.

Podsumowujący wyniki powyżej przedstawionych badań metodą GPR, metodą EM i obrazowania hiperspektralnego jest krótki podrozdział 5.5 (*Comparison of laboratory (point) and field scales data analysis results*), w którym porównano wyniki pomiarów punktowych (laboratoryjnych) i terenowych na wybranym profilu glebowym. Porównanie rozkładu wilgotności objętościowej oszacowanej na podstawie pomiarów punktowych i skanu GPR przedstawiono na Rys. 5.29. Jak z rysunku zmienności przestrzennej i głębokościowej wilgotności wynika, że oba podejścia wzajemnie się uzupełniają. Dzięki technice GPR można skutecznie monitorować czasowe zmiany w glebie.

Podsumowanie i wnioski wynikają z rezultatów przeprowadzonych badań i są merytorycznie uzasadnione. Główny wniosek to stwierdzenie, że wyniki oraz trendy zależności pomiędzy wynikami otrzymanymi z różnych badań i różnymi metodami wskazują na możliwość ilościowej oceny właściwości fizycznych gleby. Także wartości współczynników korelacji pomiędzy danymi otrzymanymi z wykorzystanymi w tej rozprawie metodami zwiększają wiarygodność wyników uzyskanych metodą GPR. Stąd wniosek, iż wiedza pozyskana z pomiarów georadarowych powinna być poparta wynikami z innych badań wykonywanych równolegle na tym samym obszarze.

Uwagi i fragmenty rozprawy wymagające wyjaśnienia

W recenzowanej, nowej wersji rozprawy doktorskiej Doktorant bardziej szczegółowo opisał i zilustrował obiekty badań, uwzględnił także moje uwagi i spostrzeżenia, które zawarłam w poprzedniej recenzji. Podjęte przez Doktoranta wyjaśnienia i działania są dla mnie wystarczające, odnoszę się do nich pozytywnie. W związku z tym nie mam innych uwag i zastrzeżeń dotyczących nowej wersji rozprawy doktorskiej M. Sc. Akinniyi Akinsunmade pt. *“Application of geophysical methods for the evaluation of soil physical properties”*.

Reasumując, Doktorant podjął badania nad wykorzystaniem metod geofizycznych do wyznaczenia podstawowych właściwości fizycznych na podstawie wyników pomiarów georadarowych (GPR) zintegrowanych z innymi metodami geofizycznymi i wynikami badań laboratoryjnych gleby. Szczególnie dużo uwagi poświęcił metodzie georadarowej (GPR). Przegląd literatury wskazuje, że doktorant zapoznał się dokładnie z krajową i zagraniczną literaturą przedmiotu badań. Wybór tematu rozprawy doktorskiej jest uzasadniony, a problematyka badań ważna i ciągle aktualna. Jak wiadomo, jednym ze słabych punktów metodyki pomiarów georadarowych jest głębokość penetracji uzależniona, która jest uzależniona od warunków pomiarowych (zawartość gliny w glebie, wilgotność gleby itp.). Należy w tym miejscu podkreślić staranność Autora w doborze częstotliwości anten i parametrów pomiarowych georadaru poprzez opracowanie modelowego profilu gleby, składającego się z trzech warstw, którym przypisał wartości liczbowe względnej przenikalności dielektrycznej i magnetycznej oraz przewodnictwa. Pozwoliło to na uzyskanie stosunkowo dobrej głębokości penetracji podczas akwizycji danych terenowych. Jednak w celu poprawy prawdziwości otrzymanych wyników zastosowano inne metody, np. przewodności EM. Ważnym osiągnięciem Doktoranta jest wykazanie dodatniej korelacji wyników metody GPR z wynikami przewodnictwa elektromagnetycznego (EM), obrazowania hiperspektralnego i wynikami analizy laboratoryjnej pobranych próbek glebowych oraz podobny, dodatni trend zależności wskazujący na związek pomiędzy zastosowanymi, różnymi podejściami pomiarowymi. Pozwala to na stosowanie metody GPR wspomaganą innymi metodami pomiarowymi do oceny podstawowych właściwości fizycznych gleby. Potwierdzeniem zrealizowania postawionego na wstępie celu rozprawy i hipotezy jest główny wniosek, że wyniki oraz trendy zależności pomiędzy wynikami otrzymanymi z różnych badań i różnymi metodami wskazują na możliwość ilościowej oceny właściwości fizycznych gleby metodą GPR. Ponadto pomiary w skali pola pozwalają na oszacowanie właściwości fizycznych *in-situ*. Na uwagę zasługuje strona graficzna rozprawy. Autor wizualizuje i

ilustruje materiałem fotograficznym, szeregiem schematów i rysunków, wykorzystywaną do badań aparaturę, poszczególne procedury, profile glebowe itd. co znacznie poprawia przekaz informacyjny. W mojej ocenie jest to jedną z zalet tej rozprawy.

Biorąc pod uwagę wszystkie wymienione wcześniej przesłanki, stwierdzam, że Doktorant wykazał się umiejętnością prowadzenia samodzielnej pracy naukowej, wnikliwością, starannością i dokładnością w trakcie realizacji części eksperymentalnej badań oraz właściwą i wyważoną interpretacją wyników z wykorzystaniem danych literaturowych, co umożliwiło weryfikację postawionych hipotez badawczych. Należy podkreślić, że wyniki badań są istotne zarówno z punktu widzenia poznawczego jak i utylitarne.

Biorąc powyższe pod uwagę uważam, że recenzowana rozprawa doktorska M. Sc. Akinniyi Akinsunmade pt. *“Application of geophysical methods for the evaluation of soil physical properties”* spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim, zawartym w Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym (Dz.U. z 14 marca 2003 r.). W związku z tym wnioskuję do Rady Dyscypliny Nauki o Ziemi i Środowisku Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie o dopuszczenie M. Sc. Akinniyi Akinsunmade do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

