

## PRÓBA WYKORZYSTANIA GEORADARU DO BADAŃ PŁYTKICH ZMIAN ANTROPOGENICZNYCH W PODŁOŻU

### THE APPLICATION OF GROUND PENETRATING RADAR (GEORADAR) FOR SHALLOW ANTHROPOGENIC CHANGES IN THE SUBSOIL

BERNADETA RAJCHEL<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Badania na obszarze Iwonicza-Zdroju dostarczyły informacji na temat przydatności metody georadarowej do określania budowy przypowierzchniowych warstw geologicznych zmienionych antropogenicznie. Z wyznaczonych w terenie czternastu punktów metodą GPS wytypowano sześć punktów określających prawdopodobną lokalizację studni kopanych, w obrębie których wykonano pomiary georadarowe. Łącznie wykonano 24 profile pomiarowe georadarem typu *Detector Duo*. Pomiary georadarowe wykazały szereg ciekawych anomalii, choć często trudnych do jednoznacznej interpretacji. Na badanym terenie, oprócz naturalnych zmian facjalnych, zauważalny jest negatywny wpływ działalności człowieka – wyrobiska górnicze, zakłócające pierwotny układ warstw geologicznych.

**Słowa kluczowe:** badania georadarowe, wyrobiska górnicze, tzw. kopanki naftowe.

**Abstract.** The purpose of the research conducted in the region of Iwonicz-Zdrój was to obtain the information concerning the applicability of the GPR method for defining anthropologically altered, near-surface geological layers, which are very common in the entire area of Przedkarpacie sink hole. From the fourteen points which were selected in the research area using the GPS method, six GPR points determining the probable localization of dug wells were chosen. In total, 24 measurement profiles were made using the Ground Penetrating Radar *Detector Duo*. GPR surveys revealed series of interesting anomalies, often difficult for equivocal interpretation. In the research area, apart from natural facies changes, the influence of human activity is also very noticeable – mining excavations, which disturb the primary arrangement of geological strata.

**Key words:** GPR research, mining excavations, so-called oil dug wells.

## WSTĘP

Badania georadarem prowadzono na wydzielonym obszarze leśnym w Iwoniczu-Zdroju w województwie podkarpackim. Na tym terenie w XIX i na początku XX wieku miała miejsce działalność górnictwa naftowego związana z dążeniem studni za ropą naftową, zwaną wtedy „olejem skalnym”. Zbadanie skutków tej działalności, widocznej do dnia dzisiejszego, ograniczono do obszaru województwa podkarpackiego w jego obecnych granicach. Po wyznaczeniu punktów pomiarowych za pomocą urządzenia GPS

na analizowanym obszarze, zdegradowanym działalnością człowieka, przeprowadzono badania georadarowe będące wstępnym, rozpoznawczym etapem przed kontrolnymi wierceniami geologiczno-inżynierskimi. Celem pomiarów georadarowych było określenie budowy przypowierzchniowej części badanego podłoża ze szczególnym uwzględnieniem możliwości zlokalizowania dawnych, obecnie w większości już nieistniejących, ale wciąż mogących stanowić zagrożenie dla środowiska naturalnego, wyrobisk górniczych.

<sup>1</sup> Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Krośnie, Instytut Politechniczny, Zakład Inżynierii Środowiska, ul. Wyspiańskiego 20, 38-400 Krosno; berraj@pwsz.krosno.pl

Metodę georadarową (GPR – *Ground Penetrating Radar*) zalicza się do grupy geofizycznych metod radiofalowych, która wykorzystuje fale elektromagnetyczne o częstotliwościach od 10 MHz do 2,5 GHz (Annan, 2001). Jest to bezinwazyjna technika poszukiwawcza, dająca informacje o obecności, sposobie i głębokości usytuowania obiektów podziemnych oraz o budowie geologicznej badanego tere-

nu. Metoda georadarowa ma bardzo szerokie zastosowania, m.in. w budownictwie, drogownictwie, górnictwie, geologii inżynierskiej, hydrogeologii, geotechnice, sozologii, lokalizacji infrastruktury podziemnej, ochronie środowiska, kryminalistyce, archeologii i in. Stąd próba wykorzystania tej techniki do badań przypowierzchniowych zmian antropogenicznych spowodowanych działalnością górnictwem.

## LOKALIZACJA TERENU BADAŃ

Iwonicz-Zdrój, gdzie prowadzono badania, leży w pasie wzgórz Beskidu Niskiego, w dolinie potoku Iwonka. Geologicznie jest to rejon antykliny Iwonicza-Zdroju. Badaniami została objęta zachodnia część tej miejscowości, o powierzchni około 0,04 km<sup>2</sup>, położona w strefie A uzdrowiska.

Pod względem morfologicznym teren jest silnie zróżnicowany. Różnice wysokości sięgają do 30 m (470–500 m

n.p.m.), a spadki mają kierunek południowy. Głównymi formami morfologicznymi są wąwozy, skarpy oraz wzniesienia o wysokości około 480 m n.p.m. Teren badań położony jest na skłonie zachodnim i porośnięty lasem bukowo-jodłowym o bogatym podsyciu, które utrudnia prawidłową interpretację wykonanych pomiarów georadarowych. Występujący w podłożu system korzeniowy drzew może powodować zakłócenia i dawać fałszywy obraz falowy.

## APARATURA GEORADAROWA ZASTOSOWANA DO POMIARÓW

Do pomiarów został zastosowany georadar włoskiej firmy IDS o nazwie *Detector Duo* (fig. 1). Georadar ten współpracuje z dwiema antenami (stąd nazwa *Duo*): TR 250 MHz (tzw. antena „głęboka”) i TR 700 MHz (tzw. antena „płytką”).

W georadarze *Detector Duo* wyzwalanie sygnału odbywa się w stałych interwałach odległości za pomocą kółka pomiarowego. Wszystkie parametry pomiarowe, typu: wzmacnienie, dobór filtrów i okno czasowe, są ustawione automatycznie. Zapis danych nieprzetworzonych następuje na nośniku magnetycznym. Jednostka centralna georadaru połączona jest z komputerem za pomocą sieci Ethernet 10/100 Mbit/s. Urządzenie zasilane jest z akumulatora 12 V (System *Detector Duo*, 2007).

**Fig. 1.** Georadar *Detector Duo* włoskiej firmy *Ingegneria Dei Sistemi* (fot. B. Rajchel)

GPR *Detector Duo* *Ingegneria Dei Sistemi*, Italy  
(photo by B. Rajchel)



## PLANOWANIE POMIARÓW TERENOWYCH

W celu uzyskania jak najbardziej wiarygodnych wyników pomiarów georadarowych przed rozpoczęciem właściwych badań wykonano następujące niezbędne czynności:

1. Na podstawie danych literaturowych podano ogólną geologię terenu. Antyklina Iwonicza-Zdroju zbudowana jest z utworów fliszowych paleogenu i kredy górnej. Utwo-

ry kredy górnej to warstwy istebniańskie, utworzone z piaskowców gruboławicowych, drobno- i różnoziarnistych, przekładanych łupkami. Kompleks ten w obrębie Iwonicza-Zdroju osiąga miąższość około 300 m (Wdowiarz i in., 1991).

2. W celu określenia przypuszczalnej lokalizacji dawnych kopanek przeprowadzono wizję terenu, po której wyznaczono

no czternaście punktów pomiarowych za pomocą urządzenia GPS w wybranych miejscach badanego obszaru i naniesiono je na mapę topograficzną (fig. 2).

3. W obrębie sześciu wybranych punktów wyznaczonych metodą GPS wykonano pomiary georadarowe.

4. Określono stopień pokrycia terenu roślinnością. Badany obszar jest porośnięty lasem o bogatym podszyściu. Dlatego należy mieć na uwadze występujący w podłożu system korzeniowy drzew, który może powodować zakłócenia i dawać fałszywy obraz falowy.

5. Z innych pomocnych materiałów niestety nie udało się uzyskać dodatkowych danych w postaci, np. szczegółowych przekrojów geologicznych z kolejnych punktów pomiarowych czy danych z sondowań geotechnicznych, które z pewnością pomogłyby przy wykonywaniu pomiarów georadarowych.

Dodatkowo wykonano dokumentację fotograficzną terenu, która była pomocna przy planowaniu profili pomiarowych, a także późniejszej interpretacji echogramów.

Następnie określono właściwości tłumiące gruntu: nie-

jednorodność i wilgotność, które mają wpływ na wyniki badań georadarowych. Na przykład, obiekt, o którym wiadomo, że znajduje się w materiale ilastym, nie jest widoczny na zarejestrowanym echogramie, ponieważ grunt ilasty ma wysokie właściwości tłumiące falę elektromagnetyczną (Karczewski, 2007).

Badany teren pokrywa grunt antropogenicznie zmieniony (działalność górnicza), co może zaburzać prawdziwy obraz podłoża, ponieważ im grunt jest bardziej niejednorodny, tym zakłócenia i rozpraszanie rzeczywistych refleksów są większe. Natomiast wykonywanie pomiarów przy dużej wilgotności gruntu (np. po kilkudniowych opadach czy po roztopach wiosennych) może spowodować nawet kilkakrotne zmniejszenie zasięgu głębokościowego georadaru. Niniejsze pomiary wykonano w okresie suchym, po kilkudniowych upałach, więc badane podłożo można uznać jako suche, dlatego też nie przewiduje się zakłóceń w obrazie falowym. Szukane kopanki są jednak mocno nawodnione – mieszanina wody i ropy – i ta sytuacja może zaburzać rzeczywisty stan podłoża.

## GEORADAROWE BADANIA TERENOWE

Z wyznaczonych w obszarze badawczym czternastu punktów zostało wytypowanych sześć (fig. 2). Podstawą ich wyboru była wizualna ocena (obszar płaski na zboczu mógł wskazywać na wyrobisko górnicze) największej powierzch-

niowej degradacji oraz możliwość użycia sprzętu dzięki niskiej roślinności trawiastej. Z dostępnych danych archiwalnych nie można w sposób jednoznaczny określić lokalizacji oraz liczby wyrobisk górniczych na tym terenie. Pomiary

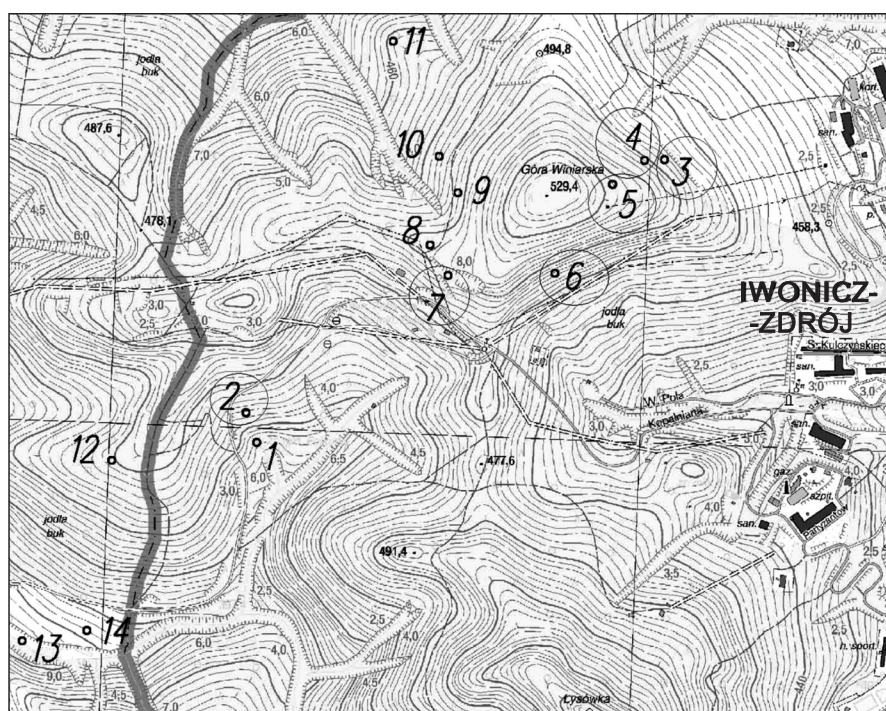


Fig. 2. Mapa topograficzna analizowanego terenu z naniesionymi punktami pomiarowymi (wg P. Kustron-Mleczak)

1–14 – punkty georadarowe

Topographic map of analysed terrain with the measurement points (according to P. Kustron-Mleczak)

1–14 – GPR points



georadarowe zostały wykonane na wschodnim stoku Góry Winiarskiej wskazującym na silniejszą degradację antropogeniczną. Przeprowadzenie badań na zachodnim stoku Góry Winiarskiej zakłada się w drugim etapie.

Numeracja wyznaczonych punktów geodezyjnych i profili georadarowych została zmieniona, tzn.:

- w punkcie geodezyjnym nr 3 wykonano profile georadarowe nr 1.1., 1.2., 1.3., 1.4., 1.5.;
- w punkcie geodezyjnym nr 4 – profile georadarowe nr 2.1., 2.2., 2.3., 2.4.;
- w punkcie geodezyjnym nr 5 – profile georadarowe nr 3.1., 3.2., 3.3., 3.4., 3.5.;
- w punkcie geodezyjnym nr 6 – profile georadarowe nr 4.1., 4.2., 4.3.;
- w punkcie geodezyjnym nr 7 – profile georadarowe nr 5.1., 5.2., 5.3.;

– w punkcie geodezyjnym nr 2 – profile georadarowe nr 6.1., 6.2., 6.3., 6.4.

W czasie pomiarów zastosowano następujące parametry:

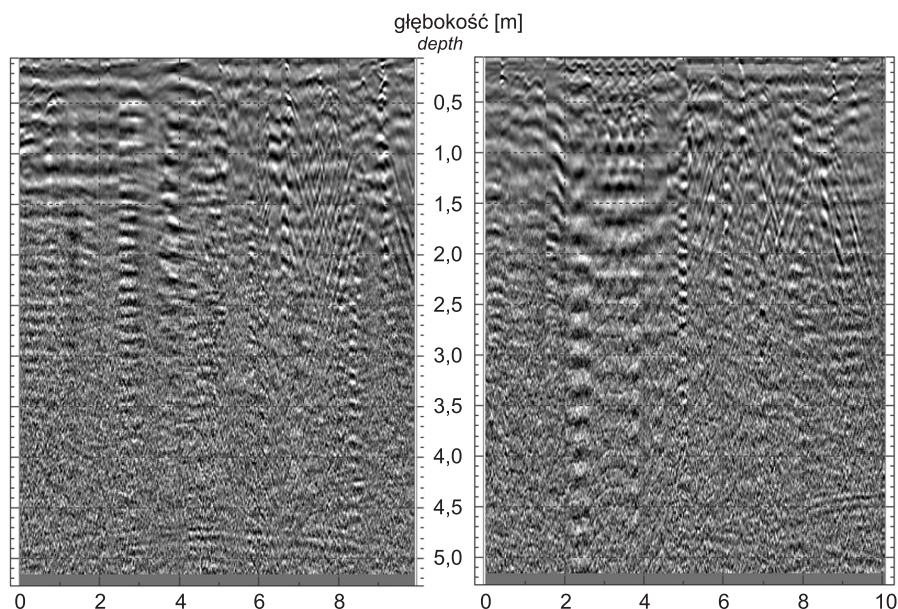
- łącznie wykonano 24 profile, w których zarejestrowano 24 echogramy anteną 250 MHz oraz 24 echogramy anteną 700 MHz;
- pomiary wykonano na łącznej długości 240 m wzdłuż wschodniego stoku Góry Winiarskiej;
- odległości między kolejnymi profilami pomiarowymi wynoszą 0,5 m;
- długość jednego profilu wynosiła około 10 m; została ona określona tak, aby na odcinku pomiarowym można było zlokalizować potencjalną obecność kopanki (wyrobiska górnicze wykonywano jako studnie o przekroju kwadratowym o przekątnych do 2 m).

## WYNIKI BADAŃ I ICH INTERPRETACJA

Po wykonaniu pomiarów w terenie, zarejestrowane echogramy zostały poddane procedurze cyfrowego przetwarzania sygnałów i odpowiedniej wizualizacji (zastosowanie filtru w domenie czasu, filtru środowiskowego, filtru amplitudowego typu „GAIN”) za pomocą oprogramowania GresWin 2 włoskiej firmy IDS.

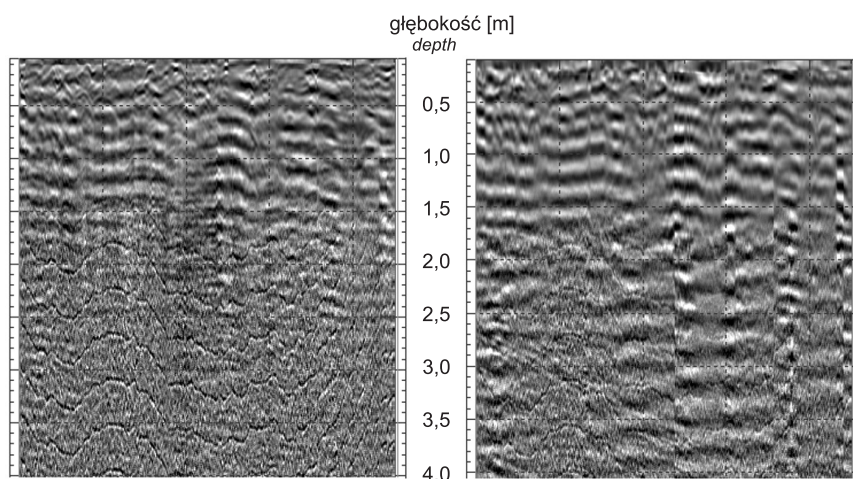
Z 24 profili pomiarowych wybrano dziesięć najbardziej interesujących echogramów, które przedstawiono na [figurach 3–7](#).

Wyniki pomiarów georadarowych wykazały szereg ciekawych, a zarazem trudnych do jednoznacznej interpretacji anomalii. Na [figurze 3](#) widoczne są anomalie pochodzące od istniejącej kopanki (na długości ok. 1,0–3,0 m na lewym echogramie) oraz od płyty żelbetowej, którą jest przykryta kopanka (na długości 2,0–5,0 m na prawym echogramie w głąb profilu). Na głębokości około 4,50–4,70 m widoczne są kolejne anomalie – prawdopodobnie zmiany facjalne. Tego typu anomalie powtarzają się na echogramach z pomia-



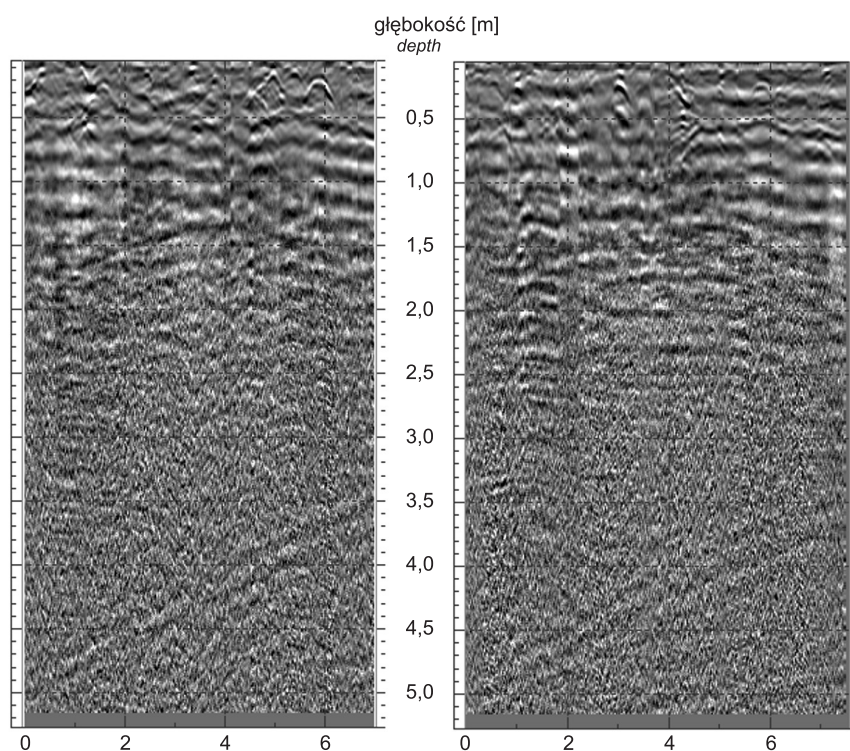
**Fig. 3. Profile wykonane w punkcie pomiarowym nr 3: po lewej – profil 1.2. wykonany obok płyty żelbetowej przykrywającej „mokrą” kopankę; po prawej – profil 1.3. wykonany przez płytę żelbetową przykrywającą kopankę; aparatura IDS/GPR, antena ekranowana 700 MHz**

Georadar profiles made in measurement point no. 3: on the left – 1.2. profile made next to reinforced concrete slab covering “wet” dug well; on the right – 1.3 profile through reinforced concrete slab covering dug well; measurement device IDS/GPR, shielded antenna 700 MHz



**Fig. 4. Profil 2.1. wykonany w punkcie nr 4; aparatura IDS/GPR, anteny ekranowane: 700 MHz (po lewej) i 250 MHz (po prawej)**

Georadar 2.1. profile made in measurement point no. 4; measurement device IDS/GPR, shielded antenna: 700 MHz (on the left) and 250 MHz (on the right)



**Fig. 5. Profile: 3.1. (po lewej) i 3.2. (po prawej) wykonane w punkcie pomiarowym nr 5; aparatura IDS/GPR, antena ekranowana 700 MHz**

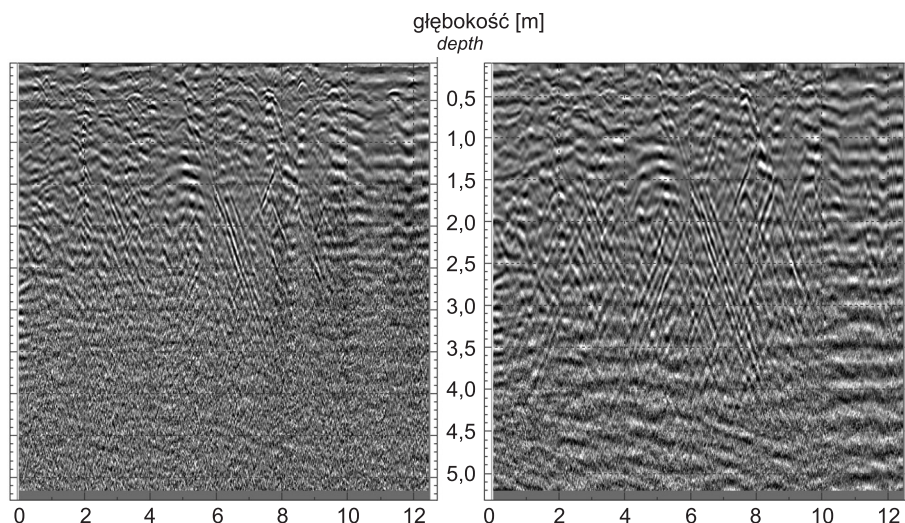
Profiles: 3.1. (on the left) and 3.2. (on the right) made in measurement point no. 5; measurement device IDS/GPR, shielded antenna 700 MHz

rów wykonanych w innych punktach badawczych, co może świadczyć, że kopanki rzeczywiście znajdują się w tych punktach. Dodatkowo zaznaczają się tutaj liczne drobne anomalie pochodzące prawdopodobnie od korzeni drzew.

Na figurze 4 na długości profilu od około 3,0 do 5,0 m na głębokości 0,6 m w głąb profilu występuje charaktery-

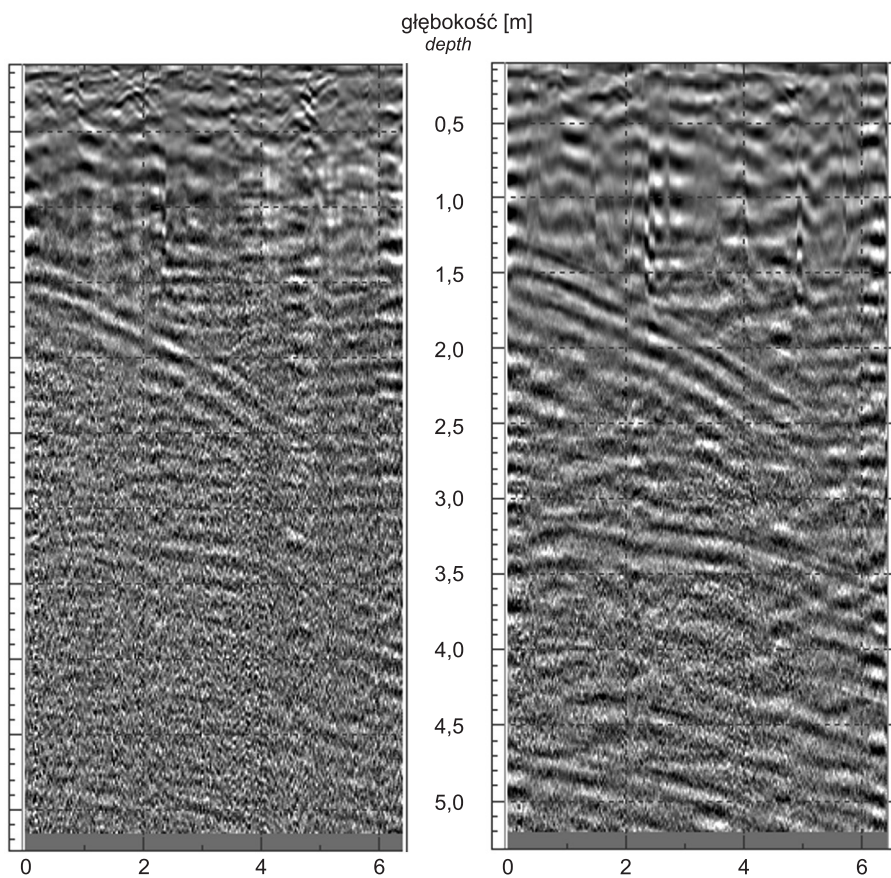
styczna anomalia; prawdopodobnie jest to obraz jednej ze zlikwidowanych kopanek. Ponadto na głębokości od 0,5 do 1,5 m kolejna anomalia – poziome linie równoległe – oznacza prawdopodobnie zmianę facjalną. Anomalia ta powtarza się na następnych profilach wykonanych równoległe w tym miejscu, a także w kolejnych punktach pomiarowych.





**Fig. 6. Profil 4.1. wykonany w punkcie pomiarowym nr 6; aparatura IDS/GPR, anteny ekranowane: 700 MHz (po lewej) i 250 MHz (po prawej)**

Profile no. 4.1. made in measurement point no. 6; measurement device IDS/GPR, shielded antenna: 700 MHz (on the left) and 250 MHz (on the right)



**Fig. 7. Profil 6.1. wykonany w punkcie pomiarowym nr 2; aparatura IDS/GPR, anteny ekranowane: 700 MHz (po lewej) i 250 MHz (po prawej)**

Profile no. 6.1. made in measurement point no. 2; measurement device IDS/GPR, shielded antenna: 700 MHz (on the left) and 250 MHz (on the right)

Na figurze 5 przedstawiono dwa echogramy wykonane równoległe do siebie co 0,5 m. Tak jak na poprzednich profilach, widoczne są poziome anomalie na głębokości od 0,5 do 1,5 m oraz zaznacza się anomalia na głębokości 3,5 m – pustka powietrzna? Na profilu 3.2 na długości od 2,0 do 4,0 m zaznacza się anomalia; być może jest to zlikwidowana kopanka. Natomiast na tym samym profilu od długości 4,0 m i dalej na głębokości 0,5 m zauważalna interesująca pozioma anomalia; być może jest to grunt naruszony w wyniku działalności człowieka. Dodatkowo widoczne pojedyncze hiperbole to prawdopodobnie obraz większych fragmentów skał.

Na profilu 4.1 (fig. 6) na długości 4,0–6,0 m i głębokości poniżej 1,0 m zaznacza się interesująca anomalia. Być może, tak jak we wcześniejszych echogramach, jest to fragment zlikwidowanej kopanki. Ponadto są wyraźnie widoczne liczne anomalie pochodzące od okruszków skał oraz korzeni drzew.

Na profilu 6.1 (fig. 7) na głębokości od 0,5 do 1,50 m, podobnie jak na wcześniejszych echogramach, widoczne są poziome anomalie; może są to zmiany facjalne. Kolejne anomalie pojawią się poniżej głębokości 3 m, które również mogą mieć związek z wystąpieniem odmiennych warstw geologicznych. Natomiast anomalia na głębokości 1,3 m to odbicie pochodzące od korzeni drzew.

## PODSUMOWANIE

Georadar jest urządzeniem, które pozwala na uzyskanie liniowych (nie punktowych) przekrojów głębokościowych podłoża zbudowanego z utworów skalnych wraz z informacją o lokalizacji obiektów pochodzenia antropogenicznego, takich jak kopanki (fig. 3). Ważną zaletą georadaru jest wykonywanie pomiarów ciągłych w sposób bezinwazyjny i uzyskanie dokładnego obrazu warstw geologicznych budujących podłoże. Niestety metoda georadarowa ma również wady. Najważniejszą z nich jest bardzo zmienny i uzależniony od czynników geologicznych zasięg głębokościowy. W warunkach dużego tłumienia fali elektromagnetycznej (np. przy dużej wilgotności podłoża lub obecności skał ilastych) głębokość penetracji może nie przekraczać nawet 1 m. W trudnych, skomplikowanych warunkach geologicznych, takich, które mają miejsce na badanym obszarze, zarejestrowanych echogramów nie można zinterpretować jednoznacznie.

Należy wnioskować, że na badanym terenie, oprócz naturalnych zmian facjalnych, zauważalny jest negatywny wpływ działalności człowieka: wyrobiska górnicze, zakłócające pierwotny układ warstw geologicznych.

Metodę georadarową zaleca się stosować do wstępnego rozpoznania terenu przed właściwymi badaniami geotechnicznymi i geologiczno-inżynierskimi. Badania georadarowe wykonane na obszarze po byłej eksploatacji ropy naftowej w rejonie Iwonicza-Zdroju wymagają potwierdzenia sprawdzającego innymi metodami. Konieczne jest tutaj rozpoznanie stopnia degradacji terenu poprzez wykonanie wierceń badawczych, które ostatecznie rozstrzygną o przydatności tej metody w badaniach zmian antropogenicznych w skomplikowanych warunkach geomorfologicznych.

Wykonane badania finansowane częściowo w ramach projektu nr N N525 252840 – Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

## LITERATURA

ANNAN A.P., 2001 — Ground Penetrating Radar. Workshop Notes, Sensor and Software Inc., Canada.  
KARCZEWSKI J., 2007 — Zarys metody georadarowej. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków.  
SYSTEM DETECTOR DUO, 2007 — Instrukcja obsługi. IDS Ingegneria Dei Sistemi S.p. A.N.

WDOWIARZ S., ZUBRZYCKI A., FRYSZTAK-WOŁKOWSKA A., 1991 — Objasnienia do Szczegółowej Mapy Geologicznej Polski 1:50 000, ark. Rymanów. Państw. Inst. Geol., Warszawa.

## SUMMARY

The research was conducted in the forest area of Iwonicz-Zdrój, a small town located in Podkarpackie voivodship. After selecting fourteen measurement points in the analysed area with the aid of GPS technology, measurements were carried out in six points, which constituted the initial stage before proper GPR research. The measurements were carried out with GPR *Detector Duo*, a device manufactured by *IDS*, an Italian company.

The purpose of GPR measurement was to define the structure of near-surface part of the researched ground, with a particular focus on a chance to locate old, currently mostly non-existent mining excavations, yet still posing a threat to the natural environment.

In total, 24 measurement profiles were performed, including 24 echograms registered with 250 MHz antenna and 24 echograms registered with 700 MHz antenna. The measu-

rements were conducted on total length of 240 m along the eastern slope of Winiarska Mountain. The average length of one profile was 10 m.

Mining excavations were constructed as square wells with diagonal up to 2 m, therefore each of GPR measurements was carried out on the average length of 10 m so that to localize a potential heading in a given section.

In the research area, apart from some natural facies changes, negative influence of human activity is evident, namely

the mining excavations which disturb the primary arrangement of geological strata.

GPR surveys conducted within the area of Health Resort Iwonicz-Zdrój require further confirmation with the aid of other methods. It is essential to identify the degree of terrain degradation by means of geological drillings, which will ultimately prove the usability of this method in complicated geomorphological conditions.