

Zastosowanie wybranych metod geofizycznych do inwentaryzacji infrastruktury podziemnej

Bernadeta Rajchel¹, Szymon Faber¹

Application of selected geophysical methods for underground infrastructure inventory. Prz. Geol., 72: 832–837; doi: 10.7306/2024.72

A b s t r a c t. Taking into consideration the increasing need for sanitary, teletechnical, gas and other installation projects in heavily urbanised areas, it becomes apparent that ground utilities need to be verified. Considering uninventoried network elements, depth difference and offsets relative to maps, obstacles can often be encountered that can significantly alter the cost estimate and work schedule. It is also important to verify the groundwater table at the site of the planned works to avoid contamination of ground waters. A good solution for this type of engineering issues is the use of non-invasive geophysical methods, which allow preliminary site investigation by interpreting survey results and recording underground utilities, prior to the start of design work or, in the case of an entrusted project, prior to earthworks. In the present study, the ground was measured and analysed using geophysical methods. The focus was on two types of methods: the GPR and the GCM. Geophysical surveys were carried out on the premises of the State University of Applied Sciences in Krosno. The main objective of the study was to assess the suitability of selected geophysical methods, in engineering terms, and more specifically in determining the location in the subsoil of underground utility elements in the area of the former sports field. A construction project is planned on the site in question, so it was subjected to a detailed investigation. The GPR and GCM survey works carried out have provided material to expand the knowledge of the area under verification regarding the identification of a given object in the field, along with underground infrastructure elements: sewers, water mains or power cables. The utilities map shows an object – perhaps a well – to which the water supply and power mains are connected. This object is invisible, covered by a layer of soil. However, in reality, these networks have not been found. The measurements presented demonstrate that the geophysical methods used are very successful in determining the location of the routing of underground objects. It should be stated that confirmation of the presence or absence of a correspondence between the utility map and the geophysical surveys carried out is proof of the validity of the use of the GPR method. Cooperation between geologists and geophysicists leads to obtaining optimal information about the ground when identifying underground engineering infrastructure or other objects. However, unfortunately, it seems that in Poland the use of geophysical methods for ground investigations, including environmental ones, is relatively small compared to Western European countries and the USA. In summary, the possibilities and accuracies of practical use of the geophysical methods used, as determined by the measurements, indicate their usefulness in engineering applications. Furthermore, the use of not one, but two methods is more valuable, as it provides the possibility of confirming the results obtained. These methods are recommended as methods for preliminary site recognition prior to proper investigations, such as geotechnical investigations. This procedure will reduce the number of geotechnical sounding points.

Keywords: underground infrastructure, localization, Ground Penetrating Radar (GPR), Ground Conductivity Method (GCM)

Biorąc pod uwagę coraz częstsza konieczność wykonywania projektów instalacji sanitarnych, teletechnicznych, gazowych i innych w terenach mocno zurbanizowanych, zauważa się konieczność weryfikacji uzbrojenia terenu. Uwzględniając niezainwentaryzowane elementy sieci, różnicę głębokości oraz przesunięcia względem map, można niejednokrotnie napotkać przeszkody, które mogą znacząco zmienić kosztorys i harmonogram robót. Istotnym aspektem jest także weryfikacja zwierciadła wód gruntowych w miejscu planowanych prac w celu uniknięcia zanieczyszczenia tych wód.

Dobrym rozwiązaniem w tego typu zagadnieniach inżynierskich jest zastosowanie nieinwazyjnych metod geofizycznych, pozwalających na wstępne rozpoznanie terenu, poprzez interpretację wyników pomiarowych i rejestrację infrastruktury podziemnej, jeszcze przed rozpoczęciem prac projektowych lub, w przypadku projektu powierzono, przed przystąpieniem do prac ziemnych.

W pracy przeprowadzono pomiary i analizę podłoża gruntowego tylko metodami geofizycznymi, bez potwierdzania uzyskanych wyników badaniami inwazyjnymi. Skupiono się na dwóch rodzajach metod: georadarowej oraz

konduktometrycznej. Pomiary geofizyczne wykonano na terenie obiektów Państwowej Akademii Nauk Stosowanych (PANS) w Krośnie.

Głównym celem badań była ocena przydatności wybranych metod geofizycznych w tematyce inżynierskiej, a dokładniej w lokalizacji w podłożu gruntowym elementów infrastruktury podziemnej na terenie byłego boiska sportowego. Na terenie tym jest planowana inwestycja budowlana, dlatego poddano go rozpoznaniu geofizycznemu przed przeprowadzeniem wierceń geotechnicznych.

TEREN I METODYKA BADAŃ

Badania przeprowadzono na terenie obiektów PANS w Krośnie. Zaprojektowano układ profili pomiarowych georadarowych i konduktometrycznych (ryc. 1).

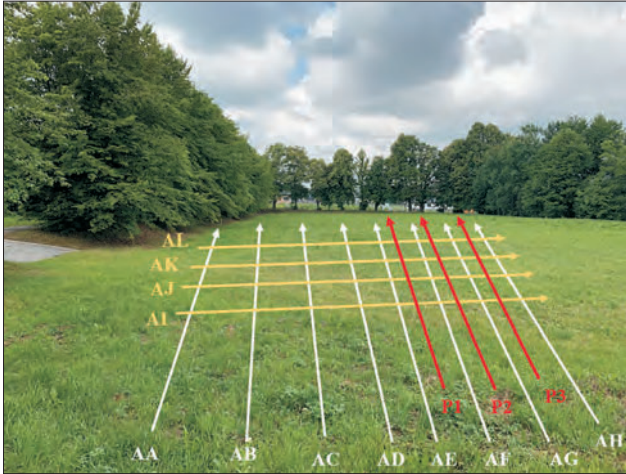
Sposób wykonania pomiaru georadarowego oraz konduktometrycznego, dokładność przeprowadzenia pomiaru, precyzja lokalizacji pomiaru w terenie, rodzaj użytej aparatury są istotne przy prowadzeniu badań.

Do badań georadarowych został wykorzystany georadar Detector Duo włoskiej firmy IDS. Współpracuje on

¹ Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Krośnie, Rynek 1, 38-400 Krosno; bernadeta.rajchel@pans.krosno.pl; szymon.faber@pans.krosno.pl; ORCID ID B. Rajchel – 0000-0001-9210-2546.

z dwoma antenami (stąd nazwa Duo): TR 250 (tzw. głęboka – do max. 6,0 m) i TR 700 (tzw. płytka – do max. 1,5–2,0 m).

W georadarze Detector Duo wyzwalanie sygnału odbywa się w stałych interwałach odległościowych za pomocą kółka pomiarowego. Wszystkie parametry: wzmocnienie,



Ryc. 1. Teren badań, poglądowy schemat siatki profili georadarych (kolor biały i żółty) i konduktometrycznych (kolor czerwony) (opracowanie własne)

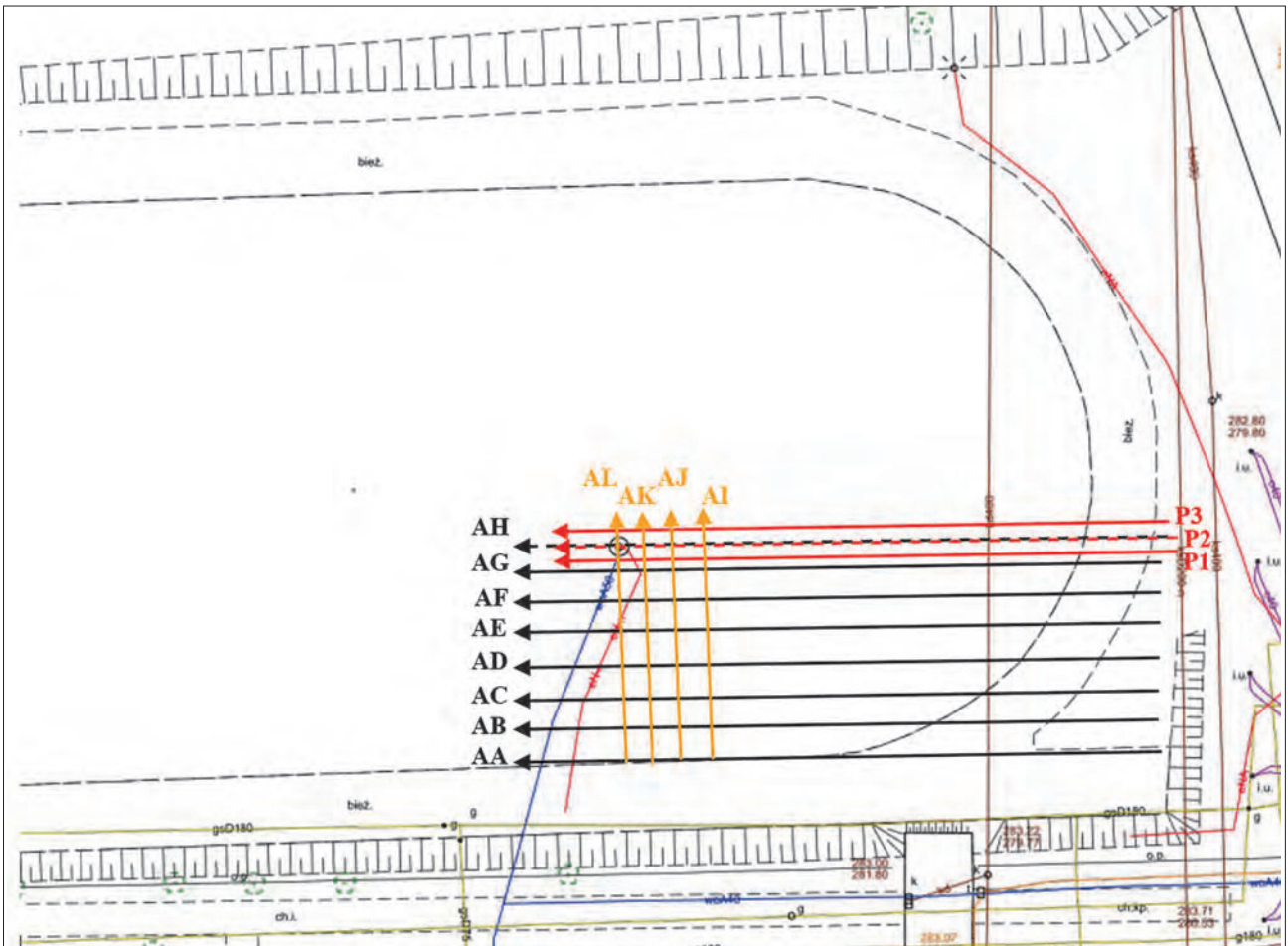
Fig. 1. The surveyed area, schematic diagram of the grid of GPR (white and yellow) and GCM (red) profiles (own elaboration)

dobór filtrów czy okno czasowe są ustawione automatycznie. Zapis danych nieprzetworzonych następuje na nośniku magnetycznym. Jednostka centralna georadaru jest połączona z komputerem za pomocą sieci Ethernet 10/100 Mbit/s. Urządzenie jest zasilane z akumulatora 12 V.

Do badań konduktometrycznych została użyta konduktometr CMD-Explorer firmy *GF Instruments*. Urządzeniem tym można wykonać symultaniczne pomiary w trzech rozstawach w układzie VD i HD, a co za tym idzie każdym z nich można wykonać pomiar na sześciu głębokościach. Podczas prac zastosowano układ VD w celu uzyskania możliwie dużego zasięgu głębokościowego i wysokiej rozdzielczości w przypadku warstw występujących głębiej. Parametry pomiaru ustawiono jako: pomiar manualny, tryb połączony, kalibracja fabryczna 1 m nad ziemią dla dużego zakresu głębokości (*GF Instruments*, 2016). Jest to technika pomiarowa niewymagająca bezpośredniego kontaktu urządzenia z podłożem.

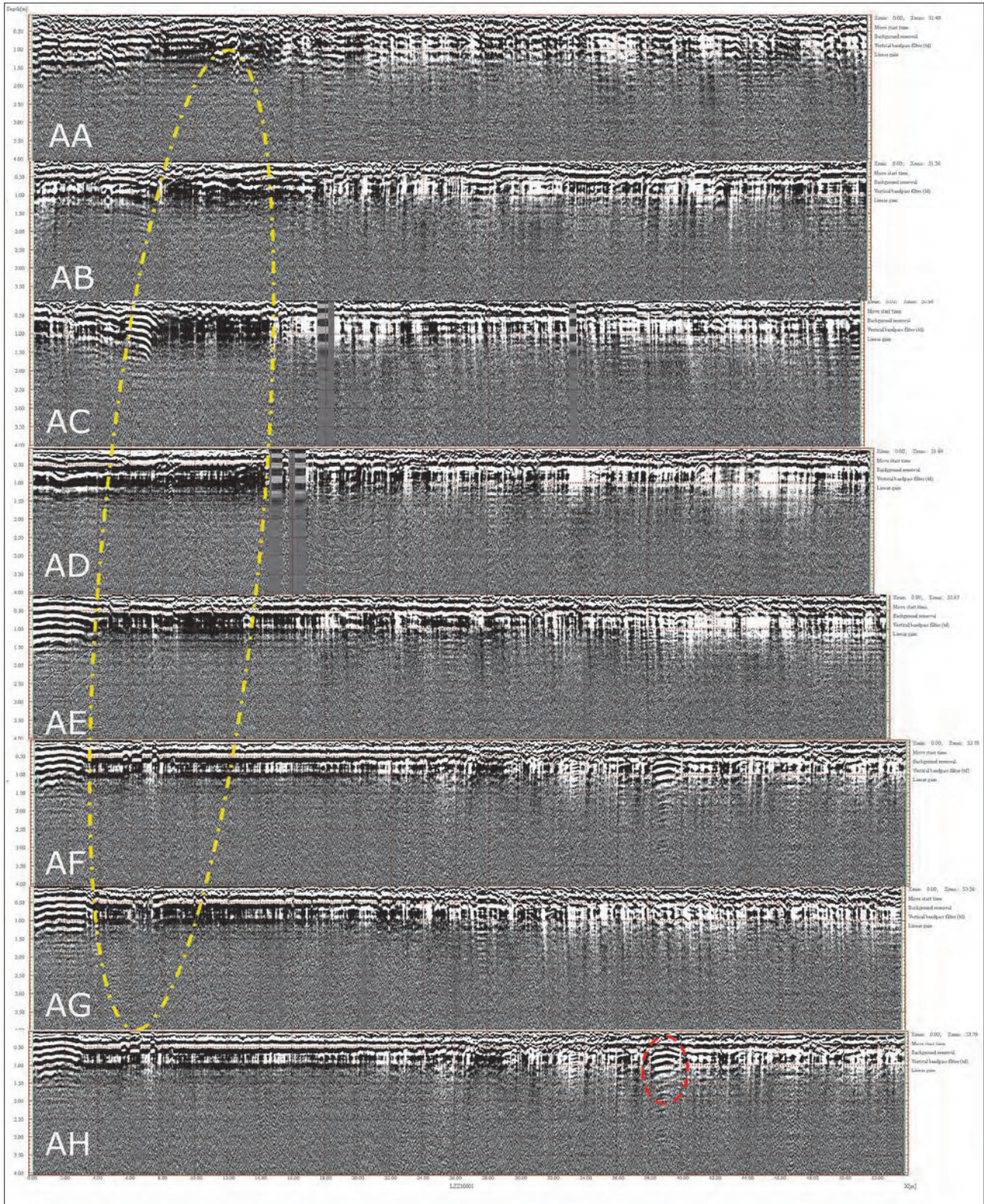
W pierwszej kolejności wykonano pomiary georadarych. Odległości między kolejnymi profilami pomiarowymi wynosiły 1,5 m. Łączenie wykonano 17 profili: 8 profili wzdłuż dłuższego boku boiska, 4 profile prostopadłe do nich (ryc. 1) oraz dodatkowo 5 profili potwierdzających lokalizację studni. Długość profili wynosiła średnio 50 m, 19 m oraz 4 m. Pomiary zostały zarejestrowane antenami o częstotliwościach 250 MHz oraz 700 MHz.

Pomiary konduktometryczne wykonano w strefie potencjalnej lokalizacji studni wyznaczonej wcześniej



Ryc. 2. Mapa terenu badań z rozmieszczeniem kolejnych profili pomiarowych (opracowanie własne na podstawie mapy zasadniczej terenu)

Fig. 2. Map of the surveyed area with location of successive measurement profiles (own elaboration based on the master map of the area)



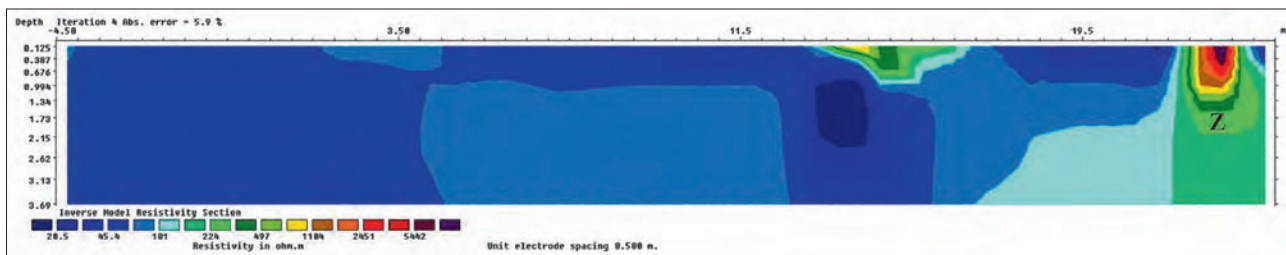
Ryc. 4. Złożone echogramy AA–AH. Widoczna anomalia pochodząca od zlokalizowanego zbiornika (kolor czerwony). Na kolejnych echogramach zaznacza się ciągła struktura (kolor żółty) – inny rodzaj lub zagęszczenie gruntu. Aparatura IDS/GPR, antena ekranowana 700 MHz (opracowanie własne)

Fig. 4. AA–AH composite echograms. Visible anomaly originating from a reservoir found (marked red). The following echograms show a continuous structure (yellow) – a different type or density of soil. IDS/GPR apparatus, 700 MHz shielded antenna (own elaboration)

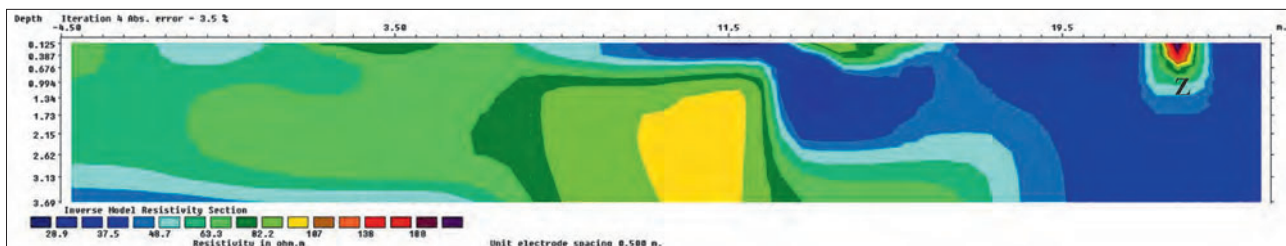
w przeciwieństwie do georadaru. Ponadto konduktometr CMD-Explorer, który był wykorzystany do niniejszych badań, ma możliwość zarejestrowania jednocześnie pomiaru na trzech głębokościach: ok. 2,2, 4,2 i 6,7 m.

Do podstawowych ograniczeń metody georadarowej i konduktometrycznej należy zaliczyć:

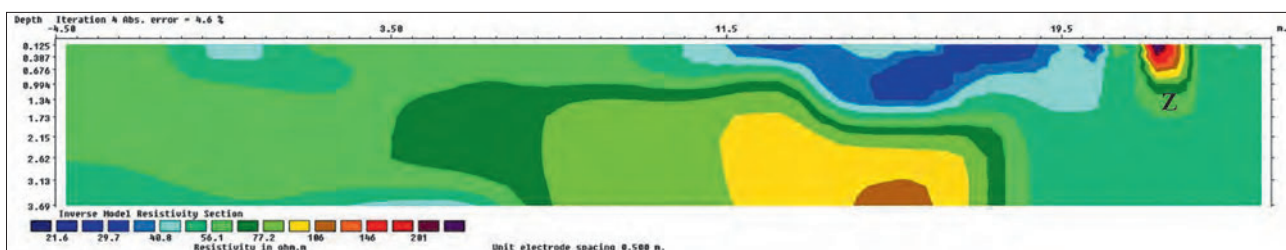
- bardzo zmienny i uzależniony od czynników geologicznych zasięg głębokościowy metody; w warunkach



Ryc. 5. Profil oporności nr 1 badanego terenu. Konduktometr CMD-Explorer. Z – poszukiwany zbiornik (opracowanie własne)
 Fig. 5. Resistivity profile 1 of the area surveyed. CMD-Explorer conductivity meter. Z – reservoir sought (own elaboration)



Ryc. 6. Profil oporności nr 2 badanego terenu. Konduktometr CMD-Explorer. Z – poszukiwany zbiornik (opracowanie własne)
 Fig. 6. Resistivity profile 2 of the area surveyed. CMD-Explorer conductivity meter. Z – reservoir sought (own elaboration)



Ryc. 7. Profil oporności nr 3 badanego terenu. Konduktometr CMD-Explorer. Z – poszukiwany zbiornik (opracowanie własne)
 Fig. 7. Resistivity profile 3 of the area surveyed. CMD-Explorer conductivity meter. Z – reservoir sought (own elaboration)



Ryc. 8. Pokrywa zbiornika na badanym terenie zlokalizowana dzięki zastosowaniu metod geofizycznych. Fot. B. Rajchel
 Fig. 8. The reservoir cover in the studied area was located using geophysical methods. Photo by B. Rajchel

kach dużego tłumienia fali elektromagnetycznej (w gruntach o niskiej oporności elektrycznej) głębokość penetracji może nie przekraczać nawet 1 m (georadar);

- ❑ wykrywanie obiektów nie tylko metalowych, co po niekąd jest zaletą, ale może wprowadzać w błąd osobę interpretującą wyniki, np. może się pojawić się

niejednoznaczność przy identyfikowaniu danych obiektów;

- ❑ w większości pomiarów skomplikowana interpretacja uzyskanych wyników, wymagająca odpowiedniego doświadczenia osoby interpretującej;
- ❑ wysoki koszt aparatury.

WNIOSKI

W ramach powyższych badań przeprowadzono ocenę przydatności metody georadarowej i konduktometrycznej dla rozwiązań zagadnień inżynierskich, mając na celu inwentaryzację infrastruktury podziemnej na terenie byłego boiska sportowego. Na tym terenie jest planowana inwestycja budowlana, dlatego został on poddany szczegółowemu rozpoznaniu.

Dzięki wykonanym badaniom georadarowym oraz konduktometrycznym uzyskano materiał poszerzający wiedzę na temat weryfikowanego obszaru, dotyczący rozpoznania danego obiektu w terenie, a także elementów infrastruktury podziemnej: kanalizacja, wodociąg, przewód energetyczny. Na mapie uzbrojenia jest zaznaczony obiekt – studnia?, do którego jest przyłączona sieć wodociągowa oraz energetyczna. Obiekt ten jest niewidoczny, przykryty warstwą gruntu. Jednak w rzeczywistości sieci tych nie zlokalizowano.

Potwierdzenie występowania zgodności pomiędzy mapą uzbrojenia a przeprowadzonymi pomiarami geofizycz-

nymi lub ich braku świadczy o słuszności stosowania metody georadarowej. I jak wspomniano na początku artykułu, metody geofizyczne pozwalają na wstępne rozpoznanie terenu jeszcze przed rozpoczęciem prac projektowych lub przed przystąpieniem do prac ziemnych, a to z kolei prowadzi do oszczędności kosztów i czasu trwania inwestycji.

W badaniach prowadzonych w Polsce i na świecie również pojawia się problem lokalizacji w gruncie niezinventaryzowanych obiektów. Przykładowo Mutke i Chodacki (2005) omawiają sytuację na terenach pogórnich i górniczych, a szerzej na terenach przemysłowych lub dawnych baz wojskowych. Występuje tam często problem zakopanych w gruncie elementów złomu (np. zbiorniki, beczki z odpadami, kable, zużyty sprzęt itp.) lub starej liniowej infrastruktury technicznej, nie zawsze dobrze udokumentowanej na dostępnych mapach. Informacja o występowaniu i lokalizacji takich elementów znajdujących się w ziemi jest niezbędna przy planowaniu i wykonywaniu w terenie nowych inwestycji. Stare zbiorniki paliw czy inny zakopany w ziemi złom stanowią zagrożenie dla terenu, które może skutkować skażeniem gleby i wód przypowierzchniowych. Rozwój infrastruktury naziemnej i podziemnej miast (np. budowa parkingów) będzie wymagał szybkiej i precyzyjnej informacji o obiektach, kablach i rurociągach zakopanych w ziemi. Wspomniane zagadnienia mogą być badane metodami elektrooporowymi, radarowymi oraz elektromagnetycznymi (Mutke, Chodacki, 2005). Georadar można z powodzeniem stosować w badaniach geotechnicznych i inżynierskich. W badaniach geotechnicznych przykładowo do analizy stanu technicznego wałów przeciwpowodziowych, zapór wodnych lub inventaryzacji sieci gazowych, teletechnicznych czy sanitarnych. Badania tych ostatnich zostały opisane m.in. przez Rajchel (2011). Następnym przykładem użycia georadaru do rozpoznania podłoża gruntowego, przed potencjalnym wykonaniem inwestycji na badanym terenie, jest lokalizacja wraku samolotu z II wojny światowej (Pasterkiewicz, Rajchel, 2017). Kolejną możliwością zastosowania metody zastosowania metody georadarowej w problematyce inżynierskiej jest lokalizacja byłego składowiska odpadów zdeponowanych w niecce i przykrytych warstwą gruntu (Rajchel, Chmielowski, 2015). Innym przykładem zastosowania konduktometru jest lokalizacja zakopanych odpadów (GF Instruments, 2016). Wyższe wartości przewodności wskazują na obszar utworzony z jednorodnych osadów ilastych. Duża zmienność i niskie wartości prze-

wodności są charakterystyczne dla składowiska niejednorodnego (bez materiału organicznego).

Metody geofizyczne mogą być stosowane do rozwiązania bardzo wielu zagadnień inżynierskich. Pozwalają na uzyskanie precyzyjnych przekrojów głębokościowych utworów skalnych, łącznie z informacją o lokalizacji w nich obiektów. Biorąc również pod uwagę ważną ich zaletę, jaką jest wykonywanie pomiarów ciągłych w sposób bezinwazyjny, dzięki czemu otrzymujemy dokładny obraz profilu litologicznego utworów przypowierzchniowych, można stwierdzić, że ta aparatura jest niezastąpionym narzędziem o nieograniczonej liczbie zastosowań. Ich zaletą metod geofizycznych są też niskie koszty badań w porównaniu z badaniami w otworach wiertniczych. Współpraca geologów i geofizyków prowadzi do uzyskania optymalnej informacji o terenie podczas inżynierskiego rozpoznawania infrastruktury podziemnej czy innych obiektów.

Reasumując, określone w wyniku pomiarów możliwości i dokładności praktycznego użycia zastosowanych metod geofizycznych wskazują na ich przydatność w zagadnieniach inżynierskich. Ponadto zastosowanie nie jednej, a dwóch metod jest cenniejsze, ponieważ daje możliwość potwierdzenia uzyskanych wyników. Metody te zaleca się jako metody wstępnego rozpoznania terenu przed właściwymi badaniami, np. geotechnicznymi. Ta procedura pozwoli na ograniczenie liczby punktów sondowań geotechnicznych.

Autorzy uprzejmie dziękują Recenzentom za poświęcony czas i konstruktywne uwagi do treści artykułu.

LITERATURA

- GF Instruments, 2016 – Short guide for electromagnetic conductivity mapping and tomography.
- MUTKE G., CHODACKI J. 2005 – Zastosowanie płytkiego profilowania elektromagnetycznego do rozwiązywania zagadnień inżynierskich i środowiskowych w przypowierzchniowych warstwach podłoża. Kwart. Górn. Środ., 3. Pr. Nauk. GIG.
- PASTERKIEWICZ W., RAJCHEL B. 2017 – Application of GPR Survey in the investigation of a Plane Crash from the Second World War. [W:] Dębiec M., Pasterkiewicz W. (red.), *Analecta Archaeologica Ressorvienia*, 12, Rzeszów.
- RAJCHEL B. 2011 – Zastosowanie metody georadarowej do lokalizacji infrastruktury komunalnej w obrębie rejonu Dynów–Dubiecko. [W:] Krupa J., Soliński T. (red.), *Turystyka wiejska, ochrona środowiska i dziedzictwo kulturowe Pogórza Dynowskiego*. ZGTPG, Dynów.
- RAJCHEL B., CHMIELOWSKI K. 2015 – Próba zastosowania georadaru do lokalizacji stref zdegradowanych. *Czas. Inż. Łąd., Środ., Arch.*, 32, 62 (3/1/15).

Praca wpłynęła do redakcji 7.06.2024 r.
Akceptowano do druku 15.11.2024 r.