

## GEORADAR JAKO APARAT DO BADAŃ PRZYPOWIERZCHNIOWEJ CZĘŚCI SKORUPY ZIEMSKIEJ

Mikołaj Łyskowski, Ewelina Mazurek (Kraków)

Często nie zastanawiamy się nad faktem, że gleba (pedosfera) jest fundamentem naszego życia. Depcze się po niej, zabudowuje i betonuje, a przede wszystkim zanieczyszcza. Ten unikalny i ważny składnik ekosystemu, jest jednak wrażliwy i łatwy do zniszczenia. Dziś dysponujemy narzędziami do penetracji pedosfery – przypowierzchniowej części skorupy ziemskiej celem poszukiwania zanieczyszczeń cywilizacyjnych, nawet głęboko ukrytych pod ziemią. Służy do tego m. in. georadar, którym robi się „zdjęcia” wewnętrznych struktur gruntów.

Georadar, angielska nazwa Ground Penetrating Radar (GPR) (Ryc. 1), jest to narzędzie wykorzystywane przede wszystkim przez geofizyków, ale także służy archeologom, biegłym sądowym, czy choćby poszukiwaczom skarbów. Zastosowań metody GPR jest wiele. Badano georadarem grunty, nasypy, drogi, powierzchnie zabetonowane, lodowce, jeziora czy nawet kondycję starych drzew.



Ryc. 1. Aparatura georadarowa szwedzkiej firmy Mala Geoscience, model ProEx, która jest na stanie Katedry Geofizyki na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie. Na zdjęciu znajdują się (od lewej): laptop, jednostka centralna, anteny (od góry: 800 MHz z elektroniką, 500 MHz, 250 MHz i najmniejsza 1600 MHz) oraz wyzwalacz odległościowy.

Urządzenie to robi „zdjęcia” przekroju gruntu, które w naukowym języku nazywane są echogramami. Są to obrazy zbudowane ze zbioru pojedynczych tras, czyli zapisów wartości amplitudy oraz czasu propagacji fali elektromagnetycznej w medium. Fala ta wysyłana jest przez antenę nadawczą, która zsynchronizowana jest z anteną odbiorczą, czyli rejestrującą. Wszystko jest sterowane oraz przetwarzane wstępnie w jednostce centralnej (CPU, z ang. *Central Processing Unit*), ta zaś po przetworzeniu sygnału analogowego na cyfrowy zapisuje dane na dysku komputera klasy PC – laptopa. Anteny przesuwane są po

powierzchni gruntu, choć są także konstruowane wersje do badań w otworach wiertniczych. Odległość między poszczególnymi trasami tworzącymi echogram mierzona jest przez specjalny wyzwalacz odległościowy, po czym sumowana jako długość profilu pomiarowego. Urządzenie to jest niczym innym jak „kółkiem”, bądź też mechanizmem z nitką, który odpowiednio skalibrowany zlicza ilość obrotów, a następnie przelicza to na metry bieżące profilu georadarowego.

W metodzie georadarowej, która należy do szerokiej grupy metod geoelektrycznych, wykorzystywane są fale elektromagnetyczne o częstotliwości od 12,5 MHz do nawet 6000 MHz. Wartości te są obecnie skrajnymi częstotliwościami anten, jakie oferują firmy produkujące aparaturę GPR. Emitowane fale odbijają się od istniejących, naturalnych granic w gruncie, a także od zakopanych obiektów antropogenicznych. Potrafią zarejestrować również subtelne przekształcenia gruntu, jakimi są skażenia, czyli zmiany składu chemicznego ziemi. Przyczyną odbicia fali jest natrafienie przez nią na granicę ośrodków lub ośrodka z obiektem różnorodnego pochodzenia (naturalny lub antropogeniczny), która wykazuje różnice w wartości stałej dielektrycznej.

Metoda georadarowa i jej wyniki nie mogą być analizowane bezkrytycznie. Przede wszystkim można mówić o pewnego rodzaju kapryśności metody. Jeśli weźmiemy idealny do jej zastosowania ośrodek gruntowy, czyli suchy i o niskiej przewodności elektrycznej, to może się okazać, iż otrzymane echogramy będą nieczytelne. Z drugiej strony, co potwierdziły eksperymentalne badania ściany zawadzonego szybu w kopalni soli pod Krakowem, wyniki mogą być czytelne i interpretowalne w skrajnie niesprzyjających warunkach.

Przed rozpoczęciem pracy wymagane jest zaprojektowanie badania w odpowiedni sposób. Należy przeanalizować trzy aspekty. Pierwszym jest dobór anten. Przy wyborze należy mieć na uwadze m.in. przybliżoną głębokość zalegania poszukiwanego obiektu oraz rodzaj ośrodka w jakim się znajduje. Właściwa decyzja oszczędzi nam powtórnego pomiaru innego rodzaju anteną oraz zapewni odpowiednie wyniki. Do dyspozycji są dwa rodzaje anten: ekranowane elektromagnetycznie od czynników

zewewnętrznych oraz nieekranowane. Konieczne jest także dobranie częstotliwości pracy anten. Generalna zasada jest prosta: im niższa częstotliwość, tym większy zasięg głębokościowy oraz zdecydowanie niższa rozdzielczość. Im wyższa jest częstotliwość, tym mniejszy zasięg głębokościowy ale wyższa rozdzielczość. Drugi problem, czyli znajomość terenu badań, jest także ważny. Ma on wpływ na dobór anten i później ustawienia parametrów pracy aparatury. Trzeci aspekt polega na odpowiednim doborze parametrów pomiarowych. Operator aparatury musi dobrać właściwe okno czasowe, by po konwersji czasowo-głębokościowej uzyskać pożądaną głębokość. Konieczne jest także ustawienie ilości złożeń w celu eliminacji ewentualnych zakłóceń w amplitudzie fali oraz poprawieniu stosunku sygnału użytecznego do szumu. Należy wyznaczyć krok pomiarowy, czyli odstęp między kolejną emisją fali elektromagnetycznej w głąb ośrodka. Niezbędne jest zadeklarowanie w programie sterującym aparaturą bardzo ważnej wartości – częstotliwości próbkowania sygnału, czyli dokładności zapisu odwzorowania kształtu każdej trasy. Przyjmuje się, iż powinna być dziesięć razy większa od częstotliwości anteny.

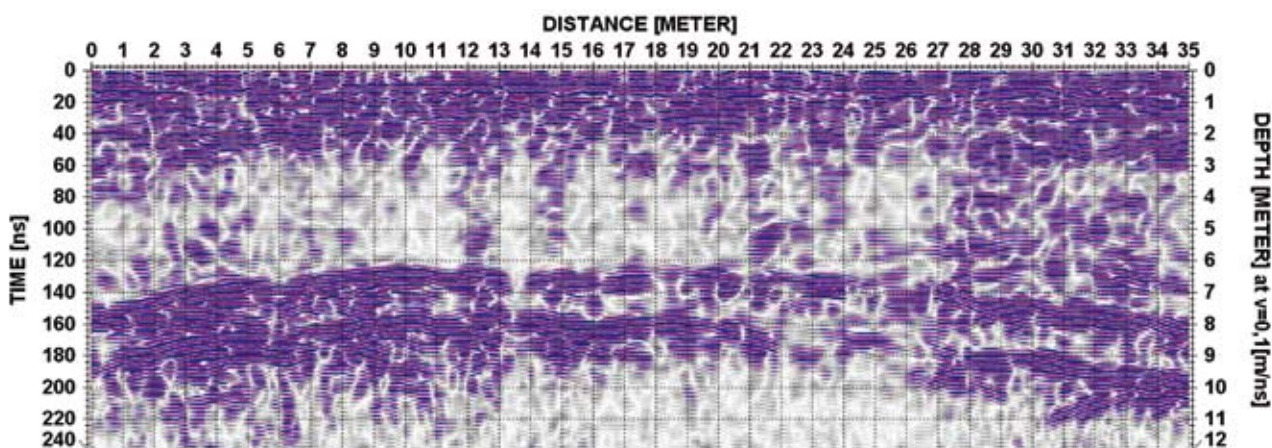
W trakcie pomiaru ważne jest przestrzeganie właściwej prędkości przesuwania anten. Wartości zadeklarowane w programie do pomiaru mogą bardzo radykalnie wpłynąć na szybkość pracy. Duże składanie, czyli wielokrotne emitowanie, zapis i uśrednienie wartości fali elektromagnetycznej wymagają czasu. To samo dotyczy kroku pomiarowego – im mniejszy, tym pomiar jest oczywiście dokładniejszy, bo gęstszy, ale znacznie bardziej czasochłonny.

(Ryc. 2). Przedstawiony wynik jest nie tylko efektem pomiaru ale także przetwarzania „surowych” danych przez wyspecjalizowany program. Badacz przed analizą i publikacją musi oczyścić echogram z szumów elektroniki oraz zakłóceń sygnału. Wymagane jest także jego odpowiednie wzmocnienie, a przy badaniach terenowych często także nałożenie topografii terenu, która może w znaczącym stopniu zmienić sposób interpretacji. Wszystkie procedury jakie przejdzie profil georadarowy wymagają doświadczenia oraz wizji lokalnej badacza w miejscu pomiarów.

Finalny zapis wyniku pomiarów georadarowych składa się z 4 elementów:

- osi poziomej X, która jest długością profilu wyrażoną w metrach bieżących;
- lewej osi pionowej Y, która jest zapisem czasu propagacji fali elektromagnetycznej w gruncie (dokładniej czasu między wyemitowaniem, a rejestracją) wyrażoną w metrach na nanosekundę;
- prawej osi pionowej Z, która jest miarą głębokości wyrażoną w metrach;
- oraz zapisu tras – obrazu falowego ośrodka, czyli „zdjęcia” powierzchniowej części skorupy ziemskiej.

Georadar nie jest w stanie pomierzyć na jakiej głębokości odbija się fala, rejestruje on tylko czas jaki upływa od jej wyemitowania do rejestracji przez antenę odbiorczą. By uzyskać odwzorowanie głębokości (oś pionową Z) wymagana jest konwersja czasowo-głębokościowa. Na tym etapie przetwarzania badacz



Ryc. 2. Fragment „zdjęcia” georadarowego – echogramu, wykonany na Skałkach Twardowskiego w Krakowie przy użyciu anteny ekranowanej 250 MHz. Widoczne zmiany w obrazie odwzorowują rzeczywisty przebieg anomalii, to zapis stropu jaskiń w utworach wapiennych.

Jak wspomniano wcześniej wynikiem pomiaru jest echogram. Przykładowy profil georadarowy wykonany na Skałkach Twardowskiego w Krakowie dla celów eksperymentalnych zaprezentowano poniżej

zobligowany jest do podania programowi wartości prędkości propagacji fali elektromagnetycznej w medium. Niezbędna do tego jest wiedza na temat budujących go skał i przypisanych im tabelarycznych

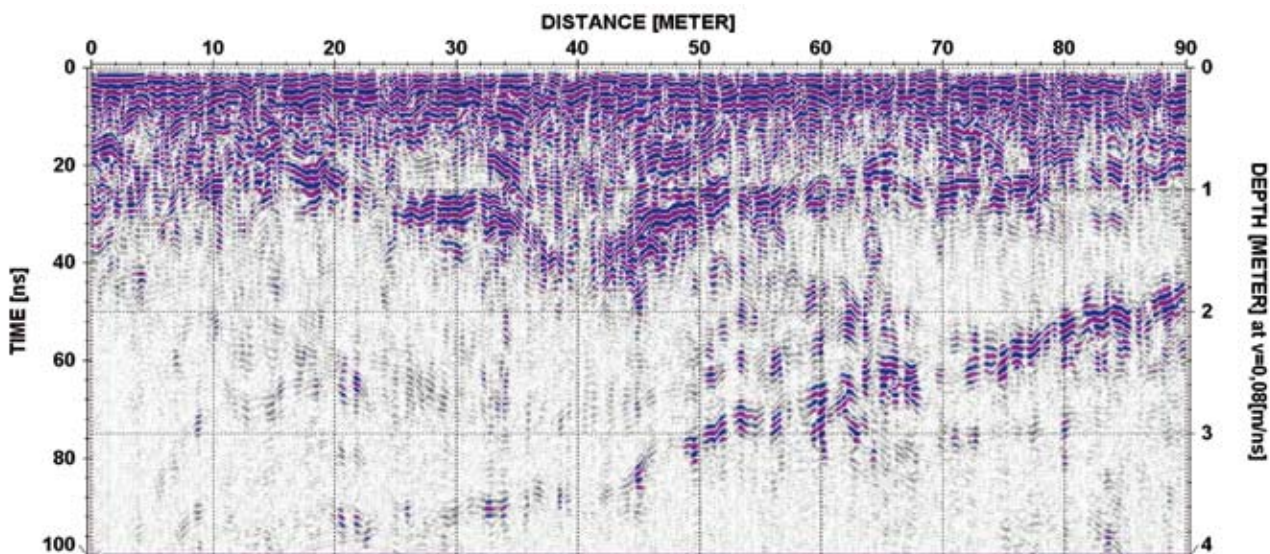
wartości prędkości. Istnieje też możliwość przeprowadzenia specjalnego profilowania georadarowego, zwanego WARR'em (ang. *Wide-Angle Reflection-Refracton*) i uzyskania z niego uśrednionej prędkości w badanym ośrodku.

Interpretując otrzymany wynik badacz poszukuje tzw. anomalii georadarowych. Widoczne na echogramie zmiany w obrazie (Ryc. 3) na głębokości poniżej jednego metra, pomiędzy 25 a 55 metrem bieżącym (mb) profilu, ukazują nieckowatego kształtu strukturę. Głębokość zalegania tej anomalii to prawie 0,9 m. Wyraźnie widoczne są praktycznie płasko zalegające przedłużenia niecki do końców profilu georadarowego. Poniżej, mniej więcej na głębokości 1,8 m na 90 mb profilu pojawia się biegnąca w dół ku początkowi

prawdopodobnie jak jej większa siostra też pochodzi od granicy geologicznej. W tym wypadku anomalie do 0,5 m głębokości są trudno interpretowalne. Nakładają się na nie fale przypowierzchniowe oraz pierwsze wstąpienia.

Zastosowana w tym pomiarze antena ekranowana 500 MHz jest najczęściej stosowana do badań archeologicznych. Jeśli badane są przypowierzchniowe warstwy to konieczne jest zastosowanie anten o wyższej częstotliwości, a co za tym idzie większej rozdzielczości i znacznie mniejszym zasięgu głębokościowym.

Metoda georadarowa jest szybkim sposobem robienia „zdjęć” pedosfery, czyli poznawania przypowierzchniowej części skorupy naszej planety. Ma ona



Ryc. 3. Echogram wykonany anteną ekranowaną 500 MHz w rejonie Bydgoszczy. Widoczne anomalie to zapis warstw geologicznych pod powierzchnią gruntu.

echogramu anomalia od innej, opadającej warstwy geologicznej. Jej koniec, choć przed 50 mb słabiej widoczny, można wyznaczyć na 20 mb oraz przypisać jej głębokość nawet do 4 m. Między 50 a 70 mb profilu pojawia się nad nią równoległa, słabsza anomalia, która

swoje wady i zalety. Przede wszystkim jest nieinwazyjna i precyzyjna. Może być stosowana do wielu zadań w różnych dziedzinach nauki oraz dawać bardzo dobre rezultaty.

### Bibliografia:

1. Karczewski J., Ortyl Ł., Pasternak M., 2011. Zarys metody georadarowej, Wydanie drugie poprawione i rozszerzone, Uczelniana Wydawnictwo Naukowo-Dydaktyczne AGH Kraków, Kraków, ISBN 978-83-7464-422-8.
2. Wardas M., Ziętek J., Łyskowski M. and Tabaszewski W., 2010. Możliwość wykorzystania zanieczyszczenia miedzią i ołowiem osadów w nawarstwieniach archeologicznych Krakowa do wyznaczania lokalizacji historycznych kolektorów ścieków. Jubileusz Katedry Geologii Ogólnej, Ochrony Środowiska i Geoturystyki Akademii Górniczo-Hutniczej 1920–2010, praca zbiorowa pod redakcją prof. dr hab. inż. Jacka Rajchela, Wydawnictwo AGH, Kraków, ISBN 978-83-7464-378-8, 173-185.

Mgr inż. Mikołaj Łyskowski – doktorant, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza; Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska; Katedra Geofizyki. E-mail: [lyskowski@geol.agh.edu.pl](mailto:lyskowski@geol.agh.edu.pl).

Mgr inż. Ewelina Mazurek – doktorantka, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza; Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska; Katedra Geofizyki. E-mail: [emazurek@geol.agh.edu.pl](mailto:emazurek@geol.agh.edu.pl).