

ZASTOSOWANIE GPR DO USTALANIA ZMIAN ANTROPOGENICZNYCH W PODŁOŻU GRUNTOWYM

Małgorzata E. WYSOCKA*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań wykonanych za pomocą georadaru, których celem było lokalizowanie zmian antropogenicznych występujących w podłożu. Badania polegały na wykonaniu badań terenowych za pomocą anten o częstotliwości 500 MHz i 900 MHz, a następnie na obróbce cyfrowej i interpretacji echogramów. W metodzie GPR niezbędnym czynnikiem zarejestrowania użytecznego sygnału (informacji) jest kontrast względem stałej dielektrycznej pomiędzy ośrodkiem, a poszukiwanym obiektem. Przeprowadzone badania i analizy wykazały, że odpowiednie dobranie anteny i ustawień aparatury badawczej jest jednym z najważniejszych zadań przy zastosowaniu georadaru, a co za tym idzie niezbędna jest wiedza i praktyka osoby dokonującej pomiarów i analizy.

Słowa kluczowe: georadar, metoda GPR, badania terenowe.

doi: 10.24427/bis-2018-vol9-no4-0005

1. Wprowadzenie

W związku z rosnącą obecnie koniunkturą w budownictwie narasta zagęszczenie infrastruktury podziemnej i choć mapy do celów projektowych są aktualizowane, nadal niestety zdarzają się i mogą się zdarzyć nieprzewidziane sytuacje polegające na uszkodzeniu istniejącej nieudokumentowanej lub udokumentowanej nieprawidłowo instalacji podziemnej. Sytuacja ta dotyczy szczególnie obszarów intensywnie zurbanizowanych. Jedną z nowoczesnych metod uniknięcia tego rodzaju problemów jest zastosowanie metody georadarowej, która pomaga w szczegółowej lokalizacji obiektów antropogenicznych znajdujących się w podłożu gruntowym (rury, kable, pozostałości obiektów kubaturowych itp.). Istotną zaletą georadaru jest wykonanie pomiarów ciągłych w sposób bezinwazyjny w stosunkowo krótkim czasie.

Georadar zalicza się do grupy radiofalowych metod geofizycznych, wykorzystujących fale elektromagnetyczne o częstotliwościach od 10 MHz do kilku GHz. Pomiar odbywają się za pomocą dwóch anten: nadawczej i odbiorczej, które są połączone z jednostką centralną (Karczewski i in., 2011). Antena nadawcza wysyła fale elektromagnetyczne wzbudzone przez nadajnik, natomiast antena odbiorcza rejestruje fale odbite od warstw charakteryzujących się różnymi właściwościami elektrycznymi. Fala elektromagnetyczna przechodząc przez kolejne materiały o różnych wartościach przenikalności elektrycznej ulega takim zjawiskom jak: odbicie, załamanie, interferencja, dyfrakcja, rezonans czy tłumienie. Wnikliwa analiza tych zmian umożliwia

rozpoznanie podłoża (Rucka i Lachowicz, 2014). Powierzchnia między dwoma ośrodkami o bardziej zróżnicowanych względnych przenikalnościach elektrycznych powoduje silniejsze odbicie fali. Powierzchnia ta, tym silniej odbija fale elektromagnetyczne, im bardziej zróżnicowane są ich względne przenikalności elektryczne (Karczewski i in., 2011). Badania eksperymentalne pozwoliły na przybliżone określenie wielkości stałej dielektrycznej dla różnych materiałów, która może się wahać w granicach od 1 do 88, przykładowo: grunt gliniasty 4-15, grunt gliniasto-piaszczysty 4-20, grunt piaszczysty 4-30, woda 78-88, lód 3-8, powietrze 1, beton 3-9 (Sudyka i Kraszewski, 2009; Karczewski i in., 2011). Największe kontrasty występują między ośrodkami takimi jak: powietrze – ośrodek geologiczny stały, powietrze – woda, metal – ośrodek geologiczny stały, metal – woda, plastik (PCV) – ośrodek geologiczny, woda (Ortyl, 2006; Rajchel, 2017).

Względna przenikalność elektryczna (stała dielektryczna) ϵ_r jest bezwymiarową wielkością określającą krotność przenikalności elektrycznej danego ośrodka ϵ w stosunku do przenikalności elektrycznej próżni ϵ_0 .

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \quad (1)$$

Dzięki zróżnicowanej przenikalności elektrycznej różnych materiałów metoda GPR umożliwia pokazanie między innymi nieciągłości w podłożu gruntowym, spowodowanych zmianami antropogenicznymi.

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: m.wysocka@pb.edu.pl

Na propagację fali elektromagnetycznej, a zatem na zasięg głębokościowy badania elektrycznie niejednorodnego podłoża gruntowego, największy wpływ ma stopniowe tłumienie fali elektromagnetycznej w ośrodku gruntowym. Tłumienie α jest wprost proporcjonalne do przewodności elektrycznej właściwej σ :

$$\alpha = 1690 \frac{\sigma}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

Metoda GPR ma największy zasięg w suchym piasku, zaś dużo mniejszy w gruntach gliniastych (tab. 1). Tłumienie wzrasta wraz z wilgotnością gruntu. Przykładowo, współczynnik tłumienia gliny wynosi $300 \text{ dB} \cdot \text{m}^{-1}$, a suchego piasku – $0,1 \text{ dB} \cdot \text{m}^{-1}$ (Karczewski i in., 2011).

Pomiary georadarowe należy przeprowadzać w taki sposób, aby uzyskać jak najbardziej dokładne informacje dotyczące badanego ośrodka i jednocześnie maksymalnie wyeliminować ewentualnie powstające błędy (Pasternak, 2015). Maksymalny zasięg głębokościowy oraz rozdzielczość metody georadarowej w głównej mierze zależą od przewidywanych warunków gruntowych i przyjętej do badań anteny o określonej częstotliwości. Maksymalny zasięg metody GPR uzależniany jest zwykle od przewidywanej głębokości, do której konieczne jest rozpoznanie podłoża gruntowego (Nawrocki i Piasek, 2006; Karczewski i in., 2011). Wykorzystywanie anten o wyższych częstotliwości skutkuje zmniejszeniem zasięgu propagacji fali elektromagnetycznej w gruncie i jednoczesnym zwiększeniem dokładności pomiarów. Równolegle, przy niższych częstotliwościach impuls penetruje głębiej, jednak widoczne są jedynie większe obiekty i wyraźniejsze granice utworów. Na uzyskiwane echogramy duży wpływ ma także szybkość przesuwania sprzętu po podłożu, którą dobiera się w zależności od parametrów pomiaru. Nieodpowiednia prędkość lub jej nagłe zmiany szczególnie niekorzystnie oddziałują na pomiary prędkości fal elektromagnetycznych w ośrodku, zakłócają bowiem kąty nachylenia odbijanych refleksów. Zaburzenia odczytów mogą też wynikać z nieodpowiedniego przylegania anten do powierzchni terenu. Oznacza to, że na wielkość strat sygnału rozchodzącego się w głąb badanego podłoża ma wpływ wiele czynników (Konopko i Wysocka, 2018).

Celem pracy jest pokazanie na przykładzie badań własnych możliwości zastosowań metody GPR do

wykrywania anomalii antropogenicznych występujących poniżej powierzchni terenu. W artykule przedstawiono badania georadarowe, które zostały przeprowadzone w celu ustalenia dokładnej lokalizacji zlikwidowanej studni, kolektora ciepłowniczego oraz prętów zbrojeniowych w betonie.

2. Metodyka badawcza

Badania georadarowe przedstawione w niniejszym opracowaniu zostały przeprowadzone z wykorzystaniem sprzętu lotewskiej firmy o nazwie ZOND-12-e, w skład którego wchodzi jednostka centralna podłączona do komputera, anteny o częstotliwości 300, 500 i 900 MHz a także kable oraz kółko pomiarowe.

Przed przystąpieniem do pomiarów przy każdym badaniu wytyczone zostały obszary, w obrębie których przewidywana była lokalizacja szukanych obiektów. Podłoże oczyszczone zostało z elementów mogących zaburzyć obraz na echogramie. Badania zostały wykonane przez dwie osoby. Zadaniem operatora było przejście georadarem po danym profilu z zachowaniem stałej prędkości oraz dbanie o prawidłowe przyleganie sprzętu do podłoża, co jest istotne w celu wyeliminowania niepotrzebnych błędów pomiarowych. Jednocześnie druga osoba, sterująca pomiarem odbierała odpowiednie parametry pomiarowe oraz wstępnie interpretowała dane uzyskane w czasie badania, które były wyświetlane na ekranie laptopa w trakcie wykonywania pomiarów. Otrzymane wyniki były zapisywane na dysku twardym, co umożliwiło późniejszą obróbkę danych.

Pierwszym obiektem zainteresowania była nieczynna studnia, która została zlikwidowana przez użytkownika poprzez zasypanie. Celem badania GPR było jej dokładne zlokalizowanie. Z wizji lokalnej i materiałów archiwalnych wiadome było w jakiej części działki studnia była zlokalizowana jednak dokładna lokalizacja była nieznana, i że była to studnia kopana mająca około 7 kręgów, oraz że została zlikwidowana poprzez zasypanie gruzem, glazami i gruntem. Po zlikwidowaniu otworu studziennego teren działki został wyłożony płytami betonowymi i aktualnie jest placem manewrowym na terenie tartaku. W związku z planowanymi zmianami przeznaczenia placu (rozbudowa tartaku) zaszła konieczność odnalezienia studni. Badania georadarowe zaplanowane zostały tak,

Tabela 1. Względna przenikalność i przewodność elektryczna w zależności od ośrodka (Lamparski, 2004; Karczewski i in., 2011)

Ośrodek	ϵ_r [-]	σ [$\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$]
Powietrze	1	0
Asfalt	2,5 – 3,5	b.d.
Beton	3 – 9	b.d.
Woda	81	$10^{-4} - 3 \cdot 10^{-2}$
Lód	3,2	$10^{-4} - 10^{-2}$
Torf	50 – 78	b.d.
Piasek	suchy 3 – 5	nawodniony 20 – 30
		suchy $10^{-7} - 10^{-3}$
		nawodniony $10^{-4} - 10^{-2}$
Gлина	25 – 36	$1,1 \cdot 10^{-4} - 2,1 \cdot 10^{-2}$
Ил	14 – 36	$2,7 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-2}$

że w jednym kierunku zostały wykonane profile radarowe długości 20 m, a w kierunku prostopadłym o długości 10 m (kolejne przejścia georadaru wykonano przesuwając się co 0,5 m). Po wstępnej ocenie założono zastosowanie anteny o częstotliwości 500 MHz (Konopko i Wysocka, 2017).

Kolejne badanie wykonano w celu detekcji zbrojenia w płycie betonowej. Badanie polegało na kilkakrotnym przejściu wzdłuż jednego profilu stosując różne ustawienia aparatury badawczej. Zdecydowano o wykorzystaniu anteny o częstotliwości 900 MHz, co dało zwiększenie rozdzielczości i zmniejszenie zasięgu głębokości (Konopko i Wysocka, 2017).

Trzecie badanie dotyczyło określenia dokładnej lokalizacji kolektora ciepłowniczego przebiegającego w rejonie boiska sportowego. W tym celu wykorzystano dwie anteny o częstotliwości 900MHz i 500 MHz. Przeprowadzono 8 pomiarów: po 4 dla każdej anteny wykorzystując różne ustawienia aparatury. Każde z badań było przeprowadzone na tej samej trasie o długości 6 metrów w kierunku prostopadłym do przebiegającej rury ciepłowniczej.

3. Wyniki badań

Po wykonaniu pomiarów w terenie uzyskane bezpośrednio z badań metodą georadarową echogramy, poddano obróbce cyfrowej w programie dedykowanym dla wykorzystanego sprzętu. Obróbka polegała na zastosowaniu odpowiednich filtrów oraz wzmocnień, co pozwoliło na wygenerowanie echogramów pozbawionych wszystkich niechcianych zakłóceń. Podkreśla się, że bez odpowiedniej obróbki

surowe echogramy nie zawsze są czytelne, w związku z czym rola interpretatora jest niezwykle ważna w całym procesie badań georadarowych.

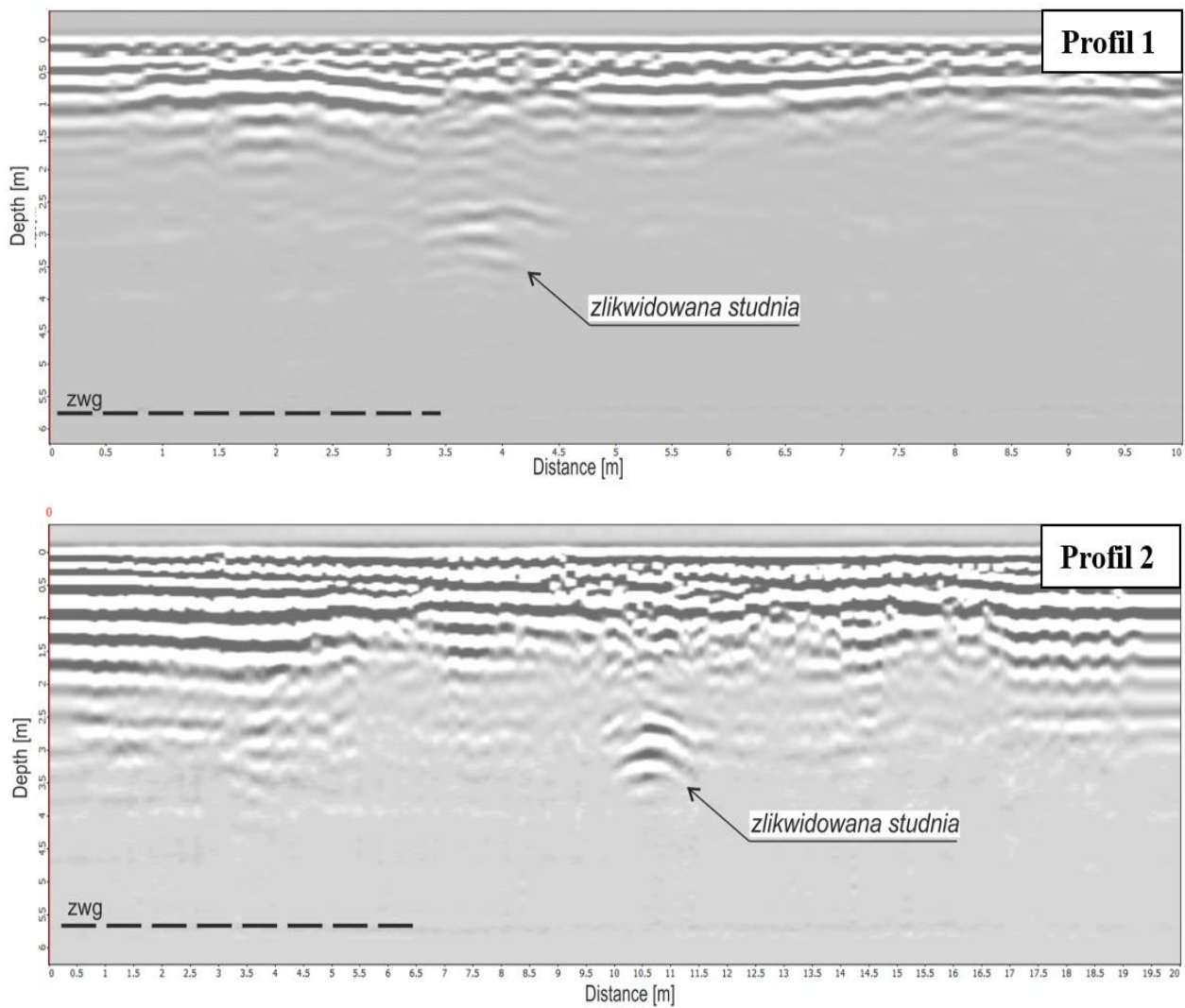
Zlokalizowanie studni w obrębie wyznaczonego terenu odniosło rezultat pozytywny. Z uzyskanych wielu profili georadarowych wybrano dwa, które nadawały się do dalszej obróbki i interpretacji. Oznaczono je jako profil numer 1 i prostopadły do niego profil numer 2. Studnię zlokalizowano na przecięciu tych profili (rys. 1). Uzyskane obrazy w postaci echogramów przedstawiono na rysunku 2.

Dla określenia lokalizacji rury ciepłowniczej wykorzystano dwie anteny o różnych częstotliwościach: 500 MHz i 900 MHz, które dały rezultaty w postaci echogramów przedstawionych na rysunku 4.

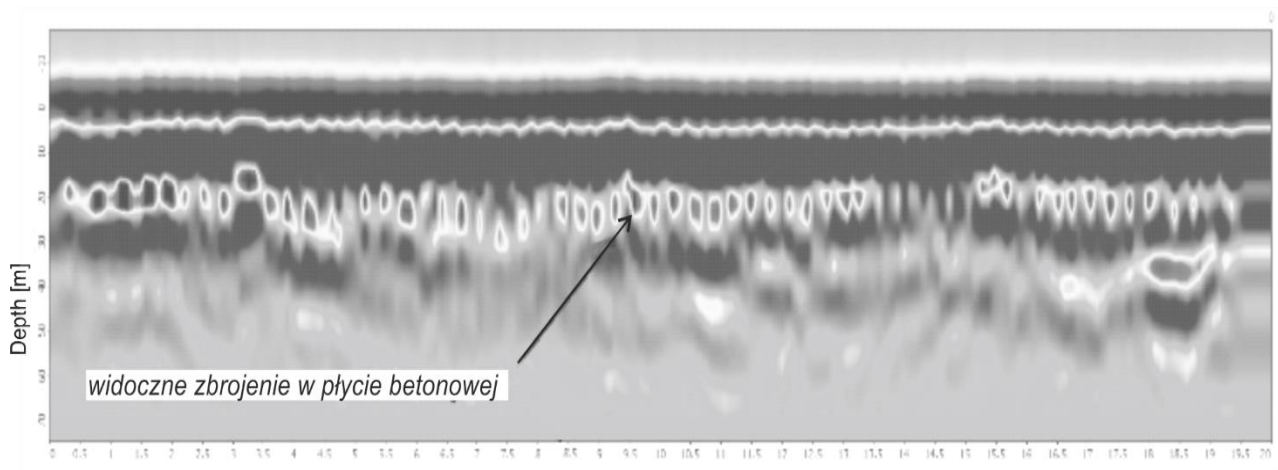
Przeprowadzone badania i analizy wykazały, że odpowiednie dobranie anteny i ustawień jest jednym z najważniejszych zadań w metodzie georadarowej. Pomiarzy anteną 500 MHz przy detekcji zbrojenia, nie dały zadowalających efektów, a zastosowanie anteny 900 MHz dopiero po kolejnym dobraniu ustawień doprowadziło do powstania echogramów z widocznym szukanym zbrojeniem w płycie betonowej. Natomiast przy lokalizacji kolektora antena 500 MHz okazała się lepszym wyborem. Na podstawie rysunku 4 można stwierdzić obecność rury na głębokości około 1,1 – 1,15 m poniżej powierzchni terenu i na około 2,75 metrze trasy przejazdu georadaru. W podłożu zarejestrowano także dwa obiekty położone nieco płycej – na głębokości około 0,5 m. Może to być przewód elektryczny, mniejsza rura lub odbicia powstałe od przeszkód w postaci kamieni lub korzeni drzew.



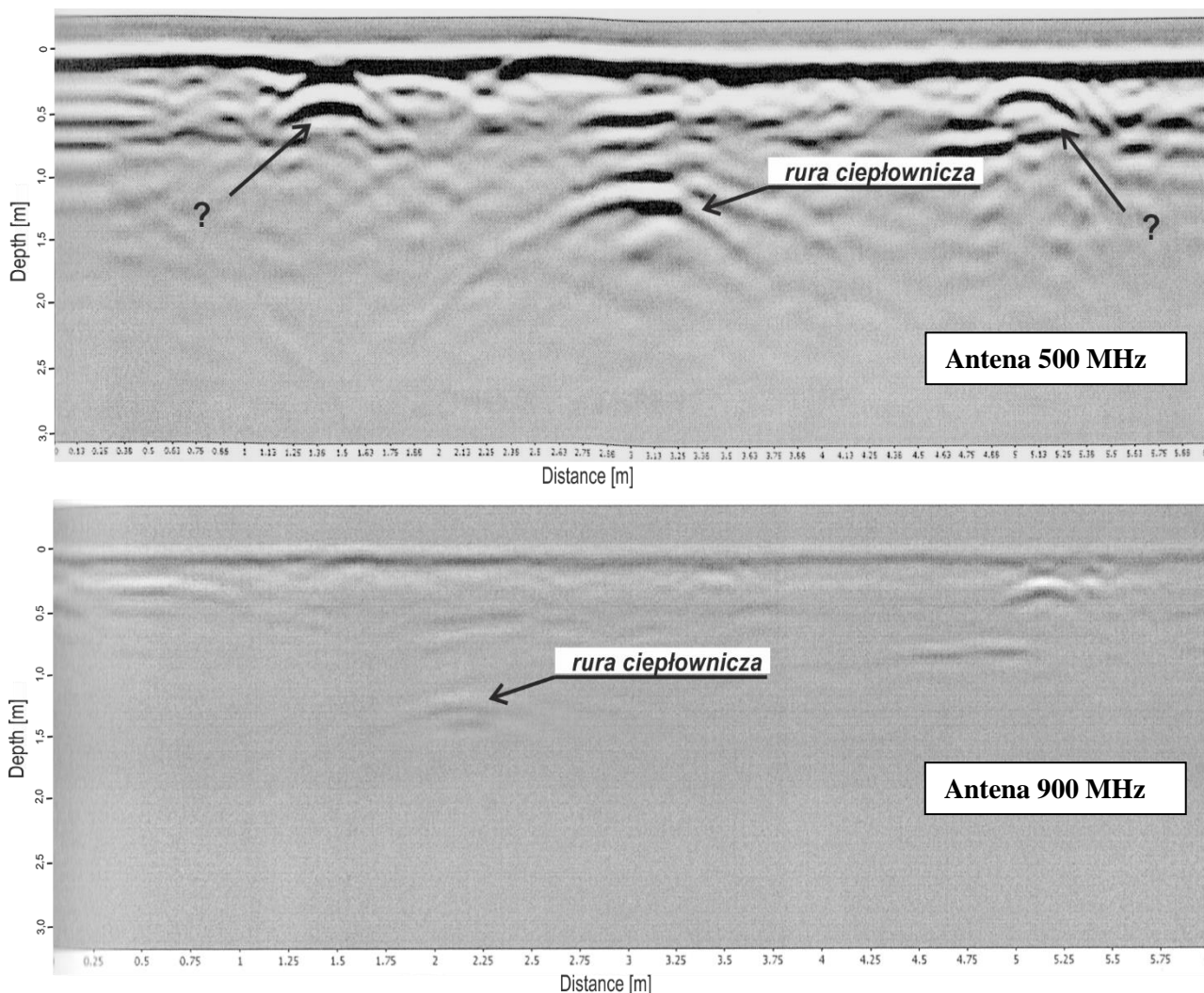
Rys. 1. Mapa poglądowa z lokalizacją przeprowadzonych badań georadarowych (lokalizacja zlikwidowanej studni)



Rys. 2. Echogramy obrazujące lokalizację zlikwidowanej studni (antena 500 MHz)



Rys. 3. Echogram obrazujący lokalizację prętów zbrojeniowych w płycie betonowej (antena 900 MHz)



Rys. 4. Echogramy obrazujące lokalizację rury ciepłowniczej

4. Podsumowanie

Przedstawione w pracy wyniki badań pokazują, że metoda GPR pozwala w szybki i bezinwazyjny sposób zlokalizować obiekty pochodzenia antropogenicznego w podłożu. Duże znaczenie w badaniu ma rodzaj, wielkość i przewidywane położenie analizowanego obiektu. Niezbędna jest wiedza i praktyka osoby dokonującej analizy. Bardzo ważnym elementem jest dobór odpowiedniej anteny, a następnie wnikliwa analiza i interpretacja wyników. Metoda daje dobre efekty w prostych warunkach występujących w podłożu, w przypadku skomplikowanej budowy podłoża i dużym zagęszczeniu infrastruktury podziemnej interpretacja wyników może być utrudniona.

Literatura

- Karczewski J., Ortyl Ł., Pasternak M. (2011). Zarys Metody Georadarowej. *Wydawnictwo AGH*, wyd. 2, Kraków.
- Konopko M., Wysocka M. E. (2017). Przykład oceny antropogenicznych zmian podłoża gruntowego metodą georadarową. *Inżynieria i Budownictwo*, 3/2017, 164-165.
- Konopko M., Wysocka M. E. (2018). Ocena organicznego podłoża gruntowego za pomocą metody GPR. *Przegląd Komunikacyjny*, R. 73, nr 2, 22-27.
- Lamparski P. (2004). Formy i Osady Czwartorzędowe w Świetle Badań Georadarowych. *Prace geograficzne Nr 194. IGI PAN*, Warszawa.
- Nawrocki W., Piasek Z. (2006). Metody Falowe Lokalizacji Infrastruktury i Obiektów Podziemnych: Teorie, Badania Symulowane i Eksperymentalne. *Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej*, Kraków.
- Ortyl Ł. (2006). Badanie Przydatności Metody Georadarowej w Geodezyjnej Inwentaryzacji Struktur i Obiektów Podpowierzchniowych. *Rozprawa doktorska. Akademia Górniczo-Hutnicza*, Kraków.
- Rajchel B. (2017). Ocena zastosowania georadaru do wykrywania podziemnych instalacji budowlanych w warunkach zimowych. *Przegląd Geologiczny*, vol. 65, nr 10/2, 790-795
- Pasternak M. (red.) (2015). *Radarowa Penetracja Gruntu GPR. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności*, Warszawa.
- Rucka M., Lachowicz J. (2014). Zastosowanie metody georadarowej w badaniach konstrukcji podłogi posadowionej na gruncie. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 5/2014, 452-458.
- Sudyka J., Kraszewski C. (2009). Sprawozdanie z realizacji pracy pt.: „Ocena geotechniczna podłoża gruntowego techniką radarową z szczególnym uwzględnieniem stanu

hydrologicznego podłoża gruntowego”. *Sprawozdanie częściowe dla GDDKiA: etap I – zadania 1-6, Warszawa.*

GPR USING FOR LOCATION ANTHROPOGENIC CHANGES IN SUBSTRATE

Abstract: The paper presents the results of research using georadar. The paper aim was to locate anthropogenic changes occurring in the substrate. The tests consisted of field tests carried out using 500 MHz and 900 MHz antennas, followed by digital processing and interpretation of echograms. In the GPR method, the necessary factor in registering a useful signal (information) is the contrast to the dielectric constant between the center and the object being sought. Conducted research and analysis showed that the appropriate selection of antenna and settings is one of the most important tasks when using a GPR. The knowledge and practice of the person making measurements and analysis are necessary.