

Wojciech IRMIŃSKI\*, Mirosław MUSIATEWICZ\*\*

\*Państwowy Instytut Geologiczny, Warszawa

\*\*Przedsiębiorstwo Badań Geofizycznych, Warszawa

## **ROLA BADAŃ GEORADAROWYCH W PLANOWANIU I EKONOMIZACJI PROCESU SANACYJNEGO NA ZANIECZYSZCZONYCH TERENACH POPRZEMYSŁOWYCH**

**Streszczenie.** Testowe badania georadarowe w Bydgoszczy na terenie zanieczyszczonym przez Starą Gazownię wykazały skuteczność tej metody do wykrywania nieczynnych instalacji podziemnych oraz kartowania plam zanieczyszczeń gruntu smołami pogazowymi. Może być to szybki i ekonomiczny sposób wspomagania procesu sanacji na terenach dawnych gazowni.

## **THE ROLE OF GEORADAR INVESTIGATIONS IN THE PLANNING AND ECONOMIZING OF REMEDIATION PROCESS ON THE CONTAMINATED BROWNFIELDS**

**Summary.** Testing georadar investigation in Bydgoszcz in the old gas-works contaminated area indicated efficacy of this method for detection of the inoperative subterranean installation and mapping of the ground contamination with distillations tar. It may be fast and economically efficient way for assist the remediation process on the former gas-works areas.

### **1. Wstęp**

W wyniku prac badawczych prowadzonych przez Państwowy Instytut Geologiczny na terenie Starej Gazowni w Bydgoszczy w latach 2001-2003 wykryto wysokie stężenia wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) oraz węglowodorów z grupy BTEX w gruncie oraz w wodach podziemnych [1,2]. Zastosowanie metody imisyjnych pompowań testowych (IPT) pomogło wskazać azymuty wędrówki skażeń z wodami

podziemnymi, jak też zwiększyło prawdopodobieństwo odnalezienia ukrytych pod ziemią i zupełnie nieznanymi dotąd ognisk zanieczyszczeń [3]. Część kontaminantów, które są pozostałością stosowanego dawniej procesu uzyskiwania gazu świetlnego z węgla kamiennego, pochodzi ze starych, odciętych już i nieczynnych instalacji podziemnych. Lokalizacja byłych zbiorników, rurociągów i fundamentów dokonana w wyniku kwerendy archiwalnej jest trudna z uwagi na ponad 140-letni okres istnienia gazowni [6], liczne etapy rozbudowy i przenoszenia linii technologicznych, a także luki w zasobach archiwów. Część zanieczyszczeń pochodzi jednak ze smół pogazowych, które bądź wydostały się z nieszczelności w zbiornikach, bądź zostały wprost zakopane w dołach ziemnych na terenie zakładu z zamiarem „niekłopotliwego” pozbycia się tych toksycznych odpadów. W tym wypadku materiały historyczne nie mogą już pomóc, bo zwykle nie dokumentowano takich nielegalnych praktyk, a większość świadków tych zdarzeń, pracowników dawnej gazowni, już nie żyje.

Proces sanacji terenu przemysłowego, po uprzednim określeniu dróg migracji zanieczyszczeń i wskazaniu ich ognisk (zakopane odpady, nieszczelności, stare zbiorniki itp.), prowadzi do usunięcia z gruntu lub zablokowania szkodliwych substancji. Metoda ekskawacji z całej powierzchni działki zakładu ok. 1-, 3-metrowej warstwy gruntu o bardzo zróżnicowanym stopniu zanieczyszczenia jest absolutnie nieekonomiczna oraz w zasadzie nieprzyjazna dla środowiska, ponieważ znacznie zwiększa ilość niepotrzebnie składowanej ziemi na specjalnych składowiskach. By tego uniknąć i zmniejszyć ilość przemieszczanego gruntu, zminimalizować transport, czas pracy koparek itp., a zapewnić maksimum bezpieczeństwa robotnikom, konieczne jest wykartowanie znajdujących się pod ziemią starych instalacji, także tzw. „dzikich” przewodów, zweryfikowanie map inwentaryzujących infrastrukturę podziemną.

## **2. Pozycja badań geofizycznych w procesie sanacji środowiska gruntowo-wodnego**

Tego typu rozpoznanie może być wykonane szybko i dokładnie przy wykorzystaniu metod geofizycznych. Zwłaszcza w sytuacjach, gdy informacja o lokalizacji takich obiektów okazuje się być niekompletna lub mało wiarygodna (warto wspomnieć, że mapy dla celów projektowych, które są - zgodnie z obowiązującymi w geodezji przepisami i procedurami - aktualizowane na bieżąco w ośrodkach dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej, w dużej

części przypadków zawierają błędy i niedokładności co do rzeczywistej lokalizacji obiektów infrastruktury technicznej uzbrojenia terenu). Wykorzystanie narzędzi geofizycznych pozwala na szybką, obiektywną i stosunkowo niedrogą weryfikację takiej informacji.

Rozpoznanie geofizyczne przestrzeni zanieczyszczonych może być prowadzone różnymi metodami. Z uwagi na zakres stosowalności odpowiedni dla każdej z metod, a co za tym idzie jej skuteczność, wybór metody badawczej jest uzależniony od warunków lokalnych oraz rodzaju problemu, który należy rozwiązać. Najczęściej w takich przypadkach stosowane były dotychczas metody rozpoznania elektrooporowego, w wersji profilowania elektrooporowego (**PE**), rzadziej pionowych sondowań elektrooporowych (**SGE**) oraz metoda elektromagnetyczna (badania konduktometryczne – profilowania **PEM**). W ostatnich latach coraz częściej i z dużo wyższą skutecznością wykorzystywane są najnowsze narzędzia geofizyczne, a mianowicie tomografia elektrooporowa (**ERT**) oraz profilowania georadarowe (**GPR**). Metody te pozwalają na quasi-ciągłe prowadzenie rozpoznania środowiska gruntowo-wodnego zarówno w pionie, jak i w poziomie.

Badania geofizyczne wykonywane z powierzchni gruntu mają dodatkową zaletę, że są badaniami nieinwazyjnymi. Ich wykonanie nie tylko nie narusza już istniejącego stanu środowiska gruntowo-wodnego, ale również powierzchni gruntu. Mogą być wykonane w sytuacjach, gdy powierzchnia gruntu jest pokryta kostką brukową, asfaltem, betonem itp.

W procesie sanacji środowiska najbardziej efektywne wydaje się wykorzystanie badań geofizycznych na etapie prowadzonego rozpoznania. Umożliwią one detaliczną rozpoznania przestrzeni skażonych lub zanieczyszczonych, prowadzonego metodami tradycyjnymi (punktowe sondowania). Mogą być również z powodzeniem wykorzystane jako narzędzia monitoringowe postępu procesu rekultywacji.

Wadą metod geofizycznych jest fakt, że nie zawsze rezultaty badań bywają jednoznaczne. Jeśli w procesie interpretacji brak jest wiarygodnych informacji stanowiących punkty odniesienia dla interpretatora, wówczas konieczna może okazać się weryfikacja wyników i ewentualna ich reinterpretacja. Często skuteczne może okazać się badanie kompleksowe wykonane z wykorzystaniem dwóch, a nawet trzech metod geofizycznych. Kompleksowa geofizyka pozwala na eliminację większości niejednoznaczności powstałych w efekcie interpretacji pomierzonych i przetworzonych wyników badań.

### 3. Charakterystyka metody georadarowej (GPR) w prospekcji środowiska gruntowo-wodnego

W omawianym przypadku do wykonania rozpoznania geofizycznego na terenie Starej Gazowni w Bydgoszczy zastosowano metodę georadarową. Idea badań geofizycznych z użyciem systemów georadarowych opiera się na zjawisku odbicia fal elektromagnetycznych o wysokich częstotliwościach, emitowanych za pomocą specjalnych anten nadawczych w głąb ośrodka geologicznego. Odbite fale są odbierane przez antenę odbiorczą i rejestrowane przy użyciu odpowiednio skonfigurowanych systemów rejestracji. Tłumienie energii, zmiana fazy i częstotliwości oraz czas powrotu odbitej fali radarowej zależą od parametrów elektrycznych ośrodka, z których główną rolę odgrywa stała dielektryczna. Skokowe zmiany wartości stałej dielektrycznej tworzą w gruncie horyzonty refleksyjne. Refleksy fal, po odpowiednim przetworzeniu zarejestrowanego zapisu falowego, są widoczne w postaci miejsc zgodności faz fali odbitej pod kolejnymi punktami wzbudzenia i odbioru. Zmiany w strukturze i wykształceniu gruntu prowadzą do zmian własności dielektrycznej ośrodka, a co za tym idzie - zmian w rejestrowanym obrazie falowym. Interpretacja przetworzonego obrazu falowego pozwala na identyfikację i lokalizację stref zmienności ośrodka geologicznego.

Zasięg prospekcji georadarowej jest uzależniony od trzech głównych czynników: mocy i częstotliwości nominalnej anteny nadawczej oraz oporności elektrycznej (przewodnictwa elektrycznego gruntu) badanego ośrodka. Im mniejsza częstotliwość anteny nadawczej, tym większa jest głębokość penetracji i odwrotnie. Z kolei, im mniejsza jest oporność elektryczna gruntu, tym zasięg głębokościowy jest mniejszy. W skrajnie niekorzystnych przypadkach gruntów niskooporowych (miększe warstwy glin, ilów, namulów, a także w obecności gruntów nasypanych) tłumienie fali elektromagnetycznej może być tak duże, że zasięg głębokościowy prospekcji może nie przekraczać kilku metrów, a nawet kilkunastu centymetrów.

Metoda ta w sprzyjających warunkach pozwala na lokalizowanie pod powierzchnią gruntu różnorodnych obiektów, w tym obiektów infrastruktury technicznej, pozostałości dawnych fundamentów itp. Zaletą metody jest jej zdolność do wykrywania obiektów nie tylko metalowych, ale również zbudowanych z różnych materiałów, takich jak drewno, PCV, cegła, beton, a więc obiektów niewykrywalnych metodami elektrycznymi czy magnetycznymi. Dodatkową zaletą jest również fakt, że badania georadarowe w sprzyjających warunkach umożliwiają bezpośrednie śledzenie stref skażenia gruntu węglowodorami. Pozytywne wyniki takich badań opisywano wielokrotnie w literaturze

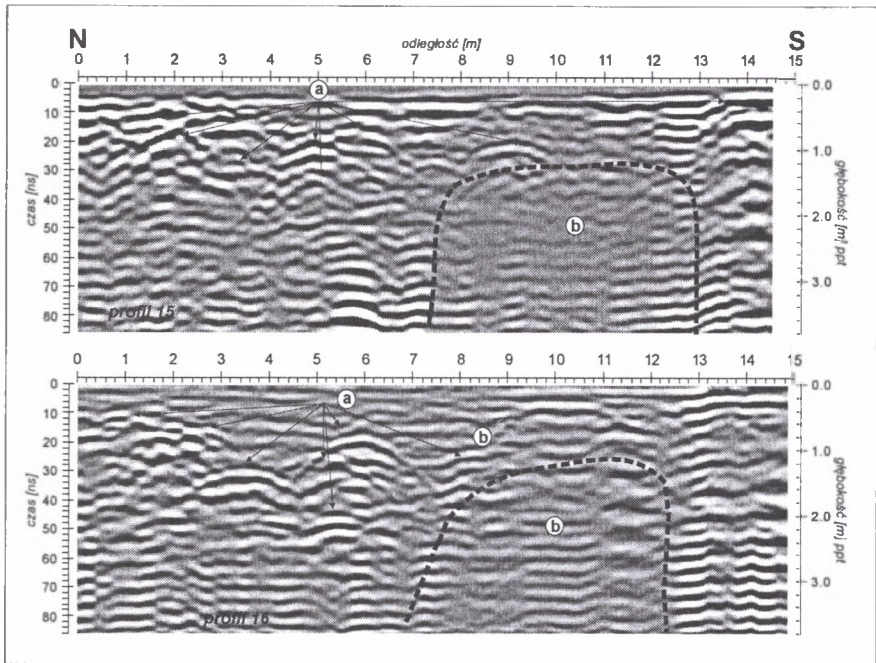
światowej [4]. W kraju badania nad zastosowaniem georadaru do wykrywania skażeń produktami ropopochodnymi prowadzone były przez H. Marcaka [5]. W strefach nasycenia gruntu węglowodorami, na przekrojach georadarowych obserwowane są zmiany obrazu falowego w stosunku do otoczenia nieskażonego. Jednak charakter tych zmian bywa różny i zależy od lokalnej budowy geologicznej, lokalnego stanu parametrów fizycznych ośrodka, rodzaju i stopnia zanieczyszczenia węglowodorami [4]. Fakt ten stwarza poważne trudności interpretacyjne.

Należy jednak podkreślić, że właściwa metodyka wykonania badań za pomocą georadaru, doświadczenie w przetwarzaniu danych georadarowych oraz umiejętna interpretacja zapisu georadarowego w rejonach, w których wiadomo, że skażenie występuje, pozwala na lokalizowanie i okonturowanie przestrzeni skażonych, które po prostej kontroli klasycznym sondowaniem okazują się być ogniskami zanieczyszczeń. Na obszarze Starej Gazowni są to strefy przemieszczania się smół pogazowych w gruncie lub zakopane dawniej odpady poprodukcyjne.

#### **4. Metodyka i wyniki badań georadarowych z obszaru Starej Gazowni w Bydgoszczy**

Ogółem na wybranym fragmencie terenu Starej Gazowni w Bydgoszczy wykonano 31 profilowań georadarowych za pomocą impulsowego georadaru RAMAC GPR prod. szwedzkiej firmy MalaGeoscience. Profilowania wykonane zostały w układzie równoległych profili, wytyczonych w odstępach co 2 m. W omawianym przypadku w badaniach wykorzystano system anten z anteną nadawczą o częstotliwości nominalnej emitowanej fali radarowej równej 250 MHz.

Wyniki wykonanych badań georadarowych okazały się bardzo obiecujące dla planowania procesu sanacji środowiska na terenie Starej Gazowni. Choć osiągnięta głębokość prospekcji była dość ograniczona i w lokalnych warunkach, z powodu obecności silnie tłumiących nasypów w wierzchniej warstwie gruntu z reguły nie przekraczała 3.5 m p.p.t., to po przetworzeniu zarejestrowanych danych, na obrazie falowym na poszczególnych profilach wyraźnie zaznaczyły się charakterystyczne refleksy (hiperbole fal dyfrakcyjnych) od obiektów infrastruktury technicznej, a także strefy zapisu mogące wskazywać na obecność w gruncie zanieczyszczeń (rys. 1).



Objaśnienia:

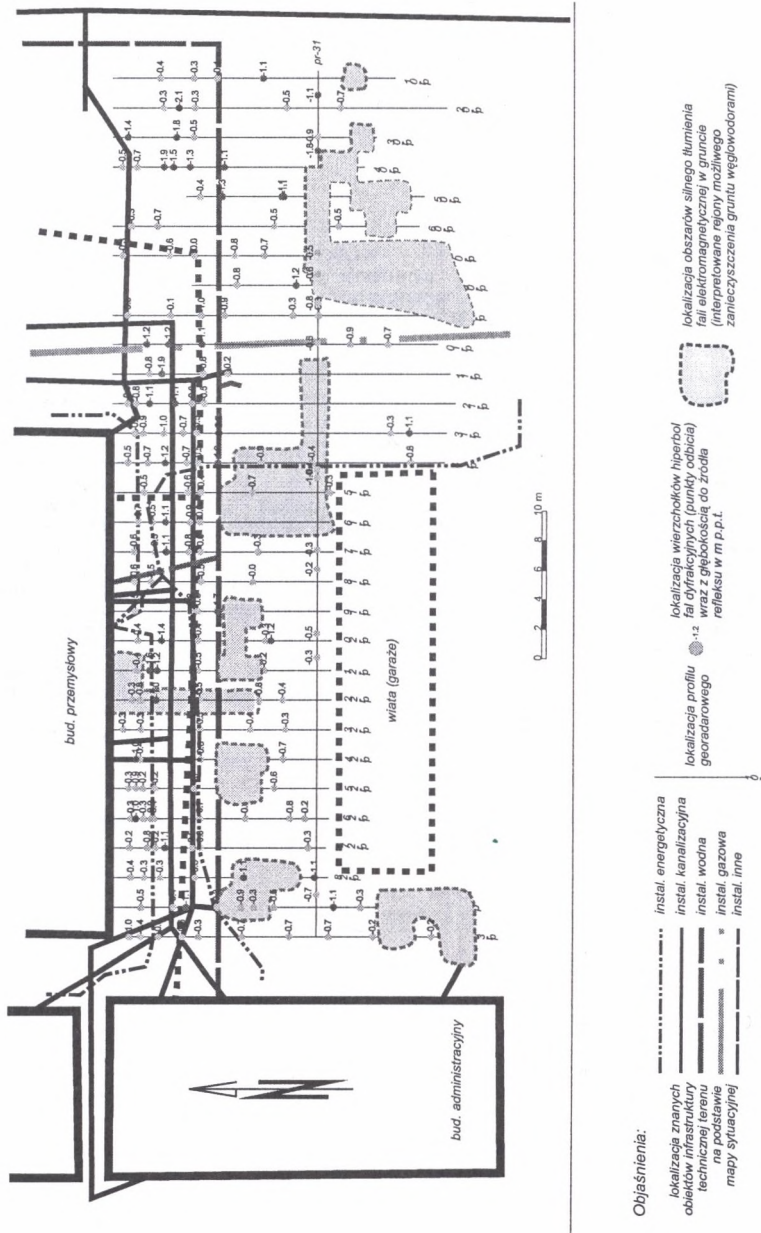
(a) - zapis fal dyfrakcyjnych



- strefy silnego tłumienia fali radarowej  
(interpretowane jako przestrzeń skażenia węglowodorami)

Rys. 1. Wyniki interpretacji przykładowych przekrojów georadarowych  
Fig. 1. Interpretation results of example GPR sections

Fale dyfrakcyjne powstają przy przemieszczaniu georadarowego systemu pomiarowego nad obiektami o niewielkich rozmiarach poprzecznych w odniesieniu do kierunku profilowania georadarowego. Hiperbole fal dyfrakcyjnych z poszczególnych profili można ze sobą korelować. Na przedstawionym szkicu sytuacyjnym (rys. 2) tworzą one ciągi refleksów odpowiadających lokalizacji i głębokości znanych i nieznanymi obiektów infrastruktury technicznej. Interpretacja wykonana została w oparciu o przekroje georadarowe z zapisem obrazu falowego po przetworzeniu systemem ReflexW (Sandmaier-Geo).



Rys. 2. Lokalizacja i wyniki testowych badań georadarowych na wybranym obszarze Starej Gazowni w Bydgoszczy  
 Fig. 2. Location and results of the test GPR survey at the area of Stara Gazownia in Bydgoszcz

## 5. Wnioski

Przedstawiony przykład geofizycznych prac testowych na przemysłowym terenie Starej Gazowni w Bydgoszczy wskazuje na szereg efektów płynących z zastosowania georadaru w planowaniu i prowadzeniu sanacji. Są to korzyści natury logistycznej, ekonomicznej oraz prośrodowiskowej (rys. 3).



Rys. 3. Korzyści zastosowania georadaru w planowaniu i prowadzeniu prac sanacyjnych  
Fig. 3. GPR application advantages in planning and performing remediation works

Zwiększenie liczby profilowań i zintensyfikowanie prac na niewielkim terenie musi też wpłynąć korzystnie na optymalizację kosztów tej metody badań.

Przedstawiony sposób dokumentowania zanieczyszczeń gruntów smołami pogazowymi może być wykorzystany przy badaniu setek dawnych obiektów przemysłowych (gazowni, koksowni, nasycalni), gdzie wady technologii oraz ludzka bez troska spowodowały przedostanie się do środowiska gruntowo-wodnego niekiedy znacznych ilości tych niebezpiecznych i kancerogennych związków organicznych.



## LITERATURA

1. Bojakowska I., Irmiński W., Koniecznyńska M., Gliwicz T.: Groundwater investigation in the old gas-works area in Bydgoszcz (Poland). Mat. Konf. finałowej projektu UE INCORE, Stuttgart 2003.
2. Irmiński W., Koniecznyńska M.: Badania zanieczyszczeń przemysłowych na przykładzie terenu Starej Gazowni miejskiej w Bydgoszczy. Zeszyty Nauk. Pol. Śl, Górnictwo z.256, Gliwice 2003, str. 109-115.
3. Koniecznyńska M., Irmiński W., Gzyl G.: Problemy zarządzania zanieczyszczonymi wodami podziemnymi w Europie – projekt INCORE jako strategia postępowania. Mat. Konf. Współczesne Problemy Hydrogeologii, t. XI, cz. 2, Gdańsk-Jastrzębia Góra 2003, str. 427-431.
4. Krynicki T.: Zastosowanie wybranych metod geofizycznych w badaniach skażeń i zanieczyszczeń ośrodka wodno-gruntowego. Oprac. studium literaturowego dla Biblioteki Zbiorów Geofizycznych PBG, Warszawa 2003,.
5. Marczak H.: Ekspertyza naukowa nt: Badanie zanieczyszczeń środowiska gruntowo-wodnego substancjami ropopochodnymi przy zastosowaniu metod geofizycznych (ze szczególnym uwzględnieniem metody georadarowej). Oprac. na zamówienie Ministra Środowiska, Kraków 2003.
6. Orłowski R.: Historia Gazowni Bydgoskiej. [w:] Mat. Międzynar. Konf. Nauk.-Techn. „Tereny przemysłowe a środowisko gruntowo-wodne – badania, zarządzanie, ryzyko”. Bydgoszcz 2003.

Recenzent: Dr hab. inż. Marek Pozzi, prof. Politechniki Śl.