

# Georadar 3D vs georadary impulsowe

Wszystkie dotychczas używane metody pomiarowe stanowią lepsze lub gorsze odwzorowanie rzeczywistości. Nawet metody bezpośrednie (odwierty, odkrywki), ze względu na ich punktowy charakter, w ograniczonym stopniu odwzorowują rzeczywistą strukturę badanego gruntu. Mamy więc 100% informacji tylko w tych miejscach, gdzie wykonano odwiert, jednak brak jej pomiędzy nimi.

Z lokalizacją niezainwentaryzowanych elementów uzbrojenia terenu lub pozostałościami po dawnej zabudowie jest podobnie. Jeśli poszukiwana infrastruktura to kable lub metalowe rury, zastosowanie prostego detektora (metoda elektromagnetyczna) powinno w większości przypadków dać pozytywne rezultaty. Gorzej z detekcją rur ceramicznych lub z tworzywa (konieczność umieszczenia mobilnej sondy generującej sygnał EM). Metodą umożliwiającą lokalizację infrastruktury podziemnej (niezależnie od materiału, z którego została wykonana), oraz przeszkód w postaci głazów narzutowych lub pozostałości murów jest właśnie metoda georadarowa.

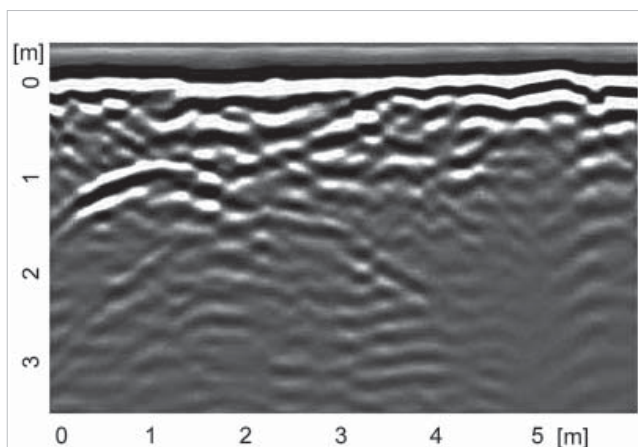
Badania metodą GPR można prowadzić na lądzie, z powietrza, na wodzie, pod wodą, na lodzie i gruncie grząskim, na śniegu i na stromych zboczach – wszędzie tam, gdzie można poprowadzić antenę georadaru. Ograniczeniem, o którym warto i trzeba tu wspomnieć, są grunty niskooporowe, takie jak jak glina czy ily, które mocno tłumią fale elektromagnetyczne.

## Sposób powstawania profilu GPR i metoda działania

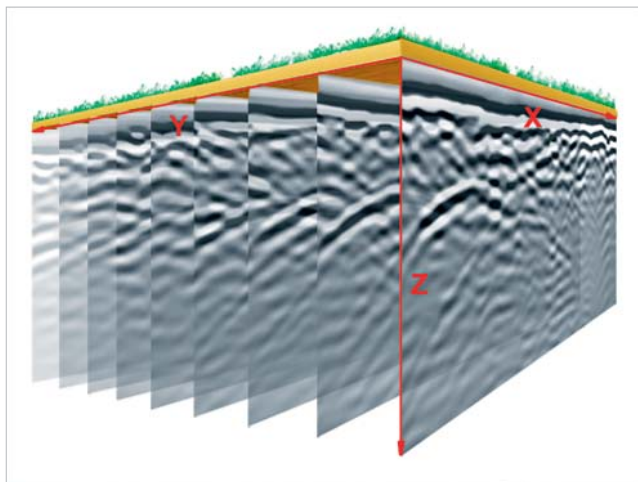
Georadar impulsowy jest urządzeniem pomiarowym, wykorzystującym zjawisko odbicia fal elektromagnetycznych. Ten typ georadarów jest najczęściej stosowany. Antena nadawcza wysyła krótki impuls sinusoidalny o długości półtora okresu. Fala elektromagnetyczna penetruje dany ośrodek z prędkością, na którą pozwalają jego właściwości elektromagnetyczne. Druga antena odbiera odbite sygnały, które są opóźnione w stosunku do sygnałów nadawanych o określoną wartość – od kilkudziesięciu do kilku tysięcy nanosekund – wynikającą z odległości pomiędzy anteną nadawczą, reflektorem, który powoduje odbicie części energii, a anteną odbiorczą.

Zapis sygnału stanowi pojedyncza ścieżka, którą można porównać do pojedynczego odwiertu. Po złożeniu ścieżek jedna po drugiej uzyskujemy dwuwymiarowy obraz, gdzie X jest przebiegą w czasie profilowania odległością, a Z to czas „nasłuchu” przez georadar (rys. 1). Ilość pomiarów na metr zależy od prędkości wykonywanego pomiaru oraz możliwości sprzętu GPR i wynosi od 50 do ok. 1000 pomiarów na sekundę.

Georadar może pracować w szerokim zakresie częstotliwości od 10 MHz do 2 GHz i więcej, w zależności od podłączonej do niego anteny. Dobór częstotliwości roboczej zależy od głębokości penetracji (ze względu na tłumienie fal elektromagnetycznych wraz ze wzrostem głębokości) oraz od rodzaju gruntu (ily i gliny mocno ograniczają zasięg fal elektromagnetycznych, w przeciwieństwie do piasków i żwirów).



Rys. 1. Profil georadarowy uzyskany zwykłym georadarem impulsowym i anteną 500 MHz

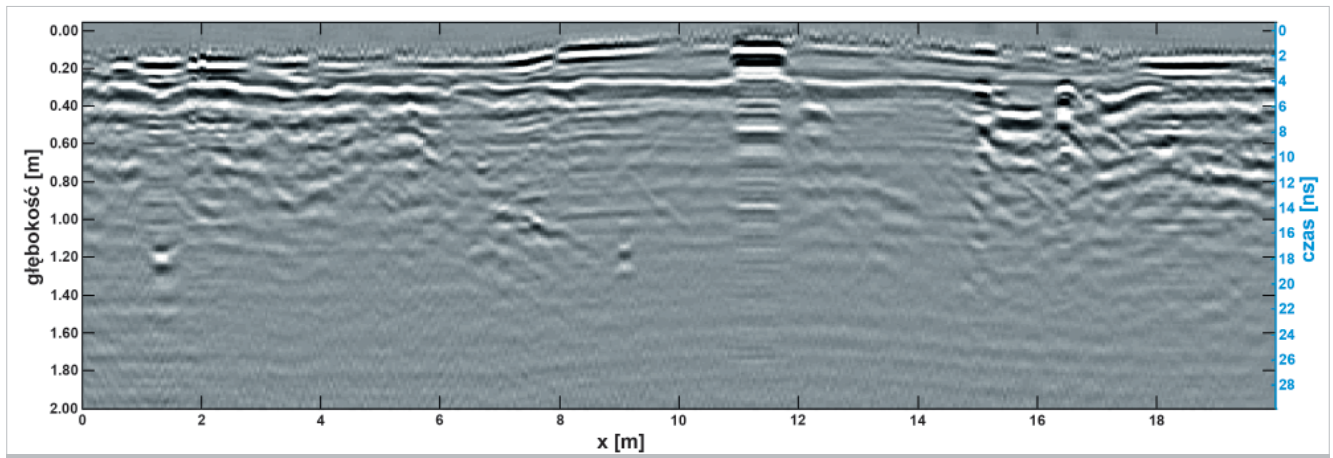


Rys. 2. Trójwymiarowy model obiektów znajdujących się w gruncie



Fot. 1. Nowoczesny georadar w akcji

Najmocniej tłumione są fale elektromagnetyczne o najwyższych częstotliwościach. Dlatego też w razie potrzeby zbadania głębiej zalegających warstw litologicznych lub obiektów używa się anten pracujących w dolnym zakresie częstotliwości, od około 10 do 300 MHz. Jednakże osiągnięcie dużych głębokości okupione jest zawsze niższą rozdzielczością pionową.



Rys. 3. Przykładowy wynik pracy georadaru nowej generacji zawiera wysokorozdzielcze sygnały, zachowując dużą głębokość penetracji

Anteny średnio- i niskoczęstotliwościowe umożliwiają wykrycie większych obiektów, zaś anteny o wysokich częstotliwościach, w zakresie 1–2 GHz, charakteryzują się dużą szczegółowością i wykrywają np. poszczególne pręty zbrojeniowe w konstrukcji betonowej.

### Obróbka danych GPR

Wynikiem badań georadarowych są tzw. falogramy, czyli zapis wszystkich sygnałów zarejestrowanych podczas profilowania. Ich obróbka staje się kluczowym zadaniem operatora georadaru. W celu uzyskania interesujących nas informacji dane można obrabiać na wiele sposobów. Surowy obraz nie zawsze jest czytelny (zwłaszcza, jeśli szukamy subtelnych anomalii lub kiedy np. występuje wiele zakłóceń pochodzących od innych obiektów), dlatego też ilość danych i ich prawidłowa obróbka ma istotne znaczenie.

### 3D i GPR

Georadar daje nam możliwość uzyskania liniowego obrazu anomalii pod powierzchnią ziemi czy wody lub w innym ośrodku, np. w betonie czy asfalcie. Otrzymujemy zatem dwuwymiarowy przekrój XZ, gdzie X to przebyta odległość, a Z to czas przeliczany na głębokość. Poprzez złożenie wielu profili dwuwymiarowych, wykonanych równolegle w równym odstępnie (rys. 2), otrzymujemy w pełni trójwymiarowy model obiektów znajdujących się w gruncie. Można taki efekt uzyskać również poprzez prowadzenie pomiaru linią łamaną o dowolnym kształcie przy użyciu georadaru sprzężonego z GPSem. W takim modelu rozdzielczość danych na osi X zależy od częstotliwości wysyłania sygnału GPR lub/i prędkości profilowania, natomiast rozdzielczość w osi Y zależy od odległości pomiędzy kolejnymi profilami, zaś w osi Z – od częstotliwości fali.

### Systemy wieloantenowe

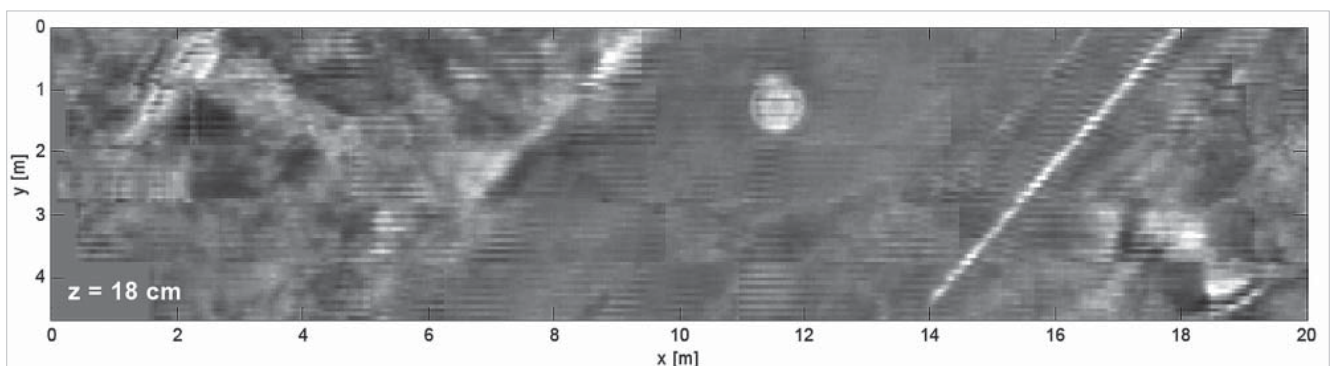
Następnym krokiem w rozwoju technologii GPR było stworzenie systemów wieloantenowych. Większość dostępnych georadarów ma możliwość pracy z dwiema lub większą ilością anten, co daje następujące korzyści:

- zastosowanie anten o różnej częstotliwości pozwala na uzyskanie odczytów niskorozdzielczych, penetrujących ośrodek do większych głębokości, baz utraty detali na płytszych głębokościach;
- zastosowanie kilku anten o tej samej częstotliwości pozwala na szybsze pokrywanie badanych powierzchni lub na zwiększenie rozdzielczości pomiaru (w osi Y) poprzez rozstawienie anten bliżej siebie.

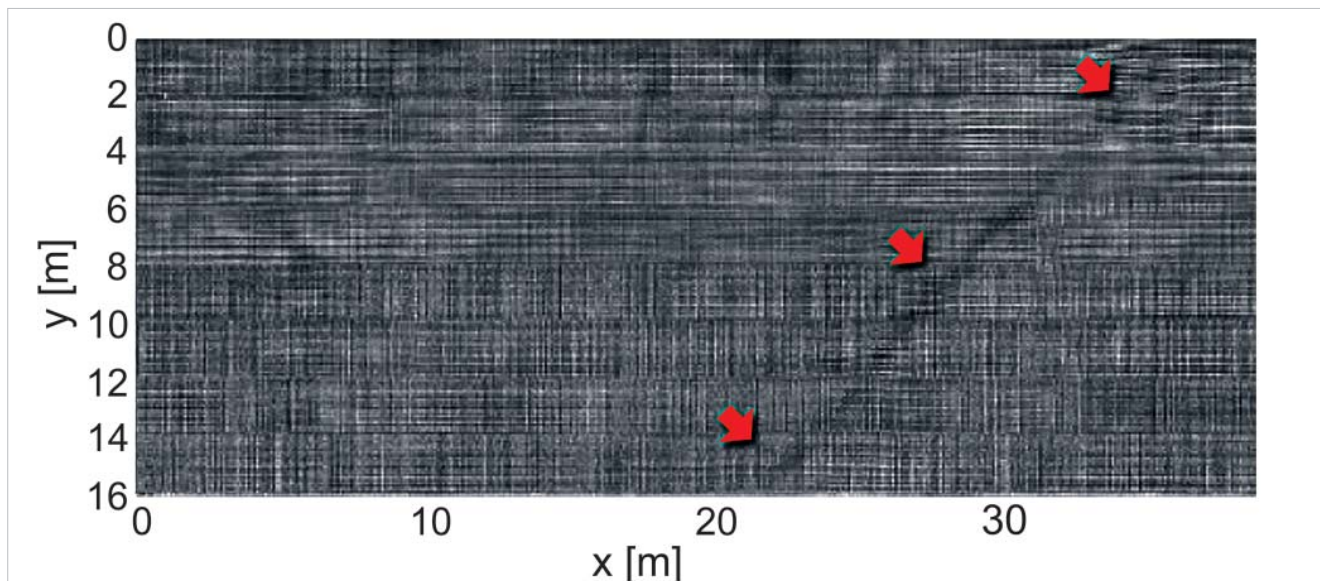
Czasami jednak nawet kilka anten to za mało. Rozstaw pomiędzy profilami ma zasadnicze znaczenie, gdy poszukiwane są niewielkie obiekty lub gdy kontrast stałej dielektrycznej jest niewielki w stosunku do ośrodka. Wykonywanie wielu profili jeden przy drugim jest czasochłonne i nieekonomiczne.

### Nowa generacja GPR

Nowoczesne jednostki GPR współpracują z kilkunastoma antenami. Prawdziwym monstrem jest 3D-RADAR, który pracuje jednocześnie nawet z 63 (!) antenami. Co więcej, sama metoda pomiaru wykorzystana w tym georadarze nie jest już oparta na rejestracji odbić pojedynczego sygnału o zadanej częstotliwości, ale na generowaniu sygnału modulowanego – pokrywającego bardzo szerokie spektrum od 30 MHz do 2 GHz z krokiem 2 MHz. Różnice pomiędzy zwykłym georadarem impulsowym (nawet z kilkoma antenami) a nowoczesnym wieloantenowym georadarem modulującym sygnał szerokopasmowy są ogromne, co uwidacz-



Rys. 4. Plan rozkładu anomalii z głębokości 18 cm, otrzymany z wielu profili 2D – rzut z góry



Rys. 5. Przykład detekcji drenu ceramicznego (2,3 m ppt.) w trudnych warunkach. Jednoantennaowa jednostka georadarowa impulsowa nie zapewniłaby tej ilości danych umożliwiających wydobycie z szumów tak słabego sygnału

nia się w szczególności w:

- rozdzielczości uzyskiwanych planów (rozstaw anten nawet co 4 cm);
- jakości sygnału (użycie szerokiego spektrum przekłada się na skuteczność metody);
- czasie badania;
- możliwości uzyskania pełnej migracji 3D.

Rysunek 3 ilustruje przykładowy przekrój skomponowany z wielu odczytów o zróżnicowanej częstotliwości, który wyglądem przypomina wyniki z georadarów impulsowych.

Rysunek 4 przedstawia plan rozkładu anomalii (rzut z góry) z głębokości 18 cm – otrzymany z wielu profili 2D (rys. 3) – doskonale widoczny kształt pokrywy studzienki wraz z infrastrukturą.

Wyniki zbliżone jakościowo i ilościowo do wyników 3D-RADAR'u, ale uzyskane jednoantennowym georadarem impulsowym, wymagają nieporównywalnie większego nakładu pracy. Ilość jednoczesnych odczytów jest 63 razy mniejsza, a profilowanie wykonywane jest tylko jednym typem anteny o zadanej częstotliwości. Przy założeniu tylko dziesięciu kroków (maksymalna ilość kroków pomiędzy częstotliwościami 30 MHz a 2 GHz wynosi nieco poniżej 1000) i 63 anten otrzymujemy następujący wynik:

$63$  (ilość anten)  $\times$   $10$  (10 częstotliwości pomiędzy 30 MHz a 2 GHz) = 630 profili.

Prowadząc zatem badania 3D-RADAR'em, uzyskujemy wysokoinformacyjny odczyt po wykonaniu tylko 1 profilu zamiast 630, co można porównać do 8 godzin pracy zamiast 630 dni!

Nowoczesna technologia georadarowa oferuje wyniki uzyskane z rozstawem anten co 4 cm (!), gdzie, dla porównania, impulsowe badania georadarowe wykonuje się z minimalnym rozstawem ok. 50 cm tylko przy dokładnych badaniach archeologicznych na niewielkich obszarach.

Przykład na rys. 5 przedstawia wynik badań lokalizujących przebieg drenu ceramicznego. W tym przypadku niezwykle słaby sygnał pochodzący od poszukiwanego obiektu, znajdującego się na głębokości ok. 2,30 m ppt., był możliwy do uzyskania tylko dzięki bardzo dużej ilości profili i przy wykorzystaniu wielu częstotliwości fal elektromagnetycznych jednocześnie. Jednoantennaowa jednostka georadarowa nie



Fot. 2. 3D-RADAR norweskiej firmy Vmetro



Fot. 3. 3D-RADAR norweskiej firmy Vmetro – system 32-antenny

zapewniłaby tej ilości danych umożliwiających wydobycie z szumów tak słabego sygnału.

Fotografie 2 i 3 przedstawiają 3D-RADAR norweskiej firmy Vmetro – jedyny system GPR pracujący z 63 antenami jednocześnie. Na zdjęciach systemu 32-antenny, pokrywające pas o szerokości 2,4 m. ■

Przykłady i zdjęcia zostały wykorzystane dzięki uprzejmości firm Vmetro oraz Geo-Radar (materiały handlowe oraz strona [www.gpr.pl](http://www.gpr.pl)).