

## Ocena zastosowania georadaru do wykrywania podziemnych instalacji budowlanych w warunkach zimowych

Bernadeta Rajchel<sup>1</sup>

**Assessment of the use of ground-penetrating radar to detect underground installation systems in winter conditions.** Prz. Geol., 65: 790–795.

*Abstract.* The aim of the measurements was to assess the usefulness of the GPR technique in winter in engineering projects, particularly in determining the location of underground infrastructure, such as sanitary and gas installations as well as power and telecommunication cables. The article presents and discusses the results of the measurements performed in a developed area. The use of GPR was assessed based on the identification of installation system elements as well as the comparison between their actual position and their location according to a geodesic plan. GPR should be considered as a valuable tool during the repair of sanitary, gas or other types of networks as it allows to precisely determine the location of a given network in the subsurface layer, and thus prevent possible failures.

**Keywords:** GPR, localization, underground installations, winter conditions

Metoda georadarowa (GPR) jest bezwzględnie metodą geofizycznych badań warstw przypowierzchniowych, a metodyka wykonania pomiarów georadarowych jest prosta i stosunkowo szybka. Podstawą fizyczną metody georadarowej jest zjawisko związane z propagacją fal elektromagnetycznych. Fala elektromagnetyczna w ośrodku geologicznym ulega m.in. tłumieniu, załamaniu i odbiciu. W tej metodzie stosuje się anteny o częstotliwościach w zakresie od 10 MHz do 2,5 GHz (Annan, 2001; Karczewski, 2007). Daje ona informację na temat obecności, sposobie ułożenia, głębokości obiektów oraz struktur naturalnych i antropogenicznych. Georadar ma bardzo szerokie zastosowanie praktyczne, od poszukiwań militarnych przez badania archeologiczne (Ziętek i in., 2001; Rajchel, 2011b), geologiczne (Gołębiowski, 2012), związane z ochroną środowiska (Marcak i in., 2006; Karczewski, 2011), po zagadnienia inżynierskie – budownictwo (Marcak i in., 2005), drogownictwo i geodezję (Ortyl, 2006). Zapis pomiaru wykonanego georadarem to echogram, który jest materiałem pierwotnym, podanym później obróbce odpowiednim programem komputerowym, a na końcu interpretacji, w celu określenia lokalizacji obiektów podpowierzchniowych.

Georadar z powodzeniem jest stosowany w badaniach inżynierskich oraz geotechnicznych (Sołtys, 2002; Gołębiowski i in., 2012; Rajchel, 2014; Rucka, Lachowicz, 2014; Gańko i in., 2015). W rozwiązywaniu problemów inżynierskich technika georadarowa sprawdza się najlepiej w rozpoznaniu instalacji podziemnych, badaniu dróg, nasypów kolejowych, lotnisk. W badaniach geotechnicznych georadar stosuje się m.in.: do analizy stanu technicznego wałów przeciwpowodziowych, mostów, zapór wodnych, czy do ustalania płaszczyzny poślizgu osuwisk.

Zdaniem osób zajmujących się tą tematyką (Annan, 2001; Sołtys, 2002; Karczewski, 2007), georadar bardzo dobrze sprawdza się w ustalaniu położenia i przebiegu różnego rodzaju kabli (energetycznych, telefonicznych), rur (gazowych, wodociągowych, komunalnych) oraz innych obiektów metalowych, betonowych, plastikowych (rury PCV) itp. o kształcie liniowym. Kable i rury są rejestrowane

na echogramie jako hiperbole, których wierzchołki stanowią punkt położenia poszukiwanego obiektu. Duża dokładność rozpoznania kabli i rur wynika ze znacznej różnicy wartości stałej dielektrycznej między ośrodkiem gruntowym, a obiektami metalowymi (tab. 1).

Na podstawie wartości stałych dielektrycznych różnych ośrodków (tab. 1) można zauważyć, że największe kontrasty występują między ośrodkami, takimi jak: powietrze–ośrodek geologiczny stały, powietrze–woda, metal– ośrodek geologiczny stały, metal–woda; plastik (PCV)– ośrodek geologiczny i woda. Wiadomym jest, że im większy kontrast wartości stałych dielektrycznych, tym większa wartość współczynnika odbicia, przez co silniejsza amplituda fali powracającej w kierunku anteny odbiorczej georadaru (Ortyl, 2006).

Jeśli zatem metodę georadarową z sukcesem można stosować do wyznaczania położenia instalacji podziemnych, to należy przeanalizować po pierwsze, jaka jest dokładność

**Tab. 1.** Wartości stałej dielektrycznej dla różnych ośrodków (Annan, 2001; Sołtys, 2002)

**Table 1.** Value of the dielectric constant for the various materials (Annan, 2001; Sołtys, 2002)

Rodzaj ośrodka Type of the material	$\epsilon_r$	Rodzaj ośrodka Type of the material	$\epsilon_r$
Powietrze Air	1	muł silt	5–30
Słodka woda Fresh water	80	glina loam	5–40
Słona woda Sea water	80	granit granite	4–6
Suchy piasek Dry sand	3–5	sucha sól dry salt	5–6
Nasycony piasek Saturated sand	20–30	lód ice	3–4
Piaskowiec Sandstone	4–8	beton concrete	6–30
Łupek Shales	5–15	asfalt asphalt	3–5
Metale Metals	1–2	plastik (PCV) plastic (PCV)	3

<sup>1</sup> Zakład Inżynierii Środowiska, Instytut Politechniczny, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Stanisława Pigionia w Krośnie, ul. Dmochowskiego 12, 38-400 Krosno; bernadeta.rajchel@pwsz.krosno.pl.

rozpoznania infrastruktury podziemnej, porównując wyniki pomiarów georadarowych z planem uzbrojenia terenu, a po drugie, czy warunki pogodowe będą stanowić ograniczenie w wykorzystaniu tej metody.

### CEL BADAŃ

Celem niniejszego artykułu jest analiza użyteczności metody georadarowej w budownictwie, szczególnie w lokalizacji instalacji podpowierzchniowych. Istotne jest sprawdzenie czy georadar w zadanym terenie, z utrudnieniem w postaci warunków zimowych, jest w stanie wykryć i wyznaczyć głębokości położenia infrastruktury podziemnej, a dzięki interpretacji i porównaniu z planem uzbrojenia można ustalić rodzaj tej infrastruktury. Intencją autorki nie jest ocena prawidłowości lokalizacji instalacji podziemnych na planie uzbrojenia, ponieważ tego rodzaju próby na innym terenie wykonano wcześniej i wykazano, że plan uzbrojenia nie jest stuprocentowym odzwierciedleniem rzeczywistego położenia podziemnej infrastruktury technicznej, szczególnie w przypadku rozmieszczenia kabli energetycznych i telekomunikacyjnych (Rajchel, 2011a, 2013). Uzyskane wyniki pozwolą określić, czy zimowe warunki pogodowe wpływają na jakość zarejestrowanego obrazu falowego.

W artykule przedstawiono i omówiono wyniki badań georadarowych wykonanych na terenie parkingu, wyłożonego kostką brukową, Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Krośnie przy ul. Kazimierza Wielkiego 4–8.

### METODYKA BADAŃ

Pomiary przeprowadzono za pomocą georadaru Detector Duo włoskiej firmy IDS (ryc. 1). Jest on wyposażony w dwie anteny: TR 250 i TR 700. Urządzenie to bardzo dobrze sprawdza się w rozwiązywaniu zagadnień inżynierskich, w lokalizacji obiektów technicznych znajdujących się na głębokości maksymalnie do 5–6 m pod powierzchnią terenu przy korzystnych warunkach gruntowych (m.in. mała wilgotność i porowatość). W tego typu georadarze sygnał jest wyzwalany w stałych interwałach



**Ryc. 1.** Georadar Detector Duo włoskiej firmy IDS. Ryc. 1 i 2 – fot. B. Rajchel

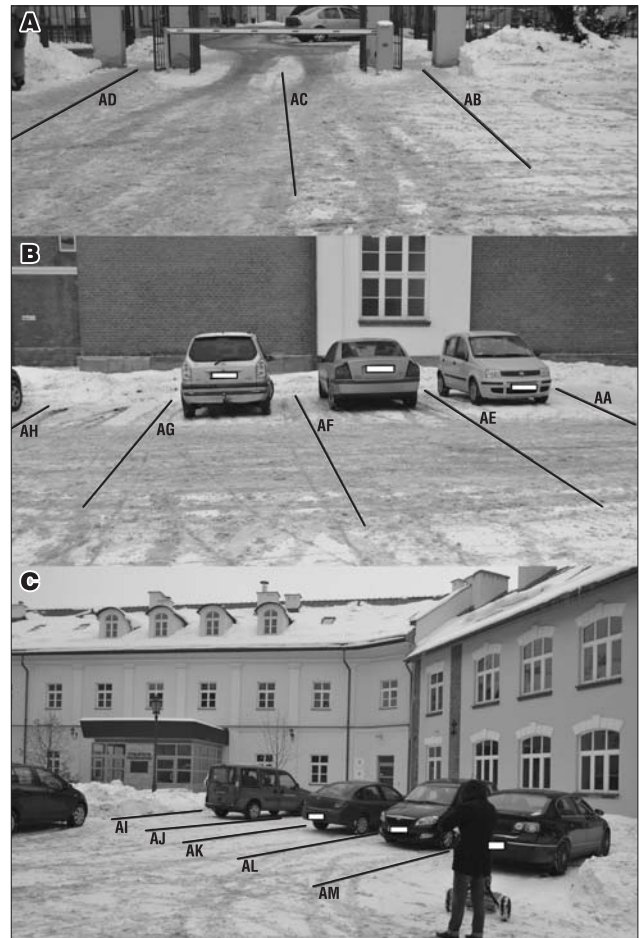
**Fig. 1.** GPR Detector Duo manufactured by Italian company IDS. Figs 1 and 2 – photo by B. Rajchel

odległościowych za pomocą kółka pomiarowego. Parametry, tj.: wzmacnienie, filtry, okno czasowe, są ustawione automatycznie. Nieprzetworzone dane są zapisywane na nośniku magnetycznym. Jednostka centralna jest połączona z komputerem siecią Ethernet 10/100 Mbit/s. Georadar zasilany jest akumulatorem 12 V.

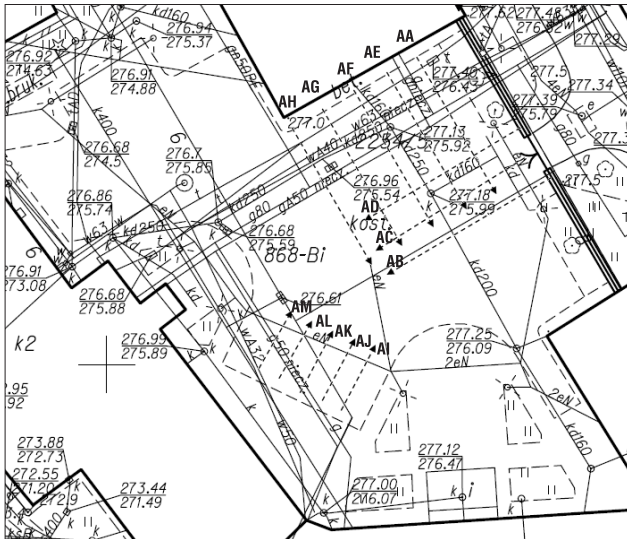
Na terenie ww. dziedzińca PWSZ w Krośnie zaplanowano układ georadarowych profili pomiarowych, mając na uwadze dostępne informacje o rozmieszczeniu liniowych obiektów podziemnych (kable, rury), a także praktyczną możliwość wykonania pomiarów (dziedziniec stanowi parking, a odległości między zaparkowanymi samochodami wyznaczały odległość między profilami).

Pomiary przeprowadzono 21 stycznia 2017 r. W tym dniu i dniach poprzedzających panowały warunki zimowe (ryc. 2). Temperatura powietrza w ciągu dnia wynosiła ok. +2°C, w nocy spadała do –9°C. Zanotowano przelotne opady śniegu. Na badanym terenie zalegała nierówna warstwa śniegu, przy ścianach budynków – ściągnięty śnieg z parkingu. Pod warstwą śniegu miejscami znajdował się lód. Grunt był zamrożony, jednak trudno określić do jakiej głębokości. Strefa przemarzania gruntów dla Krosna wynosi 1,2 m.

Przed wykonaniem pomiarów georadarowych przeprowadzono pomiar kalibracyjny urządzenia na wyznaczonym obszarze. Ponadto wykonano pomiary porównawcze, w celu określenia prawidłowości odwzorowania odległości



**Ryc. 2.** Rozmieszczenie profili pomiarowych w terenie. **A** – brama wjazdowa, **B** – ściana boczna, **C** – ściana frontowa gmachu PWSZ  
**Fig. 2.** Measurement profiles arrangement in area. **A** – gate entrance, **B** – sidewall, **C** – front wall



**Ryc. 3.** Plan sieci uzbrojenia terenu z rozmieszczeniem profili pomiarowych. Skala 1 : 500. Objaśnienia: g – gazociąg, k – kanalizacja, kd – kanalizacja deszczowa, w – wodociąg, eN – sieć energetyczna, t – telekomunikacja

**Fig. 3.** Plan of territorial development network with measurement profiles arrangement. The scale 1 : 500. Explanations: g – gas network, k – wastewater network, kd – rain water sewer network, w – water network, eN – power network, t – telecommunication network

na profilach, za pomocą kółka pomiarowego oraz taśmą mierniczą rzeczywistą odległość w terenie. Profile georadarowe naniesiono na plan uzbrojenia (ryc. 3).

Badania przeprowadzono w trzech strefach parkingu (ryc. 2). Łącznie wykonano 13 profili georadarowych. Każdy profil zbadano dwoma antenami (250 i 700 MHz), uzyskując 26 echogramów. Dokładne rozmieszczenie profili pomiarowych na badanym obszarze wysowano na plan sieci uzbrojenia (ryc. 3).

W profilowaniu georadarowym istotny jest kontakt anteny i kółka pomiarowego z badanym podłożem. W sytuacji, gdy podczas pomiaru antena lub koło zostanie podniesione do góry, wówczas mogą powstać wielokrotne odbicia fałszujące rzeczywisty obraz lub zaplanowany profil nie będzie na tym odcinku mierzony. Należy o tym pamiętać szczególnie przy pomiarach wykonywanych w niekorzystnych warunkach terenowych (np. obszar leśny, pola uprawne), ale także w warunkach zimowych.

Ponieważ georadar ma wbudowane anteny o dwóch częstotliwościach (250 i 700 MHz), jest możliwe uzyskanie wyników z większych głębokości (do 6 m), ale o słabszej rozdzielczości – przy pomiarze anteną o częstotliwości 250 MHz, oraz wyników z mniejszej głębokości (do 2,5 m), ale o lepszej rozdzielczości – przy pomiarze anteną 700 MHz. Zgodnie z podstawową zasadą pomiaru georadarowego: głębokość penetracji zależy m.in. od częstotliwości sygnału emitowanego w głąb ośrodka. Im ta częstotliwość jest wyższa, tym zasięg mniejszy, polepsza się za to rozdzielczość pomiaru (Karczewski, 2007).

## WYNIKI BADAŃ

Po wykonaniu pomiarów terenowych, zapisane echogramy poddano następującej obróbce: cyfrowemu przetworzeniu sygnału, wizualizacji i interpretacji. Zastosowano filtr środowiskowy, filtr w domenie czasu oraz filtr ampli-

tudowy typu GAIN. Czynności te wykonano za pomocą oprogramowania komputerowego GresWin 2 (System Detector Duo, 2007).

Jednym z istotnych parametrów jest prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej w badanym ośrodku. Prędkość ta w gruncie zależy od wielu czynników, m.in. od jego składu mineralnego, wilgotności i porowatości (Karczewski, 2007). W przeprowadzonych badaniach prędkość rozchodzenia się fali elektromagnetycznej przyjęto jako równą 0,09 m/ns na podstawie bezpośrednich metod wyznaczenia prędkości (Annan, 2001; Ortyl, 2006).

Charakterystyczne anomalie powtarzające się na równoległych echogramach i układające się w linię prostą wskazują na przebieg obiektu liniowego, typu przewód energetyczny, telekomunikacyjny, rura gazowa, kanalizacyjna, czy wodociągowa. Anomalie punktowe zaś to np.: gruz, fragmenty skalne czy inne elementy naturalne lub antropogeniczne (ryc. 4). Hiperbole zniekształcone szerokie świadczą o wykonaniu pomiaru pod kątem innym niż 90°, natomiast anomalie w postaci poziomych linii informują o pomiarze wykonanym wzdłuż instalacji podziemnej lub podbudowy terenu pod parking (ryc. 5–7). Na badanym terenie podczas prac budowlanych grunt został wymieniony do głębokości ok. 2,0 m na potrzeby montażu podziemnej infrastruktury komunalnej. Wcześniej w tym miejscu był kościół i cmentarz. Zwierciadło wody gruntowej znajduje się poniżej zakresu głębokościowego georadaru.

Na echogramach przedstawionych poniżej (ryc. 4–7) zaznaczono elementy infrastruktury podziemnej: przewody energetyczne (linia przerywana równa), rury kanalizacyjne, w tym kanalizacja deszczowa (linia ciągła) i gazowe (linia przerywana kropka, kreska), jak również widoczną na powierzchni kratkę deszczową, ale podczas pomiarów zasypaną śniegiem. Na wszystkich echogramach zarówno głębokość, jak i długość profilu jest podawana w metrach.

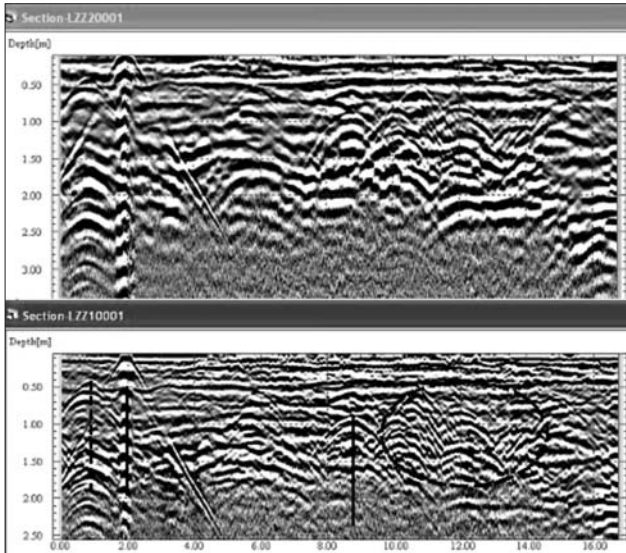
Na rycinie 4 pokazano profil georadarowy wykonany antenami o dwóch częstotliwościach: 250 MHz (górze) i 700 MHz (dół). Jest wyraźnie widoczna różnica w rozdzielczości między tymi antenami – lepszą rozdzielczość uzyskuje się anteną o wyższej częstotliwości, co wcześniej wyjaśniono. Natomiast zakres głębokościowy pomiaru jest nieznacznie większy dla anteny o niższej częstotliwości, jednak zarejestrowane na potrzeby badań głębokości są stosunkowo niewielkie, nie odnotowano więc wyraźnej różnicy zasięgu między tymi antenami.

Na echogramie AC (ryc. 4) na 1,0 m profilu oraz głębokości 0,4 m jest widoczna anomalia pochodząca od kabla energetycznego (linia przerywana równa), na 2,0 m profilu na powierzchni terenu – kratka deszczowa (linia ciągła) podłączona do sieci kanalizacyjnej, na 8,9 m profilu rura kanalizacyjna (linia ciągła). Dodatkowo na echogramie zaznaczono obszar z widocznymi anomaliami (elipsa), które nie mają odniesienia w planie uzbrojenia. Anomalii tych nie zanotowano na echogramach wykonanych równoległe (AB i AD). Na omawianym echogramie AC nie ma widocznych zaburzeń sygnału elektromagnetycznego związanych z zalegającym na powierzchni lodem i śniegiem.

Podjęto również próbę zestawienia zapisanych echogramów (ryc. 5–7) i porównania ich z planem sieci uzbrojenia badanego terenu (ryc. 8), wyznaczenia ciągłości elementów sieci uzbrojenia typu przewody i rury, jak również

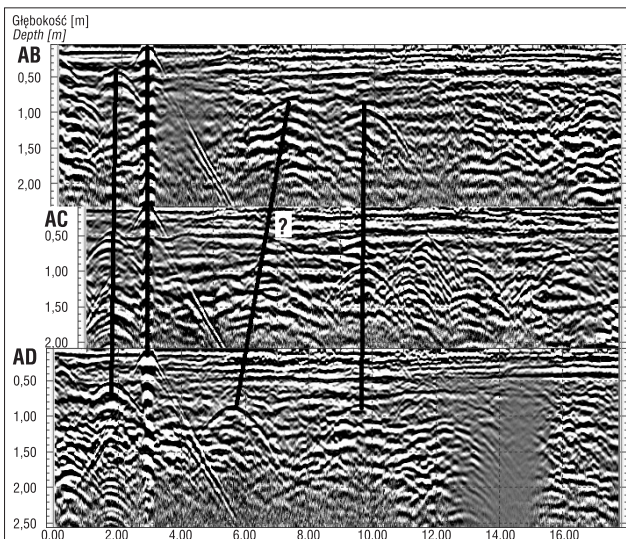
określenia stopnia zgodności pomiarów geodezyjnych z pomiarami georadarowymi.

Na zestawionych echogramach AB, AC, AD (ryc. 5) wyraźnie zaznaczają się następujące elementy infrastruktury podziemnej: najbliższej bramy wjazdowej znajduje się kabel energetyczny, następnie kratka deszczowa i rura kanalizacyjna. Wyniki pomiarów georadarowych pokrywają się z planem uzbrojenia. Dodatkowo pomiary georadarowe



**Ryc. 4.** Echogram AC zarejestrowany przy bramie wjazdowej. Aparatura IDS/GPR, anteny ekranowane 250 MHz (góra) i 700 MHz (dół). Objasnienia w tekście. Widoczne od lewej: kabel energetyczny, kratka deszczowa, rura kanalizacyjna, elipsa – niezidentyfikowane anomalie

**Fig. 4.** Georadar profile AC registered at the gate entrance. Measurement device IDS/GRP, shielded antennas 250 MHz (up) and 700 MHz (down). See from the left: power cable, grids broke, wastewater pipe, ellipse – unrecognise anomaly



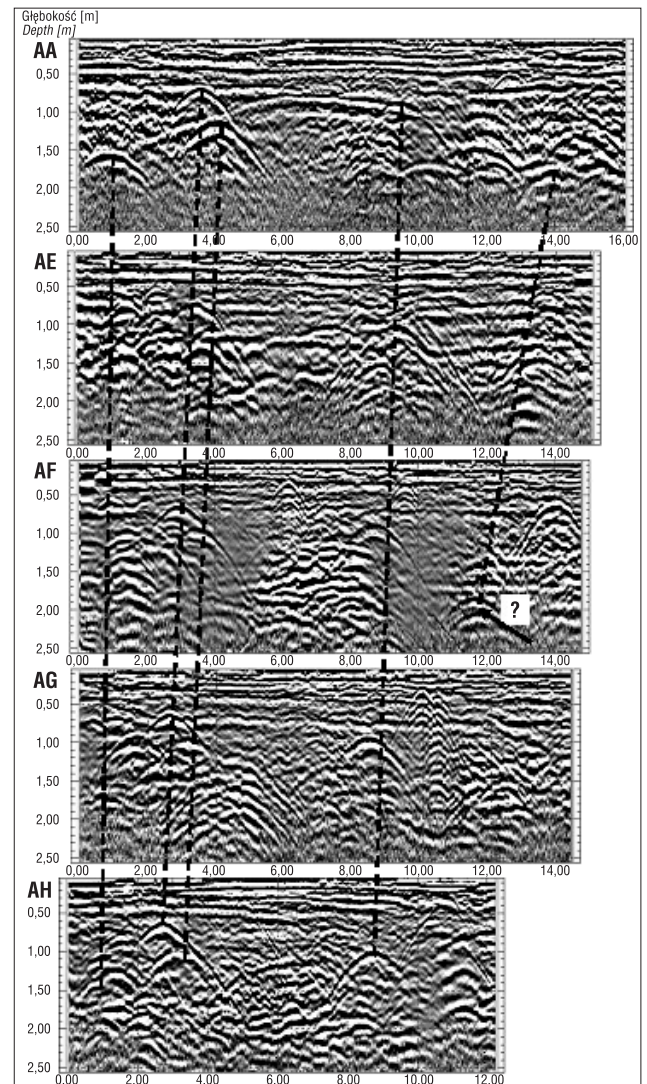
**Ryc. 5.** Zestawienie echogramów AB, AC, AD zarejestrowanych przy bramie wjazdowej. Aparatura IDS/GPR, antena ekranowana 700 MHz. Objasnienia w tekście. Widoczne od lewej: kabel energetyczny, kratka deszczowa, ? – obiekt, którego brak na planie uzbrojenia, rura kanalizacyjna?

**Fig. 5.** Listing georadar profiles AB, AC, AD registered at the gate entrance. Measurement device IDS/GRP, shielded antenna 700 MHz. See from the left: power cable, grids broke, ? – no object on the plane, wastewater pipe?

darowe wykazały liniową anomalię (zaznaczoną na rycinie jako „?”), która nie ma odniesienia na planie uzbrojenia.

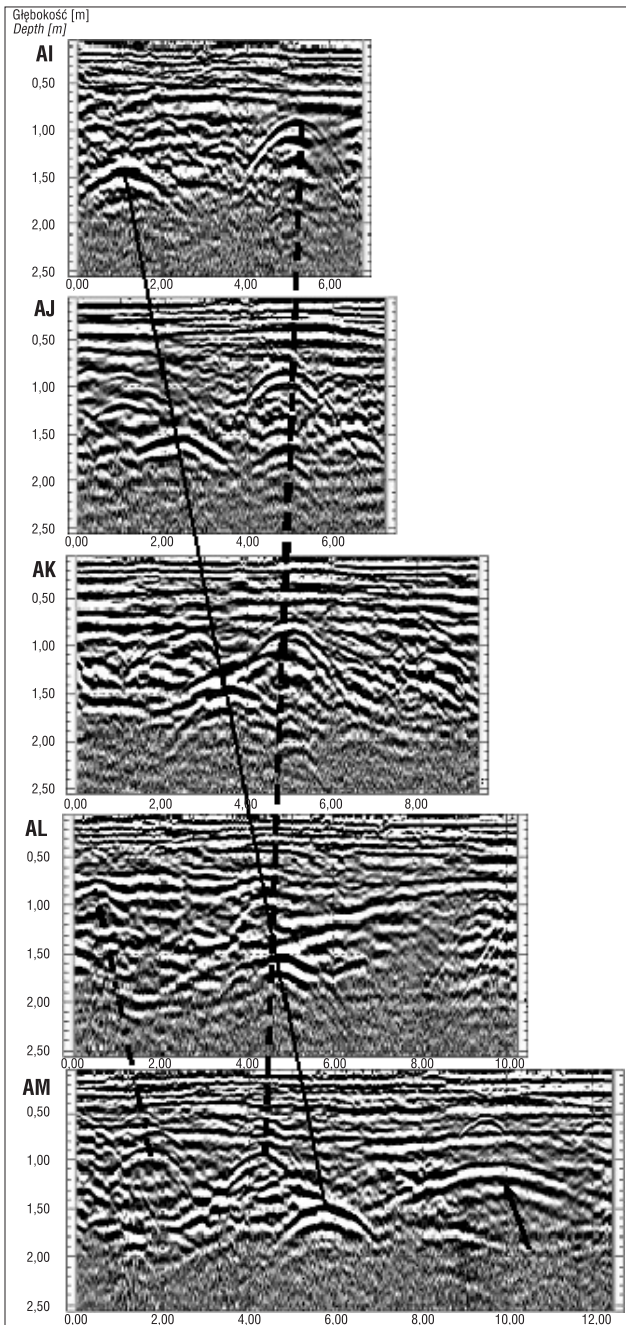
Na echogramie AD (ryc. 5) jest widoczne tłumienie sygnału elektromagnetycznego od ok. 13,0 do 15,0 m profilu o trudnym do określenia pochodzeniu. Jednak nie wpływa ono negatywnie na interpretację echogramu.

Na rycinie 6 zestawiono echogramy AA, AE, AF, AG i AH. Według y uzbrojenia terenu (ryc. 8) najpierw powinien znajdować się kabel telekomunikacyjny, następnie obok siebie rura wodociągowa i wodociąg nieczynny, dalej rura gazowa i gazociąg nieczynny, a dodatkowo na echogramach AA i AE – kanalizacyjna deszczowa. Natomiast przeprowadzone pomiary georadarowe wykazały następujące anomalie liniowe występujące na wszystkich echogramach (ryc. 6): pierwsza na głębokości ok. 1,5 m (kabel telekomunikacyjny?), choć zdaniem autorki jest to za duża



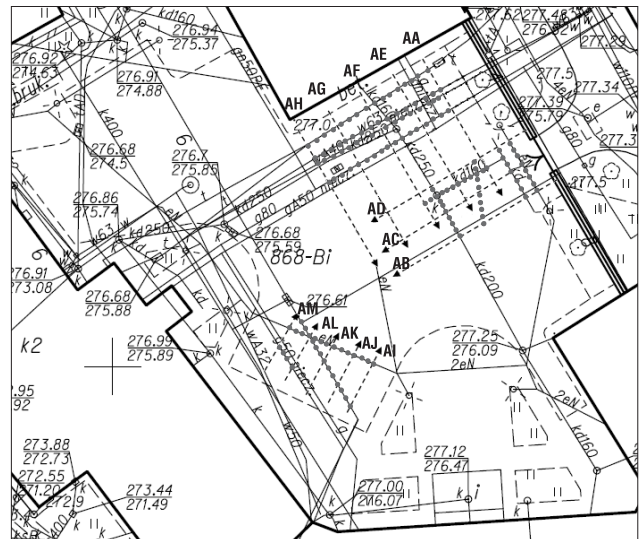
**Ryc. 6.** Zestawienie echogramów AA, AE, AF, AG, AH zarejestrowanych przy ścianie bocznej gmachu PWSZ. Aparatura IDS/GPR, antena ekranowana 700 MHz. Objasnienia w tekście. Widoczne od lewej: kabel telekomunikacyjny, wodociąg czynny, wodociąg nieczynny, gazociąg czynny, ? – obiekt, którego brak na planie uzbrojenia, rura kanalizacyjna?

**Fig. 6.** Listing georadar profiles AA, AE, AF, AG, AH registered at the sidewall. Measurement device IDS/GRP, shielded antenna 700 MHz. See from the left: telecommunication cable, active water network, closed water network, active gas network, ? – no object on the plane, wastewater pipe?



**Ryc. 7.** Zestawienie echogramów AI, AJ, AK, AL, AM zarejestrowanych przy ścianie frontowej gmachu PWSZ. Aparatura IDS/GPR, antena ekranowana 700 MHz. Objaśnienia w tekście. Widoczne od lewej: rura gazowa, rura kanalizacyjna, przewód energetyczny  
**Fig. 7.** Listing georadar profiles AI, AJ, AK, AL, AM registered at the front wall. Measurement device IDS/GRP, shielded antenna 700 MHz. See from the left: gas pipe, wastewater pipe, power cable

głębokość), następną w odległości od pierwszej ok. 2,5 m na głębokości 0,7 m i obok niej na głębokości 1,1 m trzecia anomalia (wodociąg?) – czynny i nieczynny, choć zdaniem autorki jest to za mała głębokość). Kolejna ciągła anomalia znajduje się w odległości ok. 5,5 m od poprzedniej na głębokości ok. 0,9 m (gazociąg czynny?). Ostatnia anomalia pochodząca od rury kanalizacyjnej znajdującej się na głębokości ok. 1,7 m powinna być widoczna tylko na echogramach AA i AE, natomiast jest obecna także na kolejnym echogramie AF (zaznaczona na rycinie jako „?”). Trudności występują z określeniem położenia drugiej rury gazowej na



**Ryc. 8.** Plan sieci uzbrojenia terenu z zaznaczonymi instalacjami zarejestrowanymi georadarem (punkty na liniach sieci) oraz anomalie stwierdzone georadarem bez odniesienia na planie uzbrojenia (punkty bez linii)  
**Fig. 8.** Plan of territorial development network with marked installations registered by GPR (points on the lines network) and anomalies registered by GPR without recourse on the of territorial development network (points without lines)

podstawie wykonanych echogramów. Badania georadarem nie wykazały też anomalii pochodzących od rur kanalizacji deszczowej, które powinny być widoczne na echogramach AF, AG i AH. Istnieją tutaj rozbieżności między planem uzbrojenia a pomiarami geofizycznymi.

Na zestawionych echogramach AI, AJ, AK, AL, AM (ryc. 7) jest widoczna, na głębokości 0,8 m, anomalia pochodząca od przewodu energetycznego. Oprócz tej anomalii, na wszystkich echogramach zaznacza się na głębokości 1,4 m anomalia pochodząca od rury kanalizacyjnej. Na echogramie AL występuje przecięcie tych dwóch obiektów liniowych, co ma potwierdzenie w rzeczywistości (plan uzbrojenia). Na echogramach AL i AM zarejestrowano anomalię pochodzącą od rury gazowej. Brakuje tutaj wyraźnej anomalii spowodowanej obecnością drugiej rury gazowej, ponieważ wg planu uzbrojenia powinny być obok siebie gazociągi czynny i nieczynny. Dodatkowo na echogramie AM obserwowana jest anomalia (zaznaczona strzałką), która nie ma odpowiednika na planie uzbrojenia. Szerokość ramion tej anomalii może świadczyć o tym, że jest to pustka powietrzna lub pomiar został wykonany pod kątem innym niż 90°.

## WNIOSKI

1. Technika georadarowa sprawdza się w szybkiej, bezinwazyjnej lokalizacji przewodów, rur i innych obiektów podziemnych o kształcie liniowym, wykonanych z różnych materiałów (metalowych, niemetalowych).
2. Analizując echogramy, stwierdzono, że ok. 80% przeprowadzonych pomiarów georadarowych jest zgodne z planem sieci uzbrojenia terenu. Łącznie z 12 widocznych na echogramach anomalii pochodzących od obiektów liniowych, 10 znalazło potwierdzenie na planie uzbrojenia terenu. Podczas pomiarów zarejestrowano również anomalie (cztery), które nie mają odpowiedników w danych źródłowych

(plan) i odwrotnie – na planie są naniesione instalacje podziemne (3 obiekty – dwa gazociągi i kanalizacja deszczowa), których obecności nie zarejestrował georadar. Ta ostatnia sytuacja dotyczy m.in. braku anomalii pochodzących od gazociągu nieczynnego. Przyczyną tego stanu może być usunięcie tej sieci z terenu, bez naniesienia zmiany na planie.

3. Przy małym zagęszczeniu sieci uzbrojenia w łatwy sposób można zinterpretować pomiary wykonane georadarem, natomiast bardziej skomplikowana, trudniejsza do odczytania jest analiza wyników georadarowych wykonanych w terenie o gęstej sieci uzbrojenia.

4. Uzyskane wyniki badań (dobra jakość echogramów, brak tłumienia fali elektromagnetycznej) pozwalają stwierdzić, że warunki zimowe nie wpływają znacząco na wyniki pomiarów georadarowych. Jedynym problemem może być dokładność wykonania pomiaru w tych warunkach.

5. Obecnie, przy bardzo dobrej koniunkturze w budownictwie i drogownictwie, budowie nowych, rozbudowie czy remontach starych obiektów oraz dróg narasta zagęszczenie i tak już skomplikowanej infrastruktury podziemnej. Dodatkowo, niekiedy brak jest aktualnych sieci uzbrojenia lub wystarczającej dokumentacji dotyczącej tej sieci. Dlatego też lokalizacja infrastruktury podziemnej terenu za pomocą georadaru, przed rozpoczęciem prac ziemnych, może zapobiec uszkodzeniu tras przewodów i rurociągów.

Autorka artykułu dziękuje Recenzentom za wnikliwe recenzje i cenne uwagi.

## LITERATURA

ANNAN A.P. 2001 – Ground Penetrating Radar. Workshop Notes, Sensor and Software Inc., Canada: 1–197.  
 SYSTEM DETECTOR DUO 2007 – Instrukcja obsługi. IDS Ingegneria Dei Sistemi S.p. A.N.: 1–69.  
 GAŃKO M., MIESZKOWSKI R., GAŃKO A. 2015 – Zastosowanie metody georadarowej do określania położenia swobodnego zwierciadła wód podziemnych w trakcie próbnego pompowania. *Prz. Geol.*, 63 (10/1): 721–726.

GOŁĘBIEWSKI T. 2012 – Zastosowanie metody georadarowej do detekcji i monitoringu obiektów o stochastycznym rozkładzie w ośrodku geologicznym. Rozprawy, monografie. Wyd. AGH.  
 GOŁĘBIEWSKI T., TOMECKA-SUCHOŃ S., FARBISZ J. 2012 – Zastosowanie kompleksowych metod geofizycznych do nieinwazyjnego badania stanu technicznego wałów przeciwpowodziowych. Materiały Europejskiego Sympozjum nt. „Współczesne problemy ochrony przeciwpowodziowej”. Org. SITPF, WRF NOT, SN PAN, Paryż, Francja.  
 KARCZEWSKI J. 2007 – Zarys metody georadarowej. Uczelniane Wyd. Nauk.-Dydakt. AGH, Kraków: 1–246.  
 KARCZEWSKI J. 2011 – Application of GPR method to investigate in protected areas. *Polish J. Environ. Stud.*, 20 (4A): 115–119.  
 MARCAK H., GOŁĘBIEWSKI T., TOMECKA-SUCHOŃ S. 2005 – Analiza możliwości wykorzystania georadarowych fal refrakcyjnych do lokalizacji zmian w budowie wałów przeciwpowodziowych. *Geologia AGH*, 31(3/4): 259–274.  
 MARCAK H., GOŁĘBIEWSKI T., TOMECKA-SUCHOŃ S. 2006 – Zastosowanie metod georadarowych do lokalizacji pustek. *Mat. konf.: „Ochrona środowiska na terenach górniczych”*. Organizator – Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Górnictwa, Szczyrk. Abstrakty miesięcznik WUG – Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, Katowice: 319–329.  
 ORTYL L. 2006 – Badanie przydatności metody georadarowej w geodezyjnej inwentaryzacji struktur i obiektów przypowierzchniowych. *Roz. dokt.*, AGH Kraków: 1–172.  
 RAJCHEL B. 2011a – 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*. Wyd. Związek Gmin Turystycznych Pogórza Dynowskiego: 255–262.  
 RAJCHEL B. 2011b – Możliwość zastosowania metody georadarowej w badaniach archeologicznych i hydrogeologicznych. [W:] Rak J. (red.), *Środowisko przyrodnicze i walory turystyczne południowo-wschodniej Polski i zachodniej Ukrainy*. Wyd. Muz. Region., Brzozów: 179–200.  
 RAJCHEL B. 2013 – Ocena przydatności metody georadarowej do lokalizacji infrastruktury podziemnej. [W:] Rak J. (red.), *Wybrane aspekty ochrony i kształtowania środowiska w Polsce, we wschodniej Słowacji i zachodniej Ukrainie*. Wyd. Muz. Region., Brzozów: 251–272.  
 RAJCHEL B. 2014 – Analiza przydatności metody georadarowej do badania stropów budynków. *Prz. Geol.*, 62 (10/2): 687–691.  
 RUCKA M., LACHOWICZ J. 2014 – Zastosowanie metody georadarowej w badaniach konstrukcji podłogi posadowionej na gruncie. *Inż. Mor.*, 5: 452–458.  
 SOŁTYS M. 2002 – Wyznaczanie położenia przewodów podziemnych metodą radarową z uwzględnieniem nowoczesnej aparatury. *Wyd. AGH. Geodezja*, 8 (1).  
 ZIĘTEK J., KARCZEWSKI J., GAJEWSKI L. 2001 – Zastosowanie metody GPR do bezinwazyjnego badania budowli zabytkowych. *Mat. konf.: Zabezpieczenie i rewitalizacja podziemnych obiektów zabytkowych*, Kraków–Bochnia: 445–453.