

Ewa J. LIPÍNSKA
WIOŚ, Rzeszów

ZASTOSOWANIE METODY GPR DO USTALENIA ZMIAN ANTROPOGENICZNYCH W GÓROTWORZE W STREFIE „A” OCHRONY UZDROWISKOWEJ W GMINIE IWONICZ-ZDRÓJ¹

Streszczenie. Celem zastosowania metody GPR było wykonanie badań warstw litosfery. Uzyskano ich przestrzenny rozkład oraz model ośrodka litologicznego. Oceniono przydatność metody do poszukiwania i lokalizacji antropogenicznych zmian w górotworze. Obiektem badań były dawne wyrobiska górnicze, zwane „kopankami”. Do interpretacji pomiarów GPR wykorzystano wyniki badań geologiczno-inżynierskich.

APPLICATION OF THE METHOD GPR TO THE ANTHROPOGENIC CHANGES IN THE SUBSURFACE OF THE ZONE “A” OF THE HEALTH RESORT TO THE COMMUNE OF IWONICZ-ZDRÓJ²

Summary. The purpose of the GPR methods was to perform the test with layers of the lithosphere. Obtained the spatial distribution and lithological model center. Usefulness of the method to search and location of anthropogenic changes in the subsurface. The object of the study were the old main workings to call “kopanka”. For the interpretation of GPR measurements based on the results of engineering-geological studies.

1. Wstęp

Iwonicz-Zdrój jest jednym z najstarszych polskich uzdrowisk. W celu ochrony czynników leczniczych i naturalnych surowców leczniczych, walorów środowiska i urządzeń uzdrowiskowych na obszarze uzdrowiska Iwonicz-Zdrój wydzielono, zgodnie z [21], trzy strefy ochrony uzdrowiskowej A, B i C. Jednocześnie, w gminie Iwonicz-Zdrój wydobywano w przeszłości i obecnie wydobywa się ropę naftową i gaz ziemny.

Celem zastosowania metody GPR były badania warstw litosfery w strefie A ochrony uzdrowiskowej i uzyskanie ich przestrzennego rozkładu oraz modelu litologicznego ośrodka, a także ocena przydatności metody do identyfikacji dawnych wyrobisk górniczych z drewnianymi cembrowinami lub bez obudowy-tzw. kopanek [13, 14]. Kopanki to studnie o przekroju kwadratowym i wymiarach przekątnych od 1 m do 2 m.

¹ Praca finansowana przez Narodowe Centrum Nauki w latach 2011-2013.

² This work was supported by National Science Centre in 2011-2013.

Podjęto próbę lokalizacji potencjalnego wyrobiska górniczego techniką GPR a wybrane wyniki tych badań potwierdzono kontrolnymi badaniami geologiczno-inżynierskimi.

2. Metodyka badań

Wykorzystując dane historyczne, nieliczne XIX-wieczne przekroje geologiczne i dane z wierceń, współczesne mapy wysokościowe terenu i informacje na temat pokrycia terenu roślinnością oraz dane państwowego monitoringu środowiska, określono przypuszczalną lokalizację i głębokość występowania dawnych wyrobisk górniczych.

Następnie wykonano zdjęcia powierzchniowe stanowisk badań, aby ocenić ułożenie poszukiwanego obiektu – kopanki. Do realizacji celów badań zaplanowano georadarowe profile w siatce powierzchniowej, dobierając długość profili i odległości pomiędzy profilami do wielkości obiektu.

Badania przeprowadzono przy użyciu georadaru RIS, typ IDS-DUO-V.02.00.001 włoskiej firmy IDS, który jest typowym urządzeniem wyspecjalizowanym do wykrywania rur, kabli i innych instalacji podziemnych. Jest to wielokanałowe urządzenie, które może standardowo współpracować z dwoma antenami o różnej częstotliwości.

Antena TR 700 MHz ma maksymalny zasięg 0,00-2,5 m, a typowa głębokość jej penetracji to 1,5 m (tzw. antena „płytką”). Antena TR 250 MHz ma maksymalny zasięg od 0,20 do 6,0 m, przy czym typowa głębokość penetracji wynosi 2,5 m (tzw. antena „głęboka”). Dzięki zastosowaniu dwuczęstotliwościowej anteny (250 i 700 MHz) georadar wykrywa głęboko i płytko położone obiekty przy jednym skanowaniu.

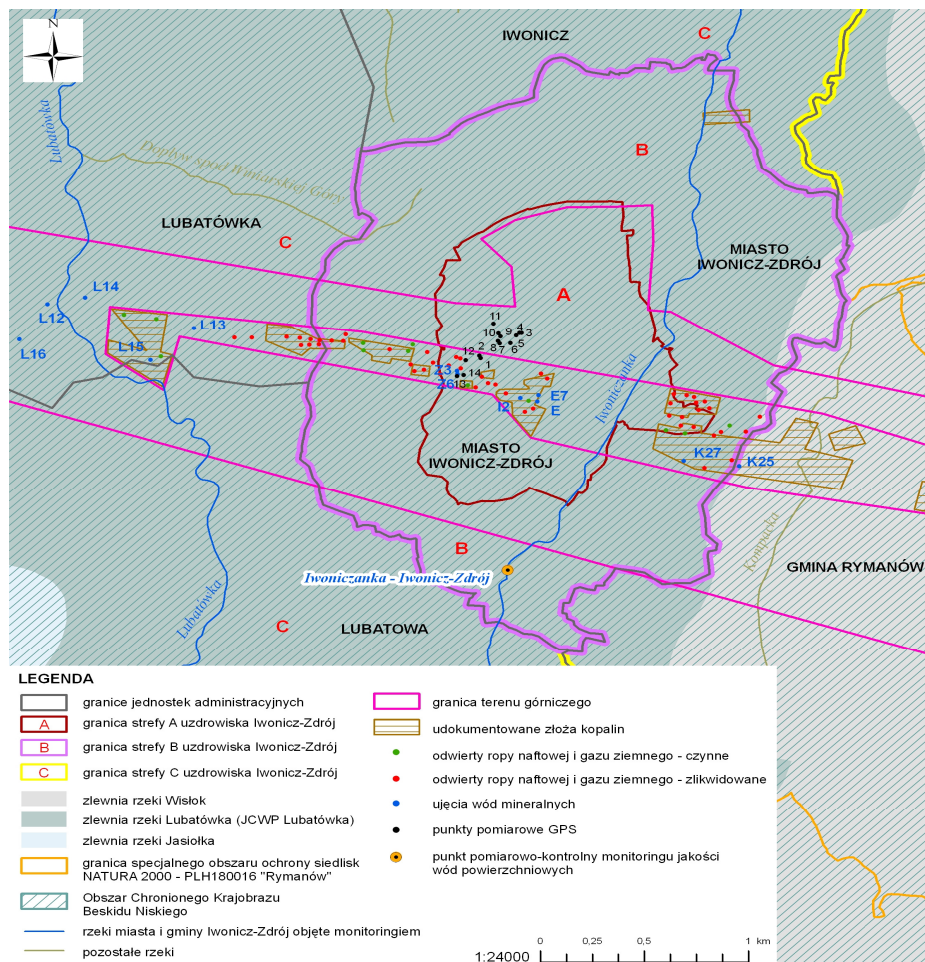
Wysoka rozdzielczość metody GPR powoduje, że dobrze odzwierciedla ona każde niewielkie zmiany w budowie geologicznej górotworu. Jednak metoda ta pozwala tylko na pośrednie wnioskowanie o zwięzłości materiału geologicznego budującego górotwór. Wyniki badań uzyskane metodą GPR porównano z wynikami badań własności geologiczno-inżynierskich gruntów uzyskanymi w trakcie prowadzenia w wytypowanych miejscach płytkich wierceń.

3. Wyniki badań i ocena ich wiarygodności

Obszar badań jest położony na skłonie wschodnim Góry Winiarskiej w gminie Iwonicz-Zdrój, w strefie A ochrony uzdrowiskowej. Spośród kilkunastu stanowisk pomiarowych (rys. 1) szczegółowo przedstawiono wyniki uzyskane na stanowisku 3 i 4.

3.1. Stanowisko badań nr 3

Otoczeniem jest zdrowy las mieszany bukowo-jodłowy (rys. 2). Rzeźba terenu, litologia i pokrycie roślinnością ma wpływ na jakość wyników – echogramów (rys. 4 i 5).



Rys. 1. Strefy ochrony uzdrowskiej A, B, C w gminie Iwonicz-Zdrój. Lokalizacja obszaru badań – punkty GPS 1-14.

Tło: zlewnie wód powierzchniowych. Udokumentowane naturalne surowce lecznicze: E-Emma, E7- Elin 7, I II-Iwonicz II, K27-Klimkówka 27, L12-Lubatówka 12, L14-Lubatówka 14, Z6-Zofia 6 (autor Lipińska E. J., wykonanie Rybak T. na podst. [2, 3, 7, 8, 12, 16, 17, 18, 20, 22])

Fig. 1. The zone A, B, C of the health resort to the commune of Iwonicz-Zdrój. Location of the study area – GPS points 1-14. The background: the surface water catchments. Proven natural medicinal resources: K27-Klimkówka 27, I II-Iwonicz II, E-Emma, E7-Elin 7, L12-Lubatówka 12, L14-Lubatówka 14, Z6-Zofia 6. The commune of Iwonicz-Zdrój, Subcarpathian voivodeship, 2012 (author's study Lipińska E.J., Rybak T. on [2, 3, 7, 8, 12, 16, 17, 18, 20, 22])



Rys. 2. Stanowisko badań nr 3. Schemat rozmieszczenia georadarowych profili pomiarowych [13], zdjęcie B. Rajchel

Fig. 2. Research Position No. 3. Schematic layout of GPR measured profiles [13], photo by B. Rajchel



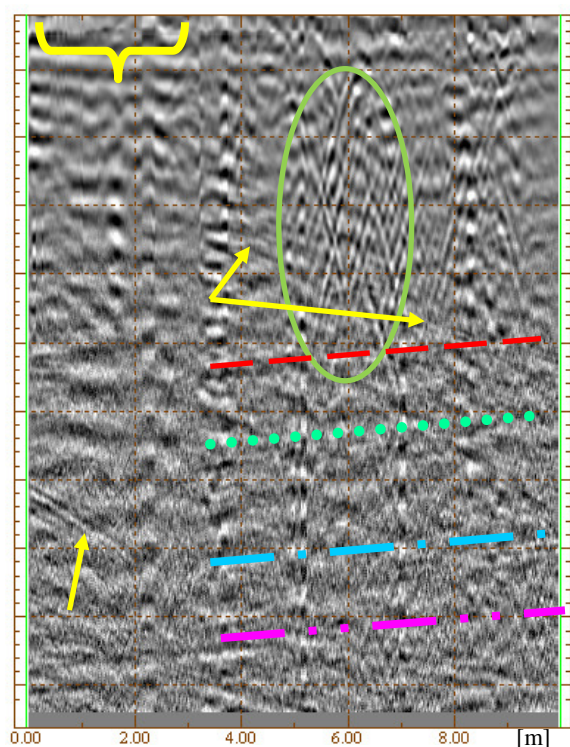
Rys. 3. Kopanka z zachowaną obudową z drewna – cembrowiną; widoczny jest fragment rury okładzinowej [13], zdjęcie E. J. Lipińska

Fig. 3. The well with wooden casing preserved - cembrowina; see the section of pipe casing. [13], photo by E. J. Lipińska

Profil 3.1 (rys. 4) został wyznaczony w odległości 1 m od płyty, która przykrywa kopankę (rys. 2 i 3).

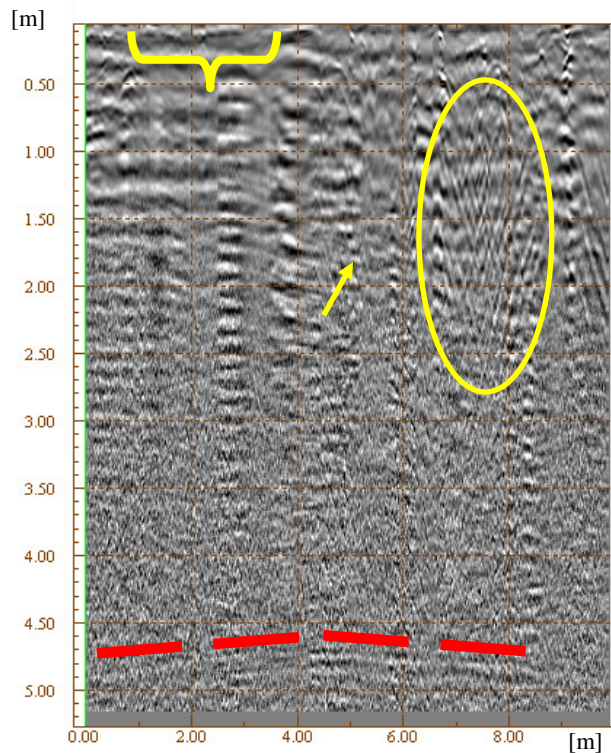
Echogram zarejestrowano anteną o częstotliwości 250 MHz. Korelujące się na echogramie refleksy (zaznaczone na rysunku elipsą) bezpośrednio odwzorowują odbicia od licznych przeszkód: drzewa na powierzchni terenu, drewniana cembrowina kopanki, orurowanie w kopance. Refleksy pochodzące od korzeni krzewu i drzewa rosnącego przy

trasie profilu zaznaczono strzałkami. Zakłócenia obrazu echogramu pochodzące od istniejącej kopanki wypełnionej zmineralizowaną wodą są widoczne na długości około 0,0-2,50 m (zaznaczone nawiasem).



Rys. 4. Echogram profilu nr 3.1. zarejestrowany anteną o częstotliwości 250 MHz (E. J. Lipińska, zdjęcie B. Rajchel)

Fig. 4. Profile echogram no. 3.1. registered by an antenna of a 250 MHz frequency (E.J. Lipińska, photo by B. Rajchel)



Rys. 5. Echogram profilu nr 3.2. zarejestrowany anteną o częstotliwości 700 MHz (E.J. Lipińska, zdjęcie B. Rajchel)

Fig. 5. Profile echogram no. 3.2. registered by an antenna of a 700 MHz frequency (E.J. Lipińska, photo by B. Rajchel)

Profil numer 3.2 został wykonany w odległości 0,5 m od płyty przykrywającej kopankę, rys. 2 i 3. Echogram (rys. 5) zarejestrowany anteną o częstotliwości 700 MHz również pokazuje zakłócenia obrazu falowego, pochodzące od przeszkód terenowych. Korelujące się refleksy (zaznaczone na rysunku elipsą) odwzorowują odbicia fali elektromagnetycznej od tych przeszkód. Zakłócenia obrazu falowego, pochodzące od istniejącej kopanki, są widoczne na długości około 1,0-4,0 m (zaznaczone nawiasem).

Liczne, drobne anomalie pochodzą od frakcji kamienistej i żwirowej, które są przy tych pomiarach elementem zakłócającym prawidłową interpretację echogramów.

Zwraca uwagę różna rozdzielczość i radialny zasięg na obu echogramach (rys. 4 i 5). Efekt ten jest spowodowany tym, że trzeba uwzględnić w tego typu pomiarach stopień niejednorodności badanego ośrodka geologicznego. Wzrost częstotliwości fali elektromagnetycznej wzmacnia jej rozpraszanie. Częstym efektem jest też wzrost ilości

zakłóceń. Stąd wniosek, że przy takim samym oknie czasowym rejestracji bardziej czytelny obraz osiągnie się, gdy używa się anteny o niższej częstotliwości. Oznacza to, że wykonując pomiary w tym akurat obszarze badań (dominują iltu), długość fali elektromagnetycznej w ośrodku geologicznym winna być zdecydowanie większa niż przeciętna średnica niejednorodności w ośrodku otaczającym kopankę.

Metoda GPR daje dobre rezultaty w utworach piaszczystych [10] i żwirach [11]. Podczas badania warstwowania utworów osadowych jest pomocna korelacja echogramów georadarowych z wynikami płytkich wierceń geologiczno-inżynierskich. Przedstawiono warstwowanie utworów iltu. Wyraźna jest granica pomiędzy nadkładem iltu niebieskiego wilgotnego, który przechodzi w ilt brązowy z rumoszem gliniastym (zaznaczona na rysunku linią przerywaną). Kolejną granicą są łupki brązowe zwarte z wkładką iltu zielonego (zaznaczone na rysunku linią kropkowaną). Następnie pojawia się warstwa iltu zielonego twar doplastycznego (zaznaczony na rysunku kreską i kropką) i łupek zwietrzały (zaznaczony na rysunku kreską i dwoma kropkami).

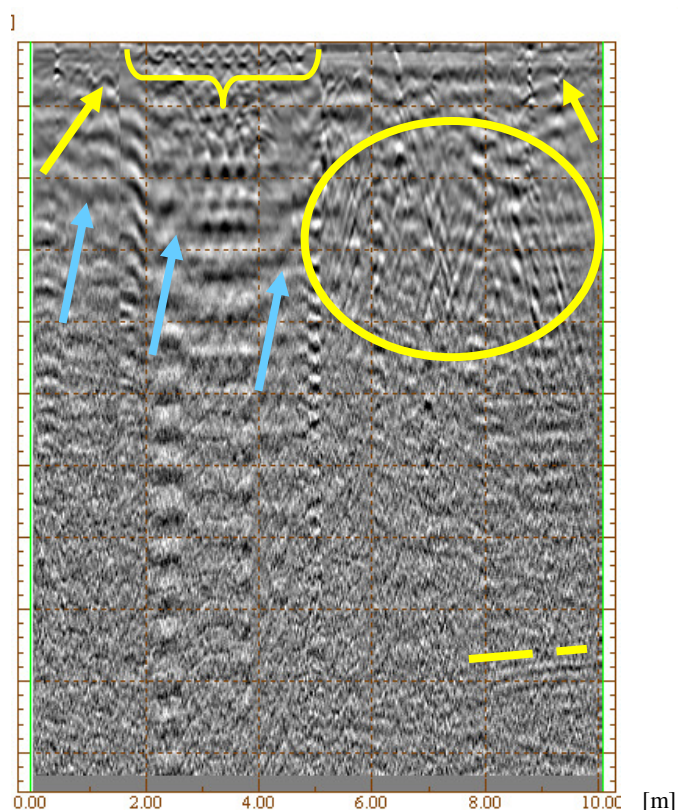
Prezentowany na echogramie (rys. 6) fragment profilu nr 3.3 przebiega nad płytą żelbetową przykrywającą kopankę. Korelujące się na echogramie refleksy (zaznaczone elipsą) odwzorowują odbicia od cembrowiny kopanki (na długości 6,0-10,0 m), rys. 3. Infrastruktura podziemna jest trudna do identyfikacji na echogramie bez dostępnych informacji o jej istnieniu. W miejscu kopanki w gruncie mogą znajdować się pozostawione elementy po jej budowie. Na echogramie widać wiele hiperbol na głębokości około 0,5 m (przykład oznaczono żółtą strzałką). Refleksy pochodzące najprawdopodobniej od płyty żelbetowej oznaczono nawiasem.

Na głębokości około 4,40 m są widoczne anomalie związane ze zmianami facjalnymi – granicą między iltiem zielonym twar doplastycznym a łupkiem zwietrzałym (zaznaczona linią przerywaną).

W literaturze spotyka się próby oceny stopnia wypełnienia rury wodą i innymi płynami na podstawie różnic w obrazie falowym, jaki jest na echogramach. Zawodnione utwory geologiczne, które zawierają wodne roztwory soli mineralnych, tłumią fale elektromagnetyczne [5]. Metoda GPR ma wtedy niewielki zasięg głębokościowy. To z kolei oznacza, że zasięg głębokościowy georadaru zależy od oporności (przewodności) wody, czyli od jej czystości [11]. Autorzy [4, 9, 15] przyznają, że domieszki materiałów ilastych i słonej wody powodują wzrost tłumienia fali elektromagnetycznej. Skutkiem tego jest spadek zasięgu głębokościowego metody GPR. Wskazują [6, 11], że metoda GPR daje dobre rezultaty w tych miejscach, gdzie występują granice litologiczne o dużym kontraście stałych dielektrycznych

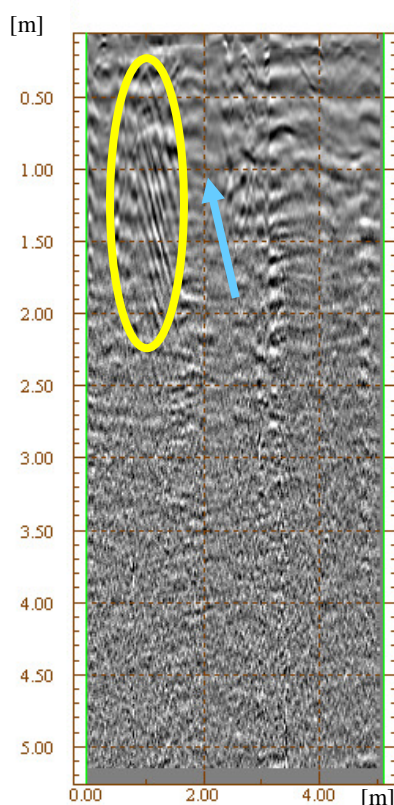
(przykład: glina – piasek, piaskowiec – gliny, ility). Zwierciadło wód gruntowych można wyznaczyć w korzystnych warunkach geologicznych. Według [1, 19] refleks, który pochodzi od lustra wody, jest bardzo silny, poziomy, często jest przecięty innymi ukośnymi refleksami. Metodą GPR można również wykryć soczewki wody zawieszane w utworach geologicznych [11].

Na rys. 6 są wyraźnie widoczne refleksy, pochodzące od wody znajdującej się w kopance (zaznaczono niebieską strzałką). Podobne refleksy są widoczne także na rysunkach 4, 5 i 7.



Rys. 6. Echogram profilu nr 3.3. zarejestrowany anteną o częstotliwości 700 MHz (E.J. Lipińska, zdjęcie B. Rajchel)

Fig. 6. Profile echogram no. 3.3. registered by an antenna of a 700 MHz frequency (E. J. Lipińska, photo by B. Rajchel B.)



Rys. 7. Echogram profilu nr 3.5. zarejestrowany anteną o częstotliwości 700 MHz (E.J. Lipińska, zdjęcie B. Rajchel)

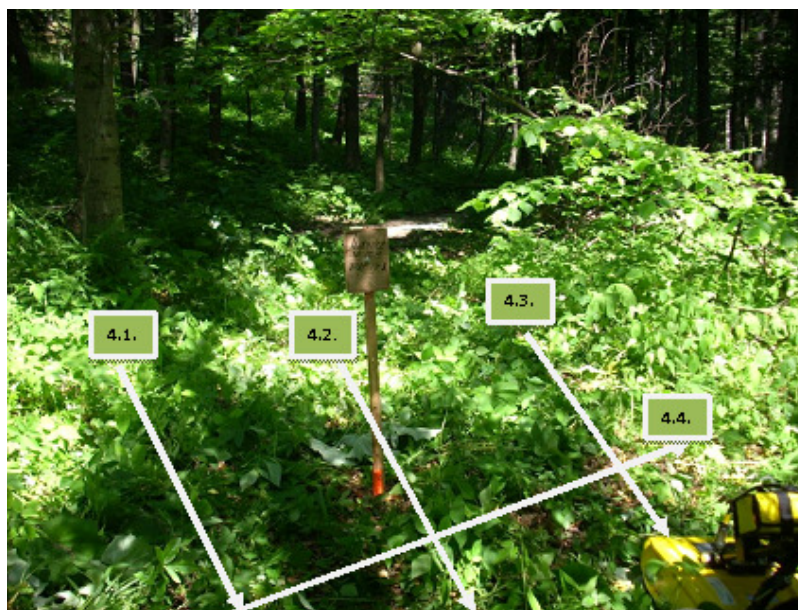
Fig. 7. Profile echogram no. 3.5. registered by an antenna of a 700 MHz frequency (E.J. Lipińska, photo by B. Rajchel)

Na rys. 7 pokazano fragment echogramu profilu numer 3.5, wykonanego prostopadle do pozostałych profili na tym stanowisku (rys. 2). Anomalia o kształcie hiperboli jest widoczna na głębokości około 0,7 m i długości około 3,4 m. Może to być metalowy element, będący pozostałością po pracach konstruujących kopankę (zaznaczono strzałką). Refleksy od przeszkody, jaką jest obudowa kopanki, rura okładzinowa (widoczna na rys. 3), ale również drzewa porastające otoczenie są wyraźnie widoczne (oznaczono je elipsą). Mogą one także pochodzić od fragmentów skał.

3.2. Stanowisko badań nr 4

Jeżeli informacja o głębokości i rozmiarach poszukiwanego obiektu oraz o budowie ośrodka geologicznego jest niezbyt precyzyjna, jest wskazane wykonanie tych samych profili antenami o różnych częstotliwościach [11]. Zmieniając odpowiednio parametry pomiarowe (częstotliwość próbkowania sygnału oraz liczbę próbek), można dobrać do różnych anten okna czasowe o podobnych wartościach. Na podstawie analizy tak zarejestrowanego materiału pomiarowego można wybrać odpowiednią antenę i powtórzyć pomiar.

Na stanowisku numer 4 wykonano profile georadarowe o numerach 4.1, 4.2, 4.3 i 4.4 (rys. 8).



Rys. 8. Stanowisko badań nr 4. Schemat rozmieszczenia georadarowych profili pomiarowych o numerach: 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, [13], zdjęcie B. Rajchel

Fig. 8. Research Position no. 4. Schematic layout of GPR measured profiles with numbers: 4.1, 4.2, 4.3 and 4.4, [13], photo by B. Rajchel

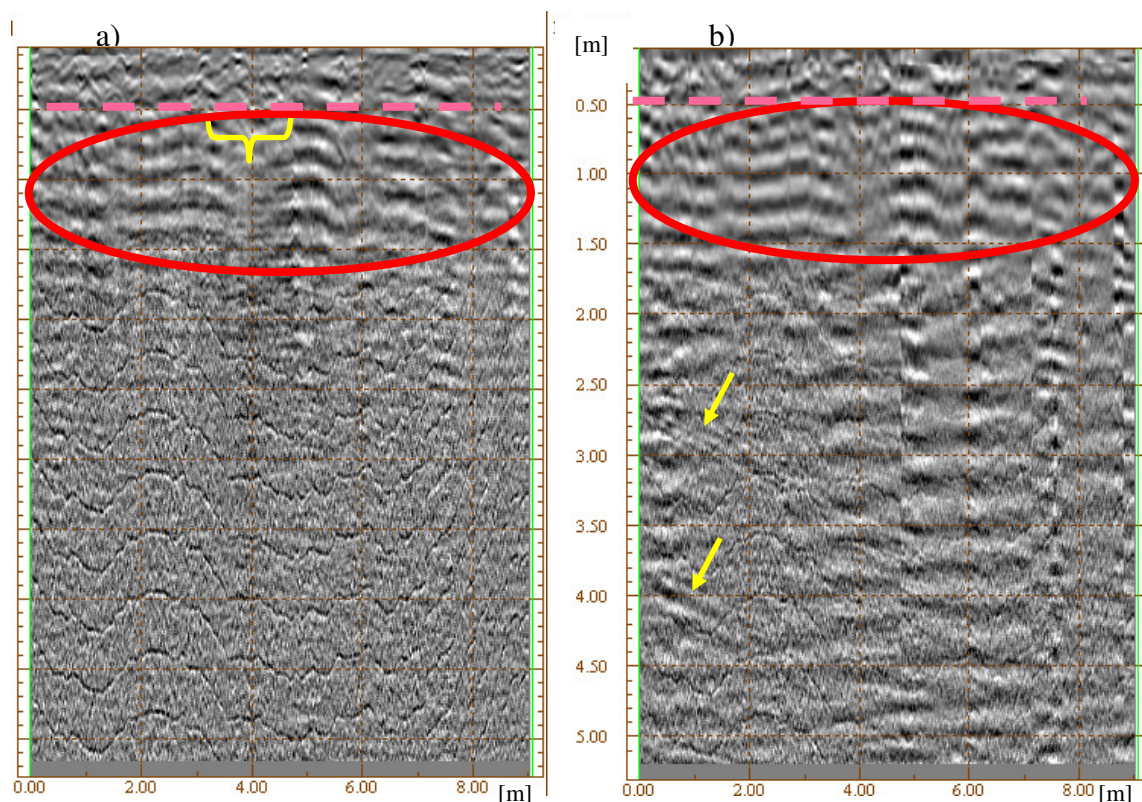
Profil 4.1 został zarejestrowany za pomocą dwóch anten o różnej częstotliwości (rys. 9a i 9b), na odcinku 0,00–9,00 m. Zwraca uwagę różna rozdzielczość i zasięg radialny na echogramach. Zwłaszcza fragment zaznaczony czerwoną elipsą – na lewym echogramie wyraźnie widać naruszenie struktury górotworu, podczas gdy na prawym obraz jest rozmyty. Żółtymi strzałkami zaznaczono anomalie.

Występująca na głębokości od 0,5 do 1,5 m anomalia (czerwona elipsa) wynika ze zmian facjalnych podobnie jak na echogramach 4.2 i 4.4.

Badania geologiczno-inżynierskie wykazały, że na głębokości 0,00–0,1 m występuje il białozółty, małowilgotny. Na głębokości 0,1–0,5 m zalega il przechodzący w rumosz, zaś na głębokości 0,5–1,0 m stwierdzono piasek gliniasty fioletowo - żółty przechodzący w il

piaszczysty zwarty, żółty. Poniżej, na głębokości 1,0-2,0 m występuje ilt piaszczysty żółto-fioletowy z rumoszem, wilgotny; od głębokości 1,5 m – mokry.

Metoda GPR pozwala na określenie profilu litologicznego utworów przypowierzchniowych [9]. Umożliwia wyznaczenie granicy skały macierzystej i nadkładu [1]. Efektowne rejestracje uzyskuje się w trakcie kartowania kontaktów skał wyraźnie różniących się własnościami fizycznymi, np. piasków i glin, i nadkładu czwartorzędowego [10]. Na rys. 9. przedstawiono echogram, na którym zarejestrowano fragment profilu na poziomym odcinku powierzchni pomiarowej. Widoczna jest wyraźnie granica pomiędzy nadkładem czwartorzędowym przykrywającym ility (granica zaznaczona linią przerywaną), jak i wewnętrzne uławicenie iltów.



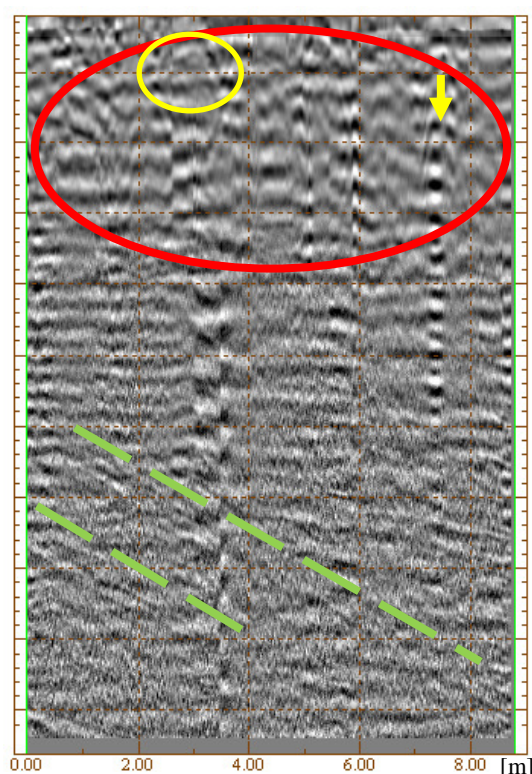
Rys. 9. Echogram profilu nr 4.1 zarejestrowany dwiema antenami o różnej częstotliwości; echogram a) zarejestrowano anteną o częstotliwości 700 MHz; echogram b) zarejestrowano anteną o częstotliwości 250 MHz (E.J. Lipińska, zdjęcie B. Rajchel)

Fig. 9. Profile echogram No. 4.1 registered by an antenna of a 700 MHz frequency (E.J. Lipińska, photo by B. Rajchel)

Wyraźnie widoczne są również refleksy wskazujące na obecność wód gruntowych w poziomie około 0,5 do 1,5 m głębokości (soczewki wody zawieszane w utworach geologicznych).

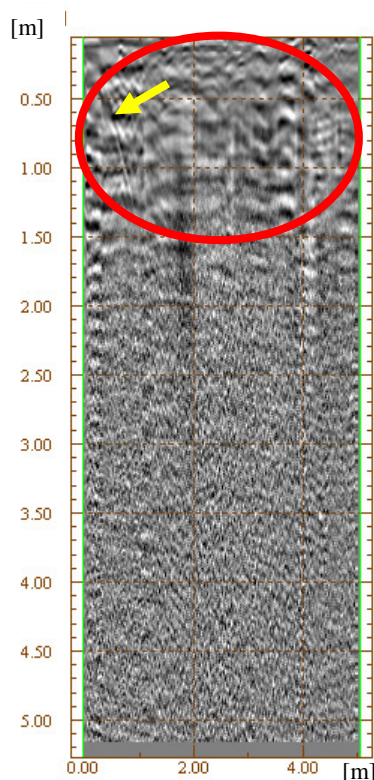
Na echogramie 9.a na długości profilu od około 3,5 do 5,0 m i głębokości 0,60 m występuje anomalia, która może być obrazem pustki, zlikwidowanej kopanki – zasypanej glebą, wypełniona cieczą (zaznaczona żółtym nawiasem) – naruszenie antropogeniczne warstw geologicznych.

Na echogramie profilu 4.2, zarejestrowanego anteną o częstotliwości 250 MHz anomalię (rys. 10), której przyczyną jest ta sama struktura, która została zarejestrowana na echogramie 4.1b (rys. 9b) i zaznaczona zieloną linią przerywaną. Występująca na głębokości od 0,5 do 1,5 m anomalia jest opisywaną powyżej zmianą facjalną – oznaczono ją czerwoną elipsą. Na długości 7,4 m i głębokości 0,7 m jest wyraźnie widoczna hiperbola, która może być obrazem rury – pozostałość po poszukiwaniach wód mineralnych lub ropy naftowej (zaznaczona zieloną strzałką). Jednak, aby oszacować z dużym prawdopodobieństwem położenie rury (czy jej fragmentu lub innego obiektu o liniowym charakterze), jest wskazane wykonanie kilku równoległych profili. Gdy anomalia kontynuuje się na wszystkich profilach, można stwierdzić, że zlokalizowano rurę lub inny obiekt liniowy. Gdy nie – obiekt ma charakter punktowy i równie dobrze może to być duży odłamek skały lub inny element tego typu (zaznaczono żółtą elipsą), rys. 10.



Rys. 10. Echogram profilu nr 4.2 zarejestrowany anteną o częstotliwości 250 MHz (E.J. Lipińska, zdjęcie B. Rajchel)

Fig. 10. Profile echogram no. 4.2 registered by an antenna of a 250 MHz frequency (E.J. Lipińska, photo by B. Raichel)



Rys. 11. Echogram profilu nr 4.4 zarejestrowany anteną o częstotliwości 700 MHz (E.J. Lipińska, zdjęcie B. Rajchel)

Fig. 11. Profile echogram no. 4.4 registered by an antenna of a 700 MHz frequency (E.J. Lipińska, photo by B. Raichel)

Określenie średnicy rury jest możliwe w przypadku, gdy długość fali elektromagnetycznej jest porównywalna do tej średnicy [10].

Na profilu pomiarowym nr 4.4 (rys. 11), przechodzącym prostopadle przez profil numer 4.2 (rys. 8), na głębokości od 0,5 do 1,5 m występuje anomalia – zmiana fazjalna. Ponadto, żółtą strzałką wskazano fragment hiperboli–anomalii wynikającej z obecności rury lub elementu punktowego.

4. Podsumowanie

Wykonane profile georadarowe na pozostałych stanowiskach (rys. 2) dały podobne wyniki. Wyraźnie zaznaczały się anomalie związane ze zmianami litologicznymi gruntu, jego zawodnieniem, obecnością fragmentów skał, także obecnością korzeni drzew. Trudniejsze do interpretacji anomalie mogły pochodzić od pozostawionych fragmentów obudowy kopanek, rur okładzinowych, pustek poeksploacyjnych. W takich przypadkach jest konieczne wykonanie profili poprzecznych, wykorzystując anteny o różnych częstotliwościach, a także sprawdzających otworów wiertniczych.

Uzyskane wyniki badań potwierdzają słuszność przyjętej koncepcji zastosowania metody GPR do zbadania gruntów w strefie A ochrony uzdrowiskowej gminy Iwonicz-Zdrój; uzyskano ich przestrzenny rozkład oraz model litologiczny ośrodka; oceniono przydatność metody do poszukiwania i lokalizacji zmian antropogenicznych w górotworze, jakimi są dawne wyrobiska górnicze ponaftowe. Opisane przykłady potwierdzają celowość wizji lokalnych oraz badań techniką GPR, gdy jest znana lokalizacja poszukiwanych obiektów i gdy powierzchnia górotworu jest nieskomplikowana, co ma wpływ na obraz wyników badań. Potwierdzono, że w górotworze zbudowanym z ilów i glin metoda GPR ma mały zasięg głębokościowy, a obecność wód mineralnych zakłóca pomiary techniką GPR. Weryfikacja wyników badań GPR wynikami badań geologiczno-inżynierskimi i analizą dokumentów archiwalnych pozwoliła ograniczyć liczbę punktów wierceń geologicznych do stref, które różnią się własnościami fizycznymi i obniżyć koszty prac geologiczno-inżynierskich.

BIBLIOGRAFIA

1. Bjelm L., Follin S., Svensson C.: A radar in geological subsurface investigation. Bulletin og EAEG. Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (CODGiK):

- Warstwa tematyczna GIS. Baza danych Państwowego Rejestru Granic (PRG). Warszawa 1983.
2. Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (CODGiK): Warstwa tematyczna GIS. Baza danych Państwowego Rejestru Granic (PRG). Warszawa 2006.
 3. Generalna Dyrekcja Lasów Państwowych (GDLP): Warstwa tematyczna GIS. Obszary chronione. Warszawa 2005.
 4. Gorączko A., Kumor M. K.: Pęcznienie mioplioceniowych łańcuchów serii poznańskiej z rejonu Bydgoszczy na tle ich litologii. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 446 (2) 2011.
 5. Hanninen P.: Ground penetrating radar. The Finnish Geotechnical Society. Tampere. 1992.
 6. Hawrysz M., Stróżyk J.: Właściwości geologiczno-inżynierskie glin zwałowych z północnej części Wrocławia. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 446 (2) 2011.
 7. Instytut Gospodarki Przestrzennej i Mieszkalnictwa: Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego gminy Iwonicz-Zdrój. Warszawa 2011.
 8. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMiGW) Ośrodek Zasobów Wodnych: Mapa Podziału Hydrograficznego Polski. Warstwa tematyczna GIS (plik formatu shp). Warszawa 2007.
 9. Izdebska-Mucha D., Trzeciński J.: Właściwości mikrostrukturalne aluwialnych gruntów ilastych długotrwale zanieczyszczonych paliwami ropopochodnymi. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 446 (2) 2011.
 10. Jol H. M., Smith D. G.: Ground penetrating radar of northern lacustrine deltas. *Canadian Journal Earth Science* 1991.
 11. Karczewski J.: *Zarys metody georadarowej*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków 2007.
 12. Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej: Geobaza Water-FrameworkDirective (format gdb) wykonana na potrzeby planu gospodarowania wodami. Warszawa 2010.
 13. Lipińska E. J., Kustron-Mleczak P., Rymar S.: Zarys metodyki identyfikacji dawnych wyrobisk górniczych, tzw. „kopanek ropy naftowej”, na obszarze Uzdrowiska Iwonicz-Zdrój. *Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego* 446 (2) 2011.

14. Lipińska E.J.: Ocena wpływu wyrobisk górniczych początków górnictwa naftowego (kopanek) na środowisko. Umowa nr 3372/B/T/02/2007/33 pomiędzy MNiSW a PWSZ w Krośnie, 2007.
15. Olchawa A., Gorączko A.: Zależność granicy płynności iłó w od zewnętrznej powierzchni właściwej i składy kationów wymiennych. Biuletyn Państwowego Instytutu Geologicznego 446 (2) 2011.
16. Państwowy Instytut Geologiczny: Warstwy tematyczne GIS: "cbdg_zloza_tereny_2012_03_22.zip", "cbdg_zloza_2012_03_22.zip", www.geoportal.pgi.gov.pl, Centralna Baza Danych Geologicznych. Warszawa 2010. [dostęp: 2012-04-19].
17. Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska (RDOŚ): Obszary Natura 2000 na Podkarpaciu. Redakcja: Rogala D., Marcela A., Rzeszów 2010.
18. Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska (RDOŚ): Warstwy tematyczne GIS. Specjalne obszary ochrony siedlisk. Obszary specjalnej ochrony ptaków. Rzeszów 2010.
19. Ulriksen P.: Application of impulse radar to civil engineering. Department of Engineering Geology. Lund 1982.
20. Urząd Gminy w Iwoniczu-Zdroju: Uchwała Nr XXIX/242/09 Rady Miejskiej w Iwoniczu-Zdroju z dnia 30.VI.2009 r. w sprawie uchwalenia Statutu Uzdrowiska Iwonicz-Zdrój, 2010. <http://iwonicz-zdroj.bip.podkarpackie.pl/index.php/statut>, [dostęp: 2012-04-19].
21. Ustawa z dnia 28.VII.2005 r. o lecznictwie uzdrowiskowym, uzdrowiskach i obszarach ochrony uzdrowiskowej oraz o gminach uzdrowiskowych (Dz.U. Nr 167, poz. 1399 z późn. zm.).
22. Zubrzycki A., Wdowiarz S., Fryszak-Wołkowska A.: Mapa geologiczna okolic Iwonicza-Zdroju. PIG, Warszawa 1991.

Abstract

The commune Iwonicz-Zdrój has the status of the health-resort municipality. Concurrently, it is characterized by a unique phenomenon in Europe: interaction of mineral waters and hydrocarbon deposits and remains after 19th-century technical exploitation of minerals. The health-resort zone of protection meet the specific requirements of the health and life of humans and the environment.

The purpose of the application of the method of GPR were investigations of lithosphere layers in the health-resort zone of protection receiving their spatial distribution and model of the lithologic centre which are old mining workings with wooden rings or without casing. In the study there was concerned, among others, general geology of the research area. The historical data were used, although a few 19th-century geological cross-sections and data from drilling, contemporary maps of elevation of the terrain and information about vegetation land cover, State environmental monitoring data. The presumed location of the old mining workings is specified. Obtained results confirm the validity of the research conception of the application of the method of GPR to examine ground layers in the zone of health-resort protection of the commune Iwonicz-Zdrój.