

PORÓWNAĆ NIEPORÓWNYWALNE



Połączenie dwóch różnych technik pomiarowych, georadaru i magnetometrii, dało archeologom przełomowe narzędzie do rozwiązywania zagadek z przeszłości.

Fabian Welc

Instytut Archeologii
Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego
w Warszawie

W archeologicznej nieinwazyjnej prospekcji od wielu już lat stosuje się z powodzeniem techniki geofizyczne. Wśród nich prym wiodą dwie metody – magnetometria i georadar. Każda z tych metod ma swoje zalety i ograniczenia, co wynika z faktu, że opierają się one na całkowicie odmiennych fenomenach fizycznych. Metoda georadarowa polega na emisji w głąb gruntu fal elektromagnetycz-



**dr hab. Fabian Welc,
prof. UKSW**

Jest z wykształcenia archeologiem, geologiem czwartorzędu i geofizykiem. Obecnie jest dyrektorem Instytutu Archeologii UKSW oraz współzałożycielem i badaczem w Centrum Ryzyka Systemowego na Wydziale Artes Liberales UW. Od wielu lat specjalizuje się w szeroko pojętych badaniach geoarcheologicznych ze szczególnym uwzględnieniem implementacji metod geofizycznych (GPR, magnetometrii), archeometrii i paleoklimatologii.

f.welc@uksw.edu.pl

nych o częstotliwościach z zakresu fal wysokich i ultrawysokich przez antenę nadawczą stanowiącą część urządzenia określanego jako georadar (GPR). Na granicy dwóch warstw geologicznych, znacznie różniących się właściwościami fizycznymi i elektrycznymi, fala elektromagnetyczna jest odbijana, a następnie rejestrowana przez antenę odbiorczą georadaru. Granica między dwoma warstwami będzie tym silniej odbijała fale elektromagnetyczne, im większy będzie kontrast między właściwościami fizycznymi gruntu. Takie warunki spełniają np. piaski graniczące z osadami gliniastymi. Efektem pomiarów GPR są tzw. radargramy lub profile refleksyjne. Są to pionowe przekroje zmienności parametrów elektrycznych gruntu, na których jest odwzorowana amplituda zarejestrowanego sygnału. Dzięki wykonywaniu równoległych pomiarów można interpolować wartości amplitudy sygnału GPR, uży-

skując poziome cięcia zwane planami GPR lub przekrojami czasowymi.

Niestety, metoda GPR ma też swoje poważne ograniczenia. Najbardziej znaczącym czynnikiem negatywnie wpływającym na rezultat pomiarów georadarowych w terenie są osady niskooporowe (łatwo przewodzące prąd elektryczny), takie jak mady lub gliny, które stanowią niemal nieprzepuszczalny ekran dla fal elektromagnetycznych, znacząco redukując zasięg głębokościowy georadaru. Metoda GPR jest szczególnie przydatna do wykrywania wszelkiego rodzaju pustek w gruncie, zwłaszcza gdy są one wypełnione przynajmniej częściowo powietrzem. Na granicy gruntu i stropu pustki obserwuje się wówczas znaczący wzrost prędkości fali elektromagnetycznej, czego efektem jest wyraźna anomalia w obrazie GPR (tzw. hiperbola dyfrakcyjna). Jednak ze względu na swoją specyfikę georadar nie zdaje

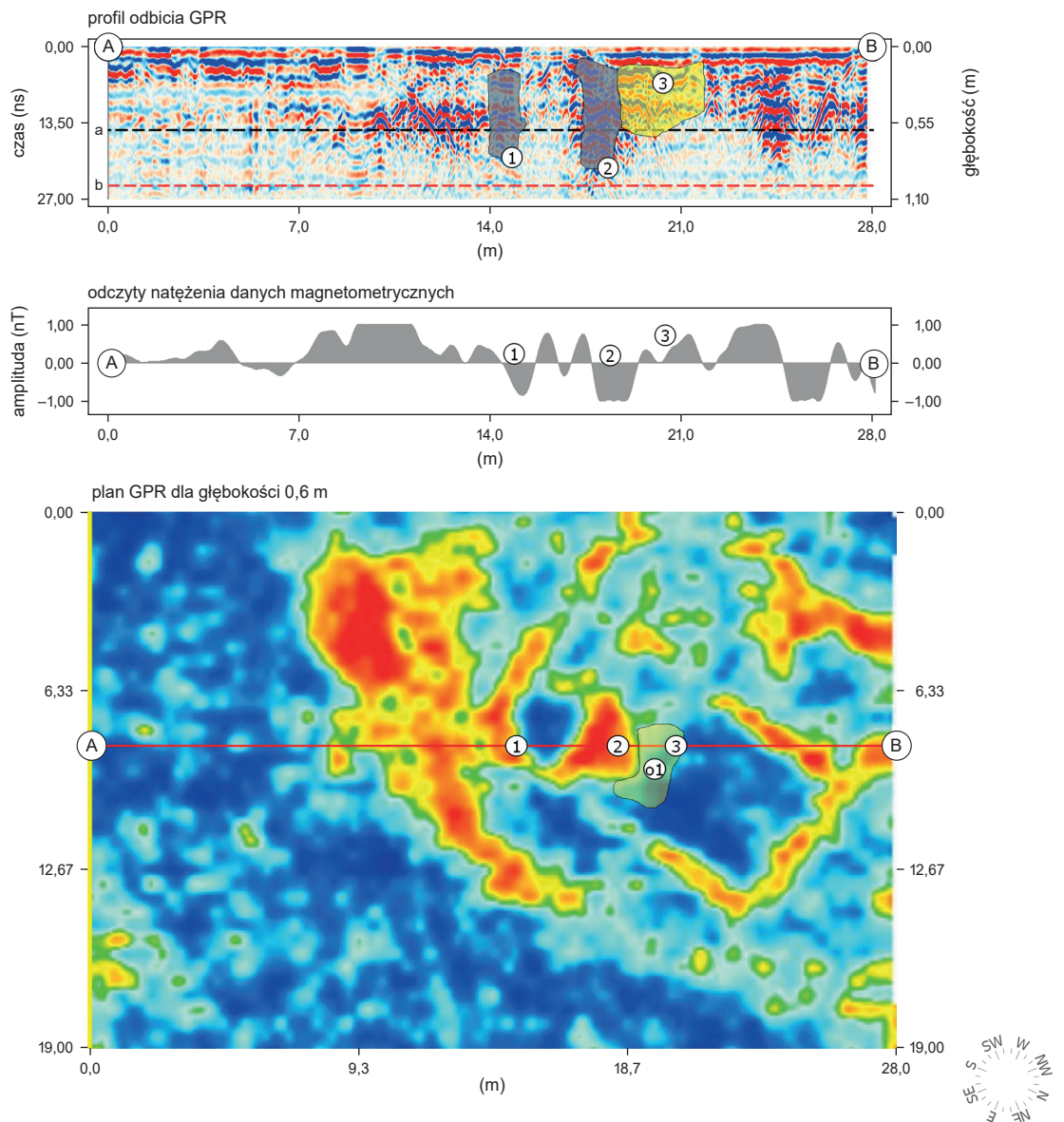
egzaminu przy poszukiwaniu wałów, fos czy reliktyw np. drewnianych prehistorycznych osad ze względu na znikomy kontrast między wypełniskiem takich obiektów (zazwyczaj organicznym) a otaczającym je gruntem (również często przesyconym organiczną) oraz niewystarczającą rozdzielczość.

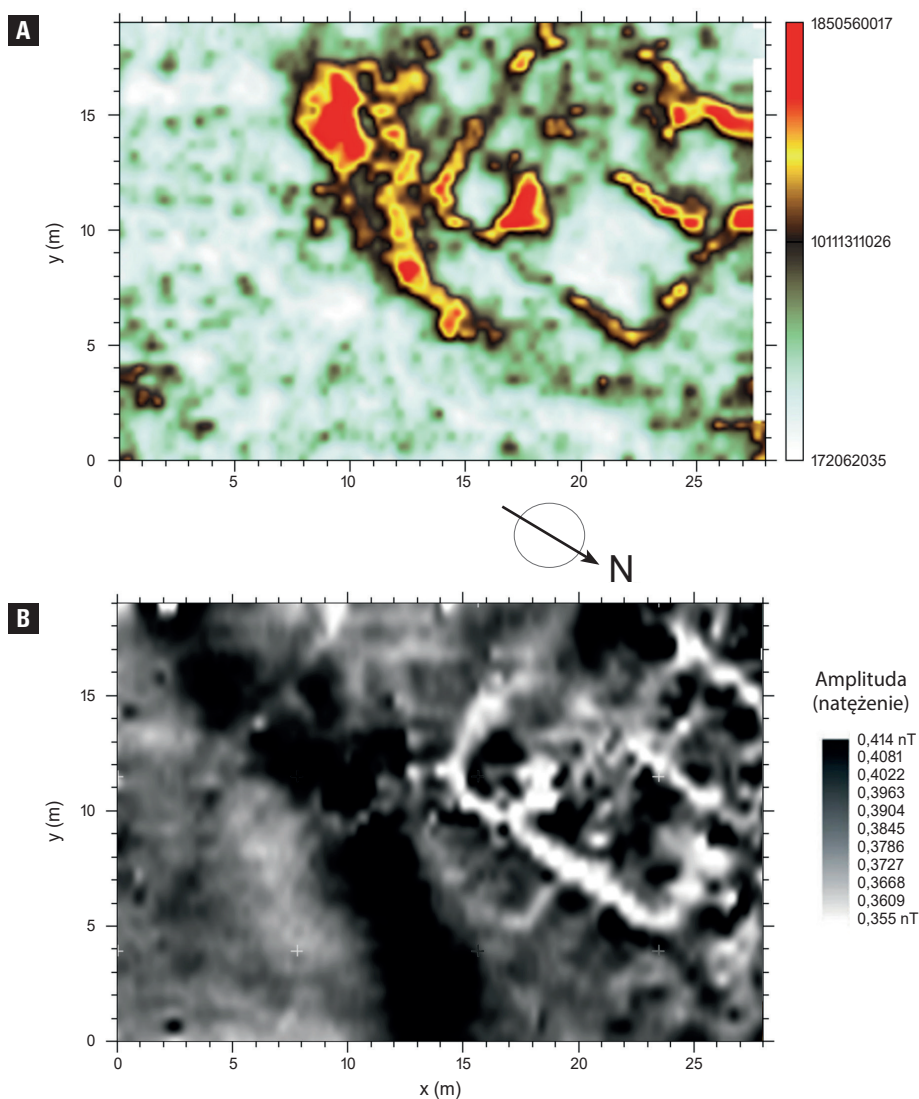
Mimo że zasada działania georadaru jest stosunkowo prosta, metodyka wykonywania pomiaru i przetwarzania danych jest wyjątkowo skomplikowana, co wynika z bardzo złożonej natury samego zjawiska odbicia fali elektromagnetycznej. Z tych względów georadar jest najbardziej wymagającą techniką w arsenale nieinwazyjnych metod prospekcji archeologicznej. Od operatorów tych urządzeń jest wymagane nie tylko ogromne doświadczenie, ale przede wszystkim gruntowna wiedza z dziedziny geologii, sedimentologii, nie wspominając o podstawach geofizyki, bez których nie jest możliwa poprawna interpretacja uzyskanych obrazów.

Pole magnetyczne

W przeciwieństwie do georadaru magnetometria wykorzystuje odmienny fenomen fizyczny, czyli pomiary natężenia pola magnetycznego ziemi. Około 90 proc. całkowitego pola magnetycznego Ziemi jest generowane i określane jako tzw. pole główne lub normalne (pochodzi ono z głębi naszego globu, który jest *de facto* wielkim magnesem). Celem pomiarów geomagnetycznych w archeologii jest wykrycie anomalii, którymi określamy różnicę między lokalnie zmierzoną wartością pola magnetycznego ziemi a wartością pola tzw. normalnego (średnia wartość pola magnetycznego na danym obszarze). W terenie wartości natężenia pola geomagnetycznego są mierzone za pomocą magnetometrów (mierzą one wartość całkowitą pola magnetycznego ziemi) lub gradientometrów (pomiar wybranych składowych wektorów tego pola). Znajdujące się pod ziemią obiekty o właściwościach

Panel wynikowy analizy ADCM z użyciem tworzono obecnie programu – ADCMI (Amplitude Data Comparison Method – Integrator). Ta przykładowa analiza dotyczy rzymskiego budynku odkrytego na wyspie Rab w Chorwacji. W górnej części jest pokazany wybrany profil GPR uzyskany dzięki profilowaniu georadarowym. Poniżej zapis amplitudy magnetycznej zarejestrowany wzdłuż tej samej linii pomiarowej. Najniżej znajduje się plan GPR dla głębokości 0,6 m z oznaczeniem wybranych struktur i lokalizacją analizowanego profilu





Porównanie wyników pomiarów wykonanych georadarem i gradientometrem:

A. plan GPR dla głębokości 0,6 m ukazujący relikty rzymskiego budynku na wyspie Rab,

B. mapa rozkładu natężenia (amplitudy) pola magnetycznego ziemi dla tego samego obszaru. Georadar ujawnił przebieg murów oraz spaleniżny (paleniska)

magnetycznych zakłócają wartości ziemskiego pola magnetycznego, tworząc lokalne anomalie. W rezultacie przeprowadzonych pomiarów terenowych uzyskuje się mapy rozkładu natężenia pola magnetycznego na danym obszarze, które ujawniają odstępstwa od wartości średniej, innymi słowy – spadki i wzrosty wartości amplitudy mierzonej w nanoteslach (nT). Anomalie te są głównie generowane przez koncentrację minerałów i przedmiotów ferromagnetycznych, takich jak metale, spaleniżna, destrukty czy obiekty wypełnione organicznymi materiałami (bakterie wytwarzają cząstki ferromagnetyczne). Z powyższego zestawienia wynika, że w odniesieniu do archeologii metoda geomagnetyczna doskonale nadaje się do wyszukiwania wszelkich śladów obecności człowieka w postaci palenisk, dawnych fos, dołów posłupowych, jam zasobowych, destruktyw, koncentracji ceramiki itp. Do niewątpliwych zalet tej metody należy zaliczyć przede wszystkim szybkość pomiarów i stosunkowo łatwy proces obróbki danych terenowych. Inną kwestią jest poprawna interpretacja wyników – tu naj-

ważniejsze jest doświadczenie operatora. Mimo niewątpliwych zalet metoda ta nie jest odpowiednia do zrozumienia pionowej archeologicznej sekwencji zakopanych obiektów lub struktur, które mogą być w różnym wieku. Dzięki profilowaniom geomagnetycznym uzyskujemy jedynie plan stanowiska archeologicznego w postaci odchylenia bezwzględnej wartości pola magnetycznego, nie ma więc trzeciego wymiaru – głębokości. Innym ograniczeniem jest niewielki zasięg głębokościowy metody, w praktyce nieprzekraczający 1,5–2 m.

Połączenie

Z powyższego porównania wynika, że zarówno metoda georadarowa, jak i geomagnetyczna mają nie tylko istotne zalety, lecz także poważne ograniczenia. Obydwie techniki, mimo że opierają się na całkowicie odmiennych fenomenach fizycznych, doskonale się uzupełniają, jeśli chodzi o zbiór informacji, które dostarczają archeologom. Innymi słowy, to, co widzi,

ACADĒMIA BADANIA W TOKU Archeologia

- A. pomiary na stanowisku archeologicznym z użyciem georadaru z anteną o częstotliwości 450 MHz, Chorwacja,
 B. pomiary na stanowisku archeologicznym z użyciem gradientometru typu fluxgate, Chorwacja



B. NOWACKI

georadar jest często niewidoczne dla geomagnetyki i odwrotnie. Pozostaje jedynie kwestia, jak porównać bezpośrednio wyniki pomiarów uzyskanych dzięki urządzeniom tak różniącym się między sobą.

Po raz pierwszy porównano z sobą wyniki pomiarów geofizycznych i magnetometrycznych jednego z rzymskich stanowisk w Chorwacji. Porównano georadarowe profile refleksyjne (radarogramy) z odpowiadającym im zapisem wartości amplitudy magnetycznej (w nanoteslach – nT) uzyskane dzięki prospekcji geomagnetycznej wykonanej na tym samym stanowisku i tym samym obszarze pomiarowym. Oficjalnie metodzie nadano nazwę – ADCM (*amplitude data comparison method*) – metody porównywania danych amplitudowych.

Na czym opiera się ADCM? Georadar i magnetometria dostarczają odmiennych danych, których na pierwszy rzut oka nie da się bezpośrednio z sobą porównywać. Można jednak zestawiać indywidualne profile GPR i odpowiadające im wartości zapisu amplitudy magnetycznej (tzw. sygnaturę magnetyczną). Dzięki temu uzyskujemy informację o charakterze struktur archeologicznych zachowanych pod ziemią (szczególnie to, z jakiego materiału się składają). Metoda ADCM pozwala nie tylko na analizę przestrzenną (3D) zakopanych obiektów archeologicznych na podstawie obrazów GPR, lecz także na określenie ich struktury materiałowej, bazując na odczytach sygnatury magnetycznej.

Zastosowanie metody ADCM zostanie omówione poniżej na trzech prostych przykładach. Georadarowe profile refleksyjne zazwyczaj ukazują refleksy odbite od granic litologicznych lub zakopanych obiektów. Dzięki temu wiemy, że np. w danym miejscu, na danej głębokości znajduje się zagłębienie, ale nie potrafimy powiedzieć, czym jest wypełnione. Jeśli zaś zestawimy analizowany obraz GPR z zapisem amplitudy magnetycznej uzyskanej wzdłuż tej samej linii pomiarowej i okaże się, że w tym samym miejscu od-

notowano określony wzrost amplitudy natężenia pola magnetycznego, to możemy stwierdzić, że jest to zagłębienie wypełnione materią organiczną. To pozwala nam na bardzo prawdopodobną interpretację ujawnionej anomalii jako jamy zasobowej. Załóżmy teraz, że na innym stanowisku georadar ujawnił przebiegi murów, które tworzą zarys starożytnego budynku. Niestety, na podstawie samych obrazów GPR nie potrafimy stwierdzić nic poza faktem, że budowle tworzą ciągi murów. Jeśli zaś porównamy profile GPR z zapisem amplitudy magnetycznej, która nam wykaże, że w miejscu występowania murów następuje wyraźny spadek wartości amplitudy magnetycznej, stanie się jasne, że konstrukcje te zostały wzniesione z materiału niemagnetycznego, w tym wypadku z wapienia lub piaskowca (obydwie skały nie wykazują właściwości magnetycznych). Wreszcie wyobraźmy sobie, że na profilach i planach georadarowych lokalizujemy niezidentyfikowaną, owalną w zarysie strukturę. Bazując jedynie na obrazach GPR, nic na temat tego obiektu nie powiemy. Jeśli jednak zestawimy to konkretne miejsce z zapisem wartości natężenia pola magnetycznego i będzie mu odpowiadać bardzo wysoka wartość amplitudy magnetycznej, stanie się niemal pewne, że analizowana anomalia jest piecem lub paleniskiem.

Podobne przykłady możemy mnożyć. Im więcej przeprowadzimy analiz ADCM w obrębie danego stanowiska pomiarowego, tym nasza wiedza na temat podziemnych struktur znajdujących się w jego obrębie będzie pełniejsza. Dzięki metodzie ADCM możemy określić materiał, z jakiego zostały wykonane struktury znajdujące się pod ziemią, bez naruszania gleby, innymi słowy – bez wykopalisk niszczących dziedzictwo archeologiczne. To jest niewątpliwie największa zaleta metody porównywania danych amplitudowych (ADCM), która jest jednym z wyznaczników tego, jakie przemiany czekają archeologię w przyszłości. Czekajcie nas archeologia bez łopaty. ■

Chcesz wiedzieć
więcej?

Conyers L.B., *Ground-penetrating Radar and Magnetometry for Buried Landscape Analysis*, 2018.

Welc F., Nebelsick L.D., Wach D., *The first Neolithic roundel discovered in Poland reinterpreted with the application of the geophysical Amplitude Data Comparison (ADC) method* (2019), „Archaeological Prospection” 26/2019, DOI: 10.1002/arp.1744.

Welc F., Rousse C., Bencic G., *Results of geophysical scanning of a Roman senatorial villa in the Santa Marina bay (Croatia, Istria) using the amplitude data comparison method (ADCM)*, „Studia Quaternaria” 37/2020, DOI: 10.24425/sq.2020.133752.