

Bernadeta RAJCHEL¹
Krzysztof CHMIELOWSKI²

PRÓBA ZASTOSOWANIA GEORADARU DO LOKALIZACJI STREF ZDEGRADOWANYCH

W artykule dokonano analizy wykorzystania metody georadarowej do lokalizacji obszarów zdegradowanych. Jest to metoda bezinwazyjna, pozwalająca na rozpoznanie płytkiej budowy geologicznej, monitoring procesów zachodzących w gruncie, wykrywanie pustek, lokalizację obiektów naturalnych i antropogenicznych w ośrodku geologicznym. Georadar znalazł szerokie zastosowanie w rozwiązywaniu problemów związanych z ochroną środowiska. Używa się go do poszukiwania obiektów (beczek, zbiorników itp.) pochodzenia antropogenicznego zakopanych w ziemi, a także do określania granic stref zanieczyszczeń w ziemi – wycieki substancji organicznych i nieorganicznych, jak również do ustalenia efektywności remediacji zanieczyszczonego gruntu. Autorzy zadali sobie pytanie czy za pomocą georadaru da się ustalić głębokość składowanych odpadów oraz miąższość warstwy rekultywacyjnej gruntu. W referacie przedstawiono wyniki pomiarów georadarowych wykonanych na terenie byłego wysypiska odpadów znajdującego się na obrzeżach miasta Krosna. Eksploatacja wysypiska trwała czterdzieści lat: od 1970 r. do 1984 r. Nie ma danych dotyczących masy i morfologii odpadów zdeponowanych na składowisku. Obecnie teren po składowisku zajmują nieużytki oraz boisko sportowe. Do pomiarów został użyty georadar Detektor Duo włoskiej firmy IDS. Georadar współpracuje z dwoma antenami o częstotliwościach: 250 MHz i 700 MHz. Za pomocą georadaru nie ma możliwości określenia rodzaju deponowanych odpadów, ale można wyznaczyć zarys strefy zdegradowanej oraz warstwy rekultywacyjnej. Metoda georadarowa może być stosowana do wstępnego rozpoznania stref zdegradowanych, biorąc pod uwagę panujące w danym terenie czynniki środowiskowe.

Słowa kluczowe: technika georadarowa, rozpoznanie, wysypisko odpadów, rekultywacja

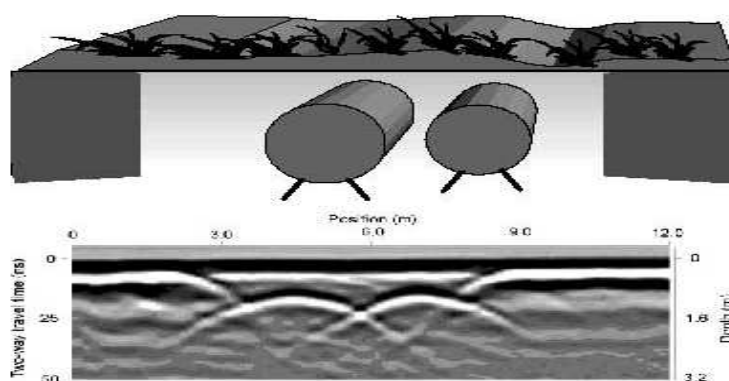
¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Bernadeta Rajchel, Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. St. Pigoń w Krośnie, 38-400 Krosno, ul. Dmochowskiego 12, 13 4375590, brajchel@wp.pl

² Krzysztof Chmielowski, Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie, 30-059 Kraków, al. Mickiewicza 24/28, tel. 12 6624187 k.chmielowski@ur.krakow.pl

1. Wprowadzenie

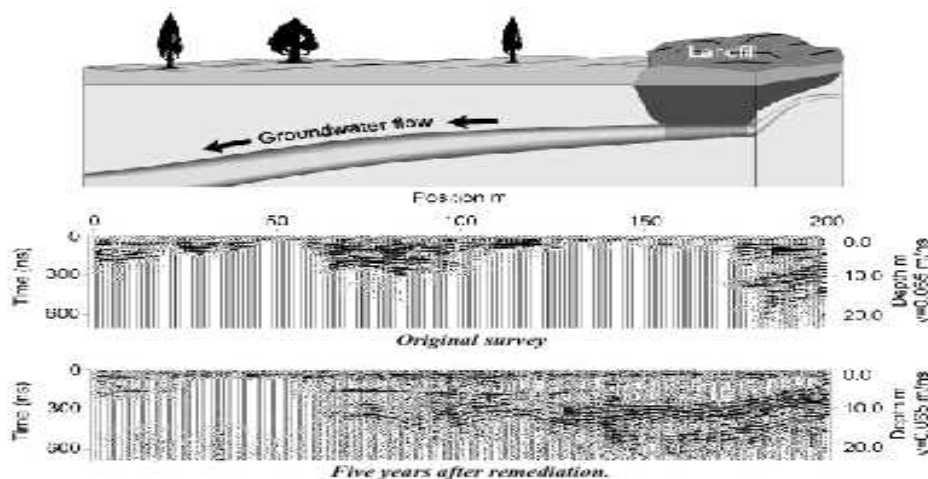
Metoda georadarowa (z ang. GPR - Ground Penetrating Radar) jest metodą geofizyczną, która polega na wysyłaniu impulsów fal radiowych (elektromagnetycznych) o częstotliwościach od 10 MHz do kilku GHz [4]. Jest to metoda bezinwazyjna, pozwalająca na rozpoznanie płytkiej budowy geologicznej, monitoring procesów zachodzących w gruncie, wykrywanie pustek, lokalizację obiektów naturalnych i antropogenicznych w ośrodku geologicznym. Wadą tej metody jest ograniczony zasięg głębokościowy, szacowany na ok. 20 m [2], natomiast zaletą - wysoka rozdzielczość, umożliwiająca z centymetrową dokładnością lokalizację badanego obiektu. Metoda georadarowa ma wiele zastosowań w bardzo różnych dziedzinach, takich jak: geologia, hydrogeologia, archeologia [5], budownictwo [7], lokalizacja i inwentaryzacja infrastruktury podziemnej [6], kryminalistyka, militaria, ochrona środowiska i w wielu innych, a także próbach wykorzystania georadaru w kolejnych dyscyplinach.

Georadar znalazł szerokie zastosowanie w rozwiązywaniu problemów związanych z ochroną środowiska. Używa się go do poszukiwania obiektów (beczek, zbiorników itp.) pochodzenia antropogenicznego zakopanych w ziemi (Rys. 1), a także do określania granic stref zanieczyszczeń w ziemi - wycieki substancji organicznych i nieorganicznych, jak również do ustalenia efektywności remediacji zanieczyszczonego gruntu (Rys. 2). Przykładem może być wykorzystanie georadaru do lokalizacji zanieczyszczeń ropopochodnych przy awariach zbiorników na stacjach paliw, modelowanie kierunku i szybkości migracji tych zanieczyszczeń [3]. Lokalizacja stref skażonych węglowodorami jest trudnym zadaniem, ze względu na brak wyraźnej granicy pomiędzy strefą skażoną a niezanieczyszczoną.



Rys. 1. Echogram obrazujący lokalizację zakopanych zbiorników. Aparatura pulseEKKO IV, antena 200 MHz; opracowano na podstawie [1]

Fig. 1. An echogram illustrating buried tanks location. Measurement device PulseEKKO IV with 200 MHz antenna; on the basis of [1]



Rys. 2. Echogram zarejestrowany w Ontario, Kanada, widoczne wymywanie zanieczyszczeń do wód podziemnych oraz stan zanieczyszczenia gruntu i wody podziemnej przed i po remediacji. Aparatura pulseEKKO GPR, antena o częstotliwości 50 MHz; opracowano na podstawie [1]

Fig. 2. An echogram registered in Ontario, Canada, visible contaminants leaching to underground water and grout contamination state before and after remediation. Measurement device pulseEKKO GPR with 50 MHz antenna; on the basis of [1]

Głównym celem przeprowadzonych badań była próba wykorzystania georadaru w zagadnieniach związanych z ochroną środowiska, a dokładniej analiza użyteczności tej techniki geofizycznej w wyznaczaniu stref zdegradowanych na terenach zamkniętych wysypisk odpadów.

2. Aparatura pomiarowa

Do pomiarów został użyty georadar Detektor Duo włoskiej firmy IDS (Rys. 4). Georadar współpracuje z dwoma antenami o częstotliwościach: TR 250 MHz (tzw. antena „głęboka”) i TR 700 MHz (tzw. antena „płytką”). W tego rodzaju georadarze wyzwalanie sygnału odbywa się w stałych interwałach odległościowych za pomocą kółka pomiarowego. Wszystkie parametry pomiarowe, takie jak: wzmacnienie, dobór filtrów, czy 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 [8].

3. Teren badań

Pomiary przeprowadzono na terenie nieczynnego, przykrytego warstwą rekultywacyjną wysypiska odpadów komunalnych zlokalizowanego na terenie

osiedla Traugutta w Krośnie, działki nr 285/1 i 285/2 (dane z www.geoportal.gov.pl, dane te nie są danymi ewidencji gruntów i budynków w rozumieniu przepisów rozporządzenia Ministra Rozwoju Regionalnego i Budownictwa z dnia 29 marca 2001r. w sprawie ewidencji gruntów i budynków) (Rys. 3). Jest to obszar o powierzchni ok. 6,6 ha. Eksploatacja wysypiska trwała czternaście lat: od 1970 r. do 1984 r. Nie ma danych dotyczących masy i morfologii odpadów zdeponowanych na składowisku. Obecnie teren po składowisku zajmują nieużytki oraz boisko sportowe o powierzchni ok. 56 arów (widoczna na rysunku 4 część działki 285/2 o prostokątnym zarysie). Na terenie tego boiska wykonano dziesięć profili georadarowych (Rys. 4).



Rys. 3. Zdjęcie satelitarne terenu badań z numerami działek oraz zaznaczonymi profilami georadarowymi; opracowano na podstawie [9]

Fig. 3. Satellite image of research terrain with lots numbers and marked GPR profiles; on the basis of [9]

Dla wykonującego pomiary georadarowe dobrze jest, jeśli o badanym terenie dostępnych jest jak najwięcej informacji - w tym przypadku znana jest tylko lokalizacja obiektu badań.

Bardzo istotny jest wybór anten o odpowiedniej częstotliwości, aby zasięg pomiaru georadarem nie był mniejszy niż głębokość, na której znajdują się poszukiwane obiekty. Anteną o częstotliwości 250 MHz można wykonać pomiar do głębokości 6 m, więc dla potrzeb niniejszych badań częstotliwość tej anteny jest wystarczająca.



Rys. 4. Teren badań z poglądowo naniesionymi profilami georadarowymi

Fig. 4. Terrain of research with pictorial alluvial GPR profiles

Wpływ na wyniki pomiarów georadarowych mają czynniki środowiskowe, otoczenie, podłoże, które należy określić przed rozpoczęciem badań. Przymierzalną część podłoża to grunt nasypowy - warstwa rekultywacyjna. Poniżej znajdują się odpady komunalne składowane na naturalnym podłożu gruntowym. Teren pokryty jest roślinnością (na badanym obszarze występuje roślinność trawiasta, nie ma drzew czy krzewów). Informacja na temat szaty roślinnej jest ważna, ponieważ występujące w podłożu korzenie drzew mogłyby powodować zakłócenia i dawać fałszywy obraz falowy. Istotna przy pomiarach jest również wilgotność podłoża. Wykonywanie pomiarów przy dużej wilgotności gruntu (np. po kilkudniowych opadach) powoduje zmniejszenie zasięgu głębokościowego georadaru. Pomiarów wykonano w okresie suchym, bezdeszczowym, więc badane podłoże gruntowe nie będzie wpływać negatywnie na głębokość pomiaru.

Należy także określić czy na badanym terenie występują czynniki, które mogłyby uniemożliwić przeprowadzenie pomiarów. Do takich czynników należy zaliczyć, np. linie energetyczne, nadajniki fal elektromagnetycznych o wysokiej mocy. Żadne z powyższych nie występują. Teren jest łatwo dostępny i sprzyjający pomiarom georadarowym.

4. Wyniki badań

Uzyskane w czasie badań terenowych echogramy poddano następującym procedurom przetwarzania (z użyciem programu GRESWIN 05.01.002):

- usunięcie treści echogramu ponad miejscem zera czasu (ang. move start time);
- usunięcie tła (ang. background removal);
- zastosowanie pionowego filtra częstotliwościowego pasmowoprzepustowego (ang. vertical bandpass filter);
- wzmocnienie sygnału w czasie (ang. smoothed gain).

Spośród wykonanych dziesięciu profili, wybrano pięć interesujących i zaprezentowano poniżej. Długość każdego z profili wynosi ok. 18 m. Na obszarze boiska sportowego wykonano po trzy profile georadarowe równoległe do siebie w odległości 0,5 m, a także dwa profile prostopadłe do powyższych. Wzdłuż ścieżki wykonano kolejne dwa profile georadarowe (Rys. 4).

Na zarejestrowanych echogramach widoczny jest szereg drobnych anomalii, pochodzących od różnego rodzaju odpadów, deponowanych w tym miejscu w latach 70-tych. Natomiast nie ma wyraźnych, jednoznacznych anomalii, które świadczyłyby o występowaniu większych fragmentów odpadów czy elementów metalowych, dających mocny impuls elektromagnetyczny. Można przypuszczać, że po upływie trzydziestu lat od zakończenia eksploatacji wysypiska, znajdujące się na nim odpady komunalne uległy częściowemu rozkładowi. Na rysunku 5 zaprezentowano stan odpadów nawierconych podczas montowania sond monitoringowych, natomiast na rysunku 6 przedstawiono wygląd zewnętrzny wysypiska, które przez część osób nadal uważane jest za miejsce, gdzie bezkarnie można wyrzucać zużyte rzeczy.



Rys. 5. Stan odpadów nawierconych podczas montowania sond monitoringowych

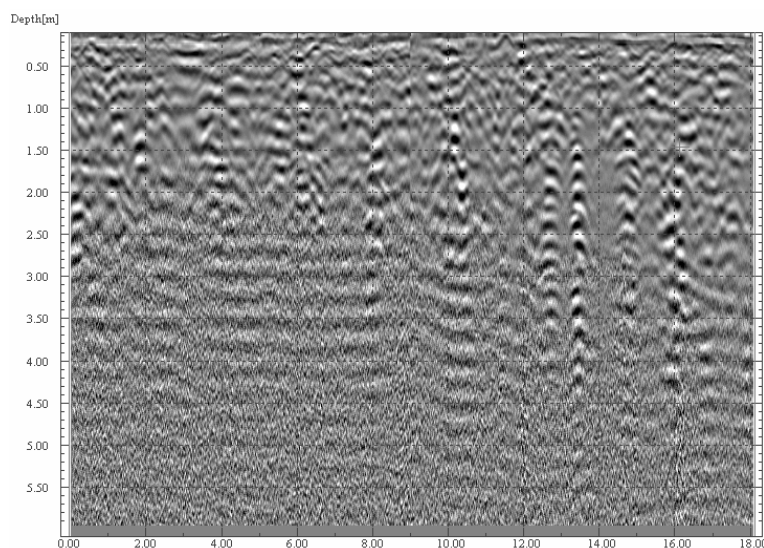
Fig. 5. Wasted drilled state during mounting monitoring probes



Rys. 6. Wygląd wysypiska obecnie - jako dzikie wysypisko śmieci

Fig. 6. Current waste dump appearance – as wild waste dump

Głębokość deponowanych odpadów w zależności od miejsca wykonanego badania jest różna i waha się od 1,50 m do 3,50 m. Miąższość warstwy rekultywacyjnej gruntu wynosi od 0,10 do 0,50 m. Mniejsza grubość tej warstwy znajduje się na utwardzonej ścieżce biegnącej wzdłuż boiska sportowego (Rys. 7, 8), gdzie warstwa gruntu została zagęszczona, natomiast większą jej grubość obserwuje się na terenie samego boiska (Rys. 9-11).

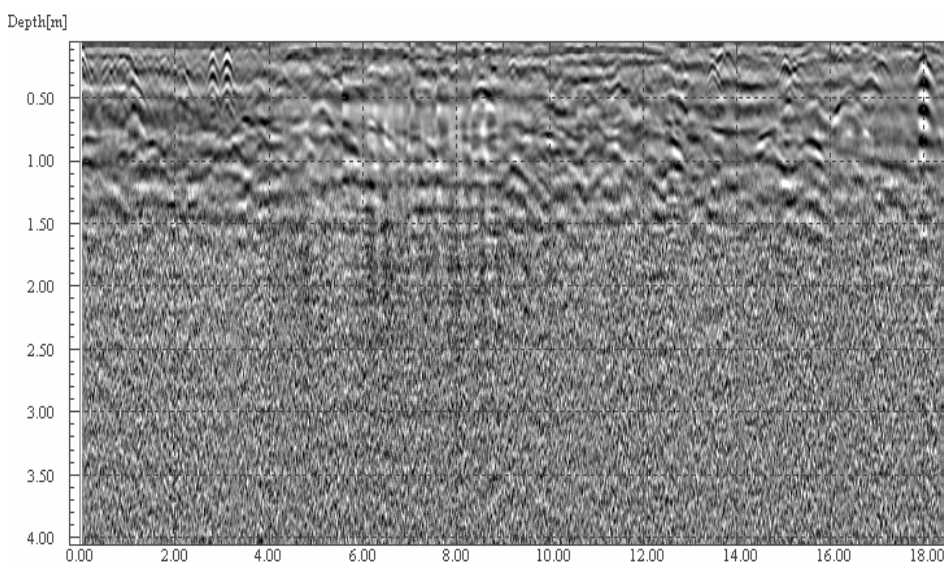


Rys. 7. Profil georadarowy aa. Echogram zarejestrowany na utwardzonej ścieżce wzdłuż boiska. Aparatura IDS/GPR, antena ekranowana 250 MHz

Fig. 7. Georadar profile aa. Echogram registered on hardened path along playing field. Measurement device IDS/GRP, shielded antenna 250 MHz

Profil georadarowy aa (Rys. 7) został zarejestrowany anteną o częstotliwości 250 MHz, przy użyciu której zasięg głębokościowy pomiaru wynosi do 6 m. Na tym echogramie widać, że na głębokościach większych niż 4,0-4,5 m nie obserwuje się żadnych anomalii, dlatego też kolejne pomiary wykonano anteną o częstotliwości 700 MHz, gdzie zasięg pomiaru jest mniejszy (do 4,0 m), ale wystarczający dla niniejszych badań, a za to rozdzielczość obrazu wyższa przy tej częstotliwości anteny.

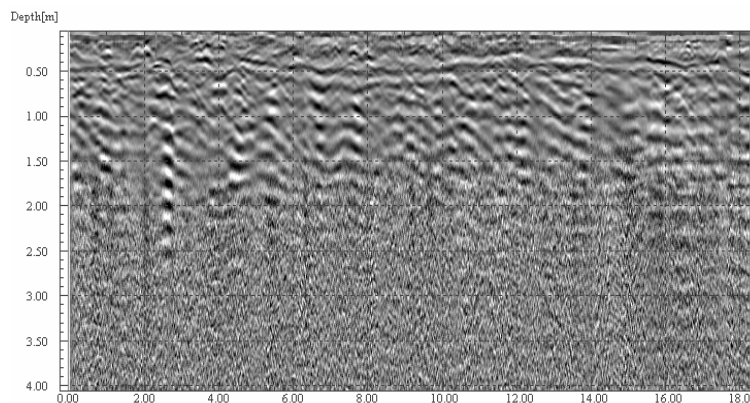
Kolejny echogram ag (Rys. 8) jest przedłużeniem echogramu aa. Na echogramie ag widoczne są zmienione strefy na długości profilu od 5,0 do 9,0 m. Prawdopodobnie w tym miejscu zdeponowane są odpady jakościowo inne od odpadów otaczających. Niewielkie anomalie w górnej części echogramu, pojawiające się prawie na całej długości profilu mogą świadczyć o obecności frakcji kamienistej, gruzu budowlanego w warstwie rekultywacyjnej gruntu.



Rys. 8. Profil georadarowy ag. Echogram zarejestrowany na utwardzonej ścieżce wzdłuż boiska. Aparatura IDS/GPR, antena ekranowana 700 MHz

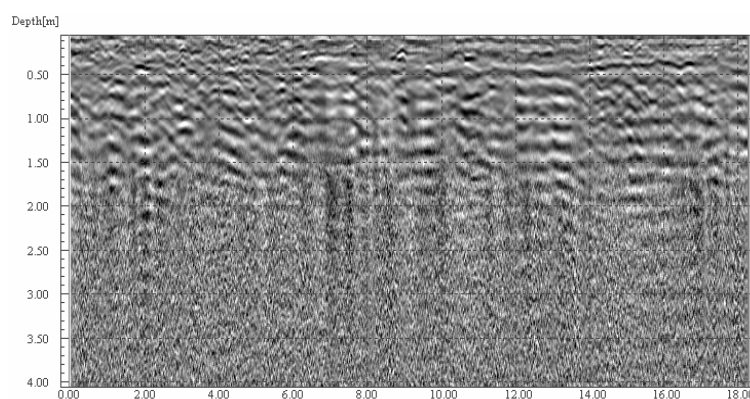
Fig. 8. Georadar profile ag. Echogram registered on hardened path along playing field. Measurement device IDS/GRP, shielded antenna 700 MHz

Na echogramie ac (Rys. 9) na głębokości 0,5 m pojawia się anomalia (linia prosta) obrazująca granicę między warstwą rekultywacyjną, a zdeponowanymi odpadami. Widoczne są również miejsca (m. in. na 13 i 14 m profilu) z anomaliami świadczącymi o obecności odpadów o różnych właściwościach. Ilość takich miejsc zwiększa się na kolejnym profilu georadarowym ai (Rys. 10) wykonanym równoległe do profilu ac w odległości 0,5 m.



Rys. 9. Profil georadarowy ac. Echogram zarejestrowany na boisku. Aparatura IDS/GPR, antena ekranowana 700 MHz

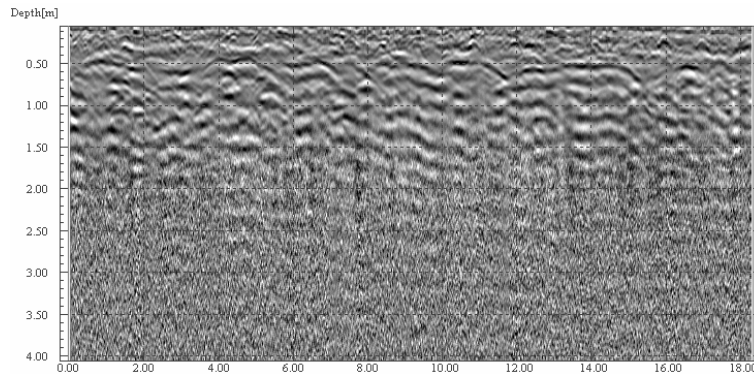
Fig. 9. Georadar profile ac. Echogram registered on playing field. Measurement device IDS/GRP, shielded antenna 700 MHz



Rys. 10. Profil georadarowy ai. Echogram zarejestrowany na boisku. Aparatura IDS/GPR, antena ekranowana 700 MHz

Fig. 10. Georadar profile ai. Echogram registered on playing field. Measurement device IDS/GRP, shielded antenna 700 MHz

Echogram ae (Rys. 11), wykonany prostopadle do echogramów ac oraz ai, potwierdza obecność na głębokości 0,5 m granicy między warstwą rekultywacyjną gruntu, a warstwą odpadów. Wyklucza to możliwość występowania na tej głębokości np. wąskiego obiektu ciągłego (typu rury, kable) - wówczas przy pomiarze wykonanym prostopadle pojawiłaby się pojedyncza anomalia o kształcie hiperboli. Wyraźnie widoczna jest różnica między obrazem anomalii występujących powyżej (grunt) a poniżej (odpady) poziomu 0,5 m.



Rys. 11. Profil georadarowy ae. Echogram zarejestrowany na boisku. Aparatura IDS/GPR, antena ekranowana 700 MHz

Fig. 11. Georadar profile ae. Echogram registered on playing field. Measurement device IDS/GRP, shielded antenna 700 MHz

5. Podsumowanie

Metoda georadarowa może być stosowana do wstępnego rozpoznania stref zdegradowanych, biorąc pod uwagę panujące w danym terenie czynniki środowiskowe.

Interpretacja pomiarów georadarowych, oparta na analizie echogramów, pokazuje, że za pomocą tej techniki geofizycznej:

- można określić miąższość warstwy rekultywacyjnej;
- można określić głębokość deponowanych odpadów;
- można określić strefy występowania zarówno gruntu zmienionego antropogenicznie, jak i gruntu naturalnego;
- można wyznaczyć granicę między poszczególnymi strefami;
- nie ma możliwości określenia rodzaju deponowanych odpadów.

Literatura

- [1] Annan A.P.: Ground Penetrating Radar, Workshop Notes, Sensor and Software Inc., Canada, 2001, s. 1-192.
- [2] Fajkiewicz Z., Mikoś T., Radomiński J.: Geofizyczne poszukiwania form antropogenicznych, w tym starych wyrobisk górniczych, w Złotym Stoku, Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, Nr 117, 2006, s. 63-73.
- [3] Gołębiowski T.: Zastosowanie metody georadarowej do detekcji i monitoringu obiektów o stochastycznym rozkładzie w ośrodku geologicznym, Wydawnictwa AGH, Rozprawy Monografie 251, Kraków 2012, s. 1-257.
- [4] Karczewski J.: Zarys metody georadarowej, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, 2007, s. 1-246.

- [5] Rajchel B.: Możliwość zastosowania metody georadarowej w badaniach archeologicznych i hydrogeologicznych. [W:] Środowisko przyrodnicze i walory turystyczne południowo-wschodniej Polski i zachodniej Ukrainy, redakcja: Rak J. Wyd. Muzeum Regionalne, Brzozów, 2011, s. 179-200.
- [6] Rajchel B.: Ocena przydatności metody georadarowej do lokalizacji infrastruktury podziemnej, [W:] Wybrane aspekty ochrony i kształtowania środowiska w Polsce, we wschodniej Słowacji i zachodniej Ukrainie, redakcja Rak J., Wyd. Muzeum Regionalne, Brzozów, 2013, s. 251-272.
- [7] Rajchel B.: Analiza przydatności metody georadarowej do badania stropów budynków. [W:] Przegląd Geologiczny, vol. 62, nr 10/2, 2014, s. 1-5.
- [8] System Detector Duo: Instrukcja obsługi, IDS Ingegneria Dei Sistemi S.p. A. N., 2007.
- [9] www.geoportal.gov.pl [dostęp 15.04.2015 r.].

AN ATTEMPT TO APPLY GROUND-PENETRATING RADAR FOR CONTAMINATED ZONES LOCALIZATION

Summary

In the article an utilization analysis of GPR method for contaminated zones localization was accomplished. GPR is a non-invasive method allowing for the identification of shallow geological structures, monitoring of the processes occurring in the soil, void detection, as well as the localization of natural and anthropogenic objects within the geological medium. GPR has found wide application for solving problems related to environmental protection. The device is used to search for buried anthropogenic objects (barrels, tanks, etc.) as well as for the determination of both, pollution zone boundaries (organic and inorganic leaks), and the contaminated soil remediation efficiency. Authors ask themselves if with GPR help is it possible to determine depth of deposited waste as well as thickness of stratum reclamation ground. In the paper were presented results of GPR measurements executed on terrain of former waste dump located on borders of Krosno city. The landfill was used for 14 years (1970-1984). No data on the weight or morphology of the waste deposited in the landfill is available. Currently, the post-landfill area is used as a wasteland and a sports field. Detector Duo radar system (IDS, Italy) was used for the measurements. The GPR works with two antennas at frequencies of 250 MHz and 700 MHz. With the GPR help it was impossible to specify a kind of deposited waste, but it is possible to determine profile of contaminated zone and stratum reclamation. The GPR method may be used for a preliminary identification of degraded areas, taking into account the environmental factors in the investigated area.

Keywords: GPR technique, diagnosis, waste dump, reclamation

Przesłano do redakcji: 30.05.2015 r.

Przyjęto do druku: 30.10.2015 r.

DOI: 10.7862/rb.2015.119