



ZASTOSOWANIE BADAŃ I POMIARÓW GEOFIZYCZNYCH W OCHRONIE ELEKTROCHEMICZNEJ

APPLICATION OF GEOPHYSICAL SURVEYS AND MEASUREMENTS IN ELECTROCHEMICAL PROTECTION

Paweł Pomianowski, Roman Rogowski, Michał Rudzki
Geofizyka Toruń Sp. z o.o., 87-100 Toruń, ul. Chrobrego 50

Słowa kluczowe: korozja, badania geofizyczne, ochrona elektrochemiczna
Keywords: corrosion, geophysical surveys, electrochemical protection

Streszczenie

W artykule przedstawiono możliwości zastosowania badań geofizycznych w problematyce związanej z szeroko rozumianą ochroną elektrochemiczną konstrukcji metalowych. Szczególną uwagę zwrócono na różne warianty metod geoelektrycznych: metodę elektrooporową, metodę elektromagnetyczną oraz metodę tomografii elektrooporowej. Skróceniwo przedstawiono istotę omawianych metod, jak również podano przykłady ich zastosowania. Wskazano na celowość stosowania metod geofizycznych dla oceny agresywności korozyjnej gruntu oraz w trakcie projektowania i wykonywania uziołów anodowych ochrony katodowej.

Summary

The paper outlines the possibilities of application of geophysical surveys for the problems connected with the electrochemical protection, in a broad sense. A special emphasis is placed on the various types of electrical surveys: direct current, electromagnetic and electrical resistivity tomography methods. A short characteristic of the mentioned methods is given, together with the sample measurement results. The usefulness of application of geophysical methods in the ground corrosivity assessment and in the deep anode groundbeds planning is emphasized.

Wstęp

Badania geofizyczne, jako środek oceny parametrów fizycznych ośrodka gruntowego, znajdują szerokie zastosowanie w problematyce ochrony elektrochemicznej podziemnych konstrukcji stalowych (zbiorniki podziemne, rurociągi i gazociągi, otwory eksploatacyjne itp.). Dotyczy to zwłaszcza takich zagadnień jak ocena agresywności korozyjnej gruntu oraz projektowanie głębokich i płytkich uziomów anodowych ochrony katodowej. W wielu wypadkach metody geofizyczne są jedynym środkiem rozpoznania przestrzennego rozkładu określonych parametrów fizycznych i geologicznych ośrodka, będącym w stanie dostarczyć żądanej informacji w sposób szybki i efektywny ekonomicznie, jednocześnie zachowując wymaganą dokładność rozpoznania.

Badania geofizyczne w ocenie agresywności korozyjnej gruntu.

Środowisko gruntowe, w którym układane są rurociągi i inne konstrukcje stalowe ma zasadniczy wpływ na procesy korozyjne, którym te konstrukcje ulegają. Tak więc przy projektowaniu trasy rurociągu oraz jego instalacji ochrony katodowej niezbędne jest określenie stopnia zagrożenia korozyjnego ośrodka gruntowego na poszczególnych odcinkach jego przebiegu. Zagadnienie to jest również ważne w przypadku istniejących konstrukcji.

Agresywność korozyjna gruntu określana jest przede wszystkim na podstawie jego rezystywności, a także pH gruntu, aktywności korozyjnej oraz składu chemicznego.

Jedną z metod wyznaczania rezystywności gruntu jest metoda elektrooporowa. Metoda ta wykorzystuje zróżnicowanie ośrodka gruntowego w polu stałego prądu elektrycznego. Za pomocą odpowiedniego układu geometrycznego zagłębionych w gruncie elektrod uzyskuje się włączenie ośrodka w obwód prądu, po czym wykonuje się pomiar jego parametrów (napięcie i natężenie). Następnie pomierzone wielkości oraz cechy geometryczne układu elektrod służą do wyliczenia tzw. oporności pozornej (w pewnym sensie zbiorczej oporności układu warstw geologicznych w zasięgu pola elektrycznego).

Metoda ta w wariantach profilowań elektrooporowych stanowiła dotąd podstawowe narzędzie do badań rezystywności ośrodka gruntowego w strefie przypowierzchniowej.

Wykorzystanie metody profilowania geoelektrycznego w odniesieniu do możliwości współczesnych metod i przyrządów ma jednak bardzo wiele wad. Ze względu na długi czas pomiaru, związany każdorazowo z koniecznością rozwinięcia a następnie zwinięcia całego układu pomiarowego, pomiary wykonywane są z krokiem rzędu kilkuset metrów. Bez względu na dalszą obróbkę danych pomiarowych oznacza to, że na ponad 90% długości profilu w istocie nie ma żadnych wiarygodnych informacji o rezystywności gruntu. Ponadto pomiary często bywają obciążone błędem wynikającym z różnych oporności przejścia elektroda-grunt, a także polaryzacji elektrod.

Alternatywą dla profilowania elektrooporowego jest metoda elektromagnetycznego (indukcyjnego) pomiaru przewodności elektrycznej gruntu (profilowanie elektromagnetyczne).

Współczesne konduktometry (rys.1.) są pracującymi w domenie czasu przyrządami do zdalnego pomiaru oporności elektrycznej gruntu i skał. Pracują one na zasadzie

pomiaru wtórnego pola magnetycznego, indukowanego w ośrodku gruntowym przez uzwojenie pierwotne przyrządu. Z reguły możliwość zmiany orientacji cewek pozwala na wybór jednej z dwóch możliwych głębokości penetracji (np. 3 lub 6 metrów). Dodatkowy pomiar przesunięcia fazowego badanego pola jest wysoce użyteczny w wykrywaniu obiektów metalowych. W trakcie pomiarów w terenie dane z rejestratora są przesyłane do komputera w celu natychmiastowej oceny jakości rejestracji, wprowadzenia niezbędnych poprawek, wizualizacji i archiwizacji danych. Istnieje również możliwość sprzężenia miernika z odbiornikiem GPS i dokumentowania trasy pomiarowej.



Rys.1. Konduktometr EM31-MK2

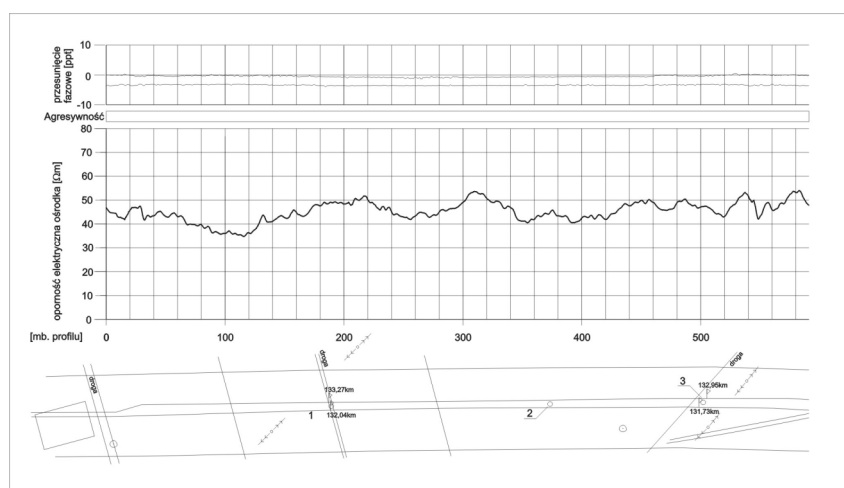
W porównaniu do metody elektrooporowej, metoda elektromagnetyczna posiada wiele zalet. Przede wszystkim jest to pomiar ciągły (rys.2), co gwarantuje dużą dokładność wyznaczenia granic ośrodków o różnej rezystywności. Jest to jednocześnie szybka metoda pomiarowa. Pomiary charakteryzuje ponadto znacznie większa dokładność, mniejsza wrażliwość na małe przypowierzchniowe niejednorodności w budowie ośrodka gruntowego, brak problemu zmian oporności przejścia elektroda-grunt (brak fizycznego kontaktu przyrządu z gruntem) oraz duża efektywność.

W miejscach gdzie badania konduktometryczne udokumentują obecność strefy o niskiej rezystywności może zaistnieć potrzeba zebrania dodatkowych, bardziej precyzyjnych informacji o własnościach fizyko – chemicznych ośrodka gruntowego. W szczególności istotna może okazać się znajomość zmiany rezystywności w profilu pionowym oraz możliwość poboru prób gruntu dla zbadania takich parametrów jak: pH, aktywność korozyjna oraz skład chemiczny.

Badania tego typu prowadzić można np. przy użyciu samobieżnej, wielofunkcyjnej sondy pomiarowej.

Pomiary oporności elektrycznej gruntu w profilu pionowym polegają na mechanicznym zagłębieniu w grunt końcówki pomiarowej wyposażonej w sondę elektryczną o odpowiedniej ilości i rozłożeniu elektrod. Końcówka pomiarowa połączona jest kablem ze znajdującą się na powierzchni terenu aparaturą rejestrującą. Odczyty oporności elektrycznej gruntu dokonywane są przez komputer, wyposażony w specjalne oprogramowanie. Odczytywana wartość oporności elektrycznej jest odnoszona do aktualnej głębokości sondy, rejestrowanej automatycznie przez odpowiedni układ pomiarowy. W ten sposób powstaje wykres zależności oporności elektrycznej gruntu od głębokości, uzupełniony o wykres zależności prędkości chwilowej zagłębienia sondy od głębokości (rys.3).

Dużą zaletą metody jest jej rozdzielczość pionowa, wynosząca 2 cm, niezależnie od głębokości, co jest niemożliwe do osiągnięcia jakąkolwiek geofizyczną metodą powierzchniową. Umożliwia to wydzielenie w profilu nawet bardzo cienkich przewarstwień, a zarazem dokładne określenie "in situ" wartości ich przewodności elektrycznej. Ważną zaletą jest również duża szybkość wykonywania pomiarów - pomiar na jednym punkcie zajmuje tylko kilka do kilkunastu minut. Metoda ta idealnie nadaje się do badań uzupełniających, weryfikujących ciąglej pomiar konduktometryczny.



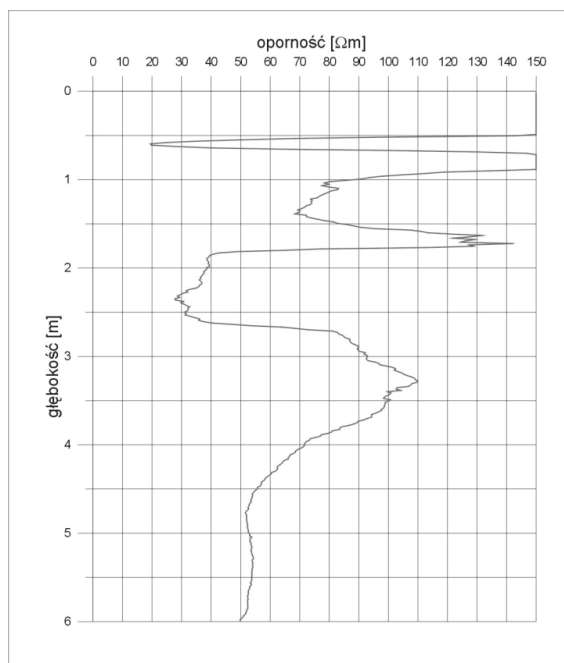
Rys 2. Przykład wyników elektromagnetycznego profilowania oporności na trasie istniejącego gazociągu

Po zmianie końcówki urządzenie umożliwia pobór prób gruntu, wód gruntowych i powietrza gruntowego. Próby gruntu pobierane są za pomocą specjalnych próbników, otwieranych na żądanej głębokości, do specjalnych plastikowych pojemników, co zapewnia zachowanie nienaruszonej struktury i wilgotności gruntu oraz chroni próbkę przed kontaktem z obcymi mediami. Próby wody i powietrza gruntowego pobierane są z określonej głębokości do pojemników laboratoryjnych w sposób wykluczający obecność obcych zanieczyszczeń.

Proponowana przez nas metodyka określania agresywności korozyjnej gruntu obejmuje zatem sekwencję kilku rodzajów badań, które razem tworzą następujący proces pomiarowy:

- wykonanie ciągłego pomiaru rezystywności wzdłuż wytyczonej trasy na głębokościach penetracji 3 i/lub 6 metrów. Już w trakcie pomiaru wyznaczane są na bieżąco strefy o obniżonej rezystywności, które mogą kwalifikować się do szczególnych badań,
- wykonanie badań penetrometrycznych zmian rezystywności w profilu pionowym w punktach wytypowanych i uzgodnionych z inwestorem,
- pobranie prób gruntu z wytypowanych punktów do dalszych badań fizyko - chemicznych.

Należy wyraźnie podkreślić, że już realizacja prac pierwszego etapu daje wyniki nieporównanie dokładniejsze od wyników uzyskiwanych przy zastosowaniu metody profilowań elektrooporowych. W wielu wypadkach będą one zupełnie wystarczające dla oceny zagrożenia korozyjnego ze strony ośrodka gruntowego.



Rys. 3. Przykład wyników penetrometrycznego profilowania oporności gruntu

Badania geofizyczne w projektowaniu uziomów anodowych ochrony katodowej.

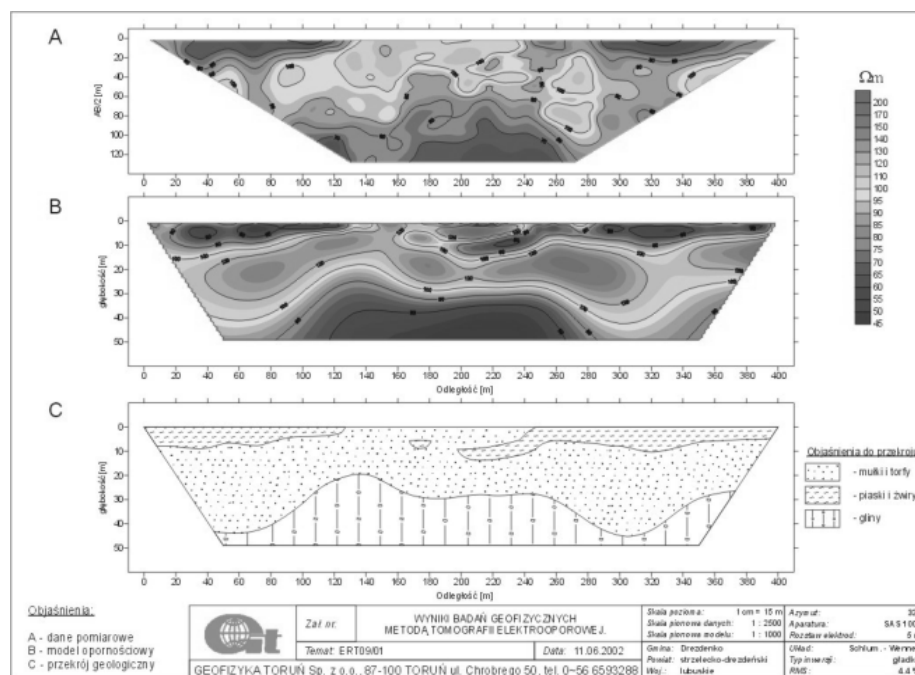
Umieszczenie anod w niskooporowych warstwach gruntu jest podstawowym warunkiem prawidłowego wykonania uziumu. Dlatego też zarówno na etapie lokalizacji, jak i wykonania głębokiego uziumu anodowego niezbędna jest znajomość parametrów elektrycznych ośrodka.

Podstawowymi badaniami geofizycznymi, wykonywanymi dla celów projektowania uziomów anodowych ochrony katodowej, są badania geoelektryczne oraz badania geofizyki wiertniczej (wykonywane w otworach wiertniczych).

Badania geoelektryczne wykonywane są najczęściej metodą elektrooporową w wariacie sondowań. Istotą pionowego sondowania geoelektrycznego (PSG) jest wykonanie pomiarów oporności pozornej warstw geologicznych przy wzrastającej głębokości wnikania linii prądowych pola elektrycznego, poprzez zwiększenie rozstawu elektrod zasilających (AB/2). Wynikiem sondowania jest krzywa PSG odzwierciedlająca zmiany oporności pozornej i sposób ułożenia warstw gruntu znajdującego się w zasięgu pola elektrycznego.

Krzywą PSG poddaje się następnie komputerowej interpretacji, w wyniku której określa się parametry fizyczne profilu geoelektrycznego (ilość warstw, ich miąższość i oporność właściwą), a także związek tego profilu z odpowiednimi elementami budowy geologicznej.

W pewnych przypadkach może zachodzić konieczność uzyskania bardziej przestrzennego obrazu rozkładu oporności rzeczywistej w ośrodku gruntowym. Do tego celu idealnie nadają się badania metodą tzw. tomografii elektrooporowej, będącej ogromnym skokiem jakościowym i ilościowym w badaniach elektrooporowych.



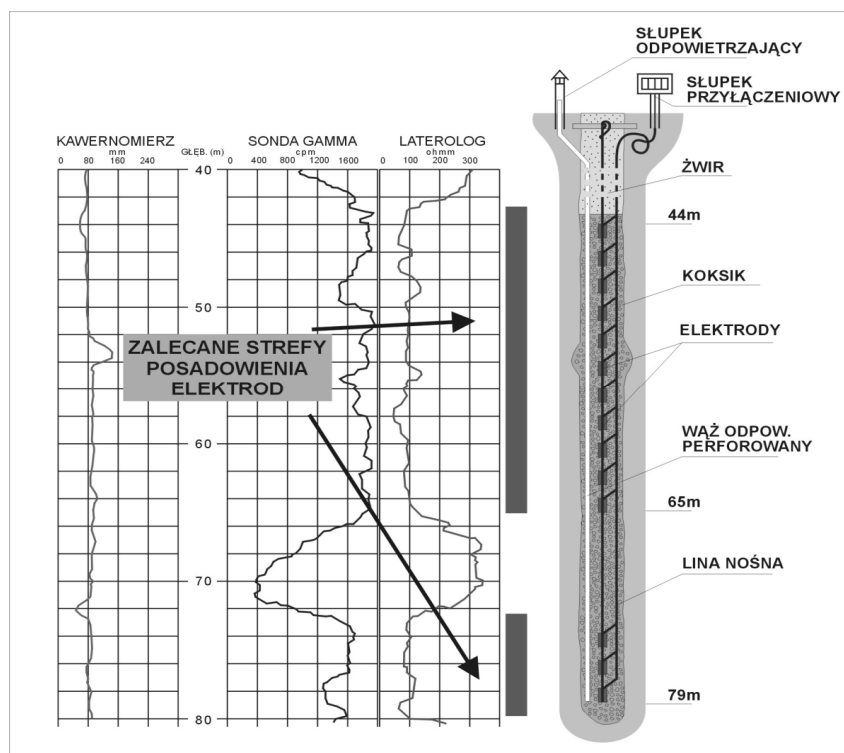
Rys. 4. Przykład wyników badań geofizycznych metodą tomografii elektrooporowej

Metoda tomografii elektrooporowej polega na rozmieszczeniu dużej ilości elektrod pomiarowych wzdłuż linii profilu, w równych odległościach od siebie. Elektrody te podłączone są kablem wielożyłowym do jednostki centralnej, na którą składa się sterowany komputerem selektor elektrod oraz aparatura geoelektryczna, wyposażony w możliwość rejestracji cyfrowej pomiarów. Sekwencja pomiarów wykonywana jest na podstawie odpowiedniej ich listy, uprzednio wprowadzonej do pamięci komputera sterującego, możliwy jest zatem wybór dowolnego układu pomiarowego (a w szczególności najbardziej popularnych - Wennera, Schlumbergera, dipol-

dipol, itd.). W przypadku, gdy długość profilu przekracza maksymalną możliwą długość kabla, odpowiednia procedura pozwala na przeniesienie części elektrod z początku profilu na jego koniec i kontynuację pomiarów. Umożliwia to teoretycznie nieograniczoną długość profilu pomiarowego.

Interpretacja wyników badań polega na wykonaniu inwersji 2D wyników pomiarów, metodą różnic lub elementów skończonych. Procedura ta wykonywana jest iteracyjnie z założeniem minimalizacji błędu dopasowania. Wynikiem jej jest model opornościowy ośrodka odzwierciedlający dane polowe (rys.4). Model taki jest znacznie dokładniejszy niż w przypadku standardowych wariantów metody elektrooporowej, gdyż pozwala na interpretację danych pomiarowych w przestrzeni dwuwymiarowej (płaszczyzna przekroju pionowego).

W przypadku konstrukcji płytkich uziomów anodowych, przy zastosowaniu metody elektromagnetycznego zdjęcia powierzchniowego (określony teren pokrywa się regularną siatką profili pomiarowych), istnieje możliwość precyzyjnej oceny tego obszaru pod kątem możliwości budowy uziomów poziomych.



Rys. 5. Przykład wyników pomiarów geofizyki wiertniczej – kawernomierz, profilowanie gamma oraz sterowane profilowanie oporności (laterolog)

Po zlokalizowaniu i odwierceniu otworu wiertniczego, w którym zabudowany ma zostać zestaw anod, wykonywany jest w otworze zestaw pomiarów geofizyki wiertniczej. Głównym celem badań geofizyki wiertniczej jest dokładne określenie optymalnego miejsca zabudowy zestawu anodowego. Wyniki badań geofizycznych pozwalają także na obliczenie parametrów elektrycznych uziomu.

W celu wykonania badań geofizycznych w otworze z reguły używa się przenośnego systemu pomiarowego, specjalnie zaprojektowanego do otworów o niewielkiej średnicy. System składa się z rejestratora oraz bębna z kablem, znajdujących się na powierzchni, oraz zestawu przyrządów wgłębnych (sond).

Na zestaw pomiarów, pozwalających na dokładne zaprojektowanie rozmieszczenia anod w odwiercie, składają się (rys.5):

- profilowanie gamma (PG) – wykonywane w celu określenia granic rozdziału różnych warstw geologicznych oraz rozróżnienia pomiędzy warstwami piaszczystymi a ilastymi,
- sterowane profilowanie oporności (Post - laterolog) – wykonywane w celu określenia oporności elektrycznej poszczególnych warstw,
- profilowanie średnicy otworu (PŚr - kawernomierz) – wykonywane w celu dokonania korekty wyników powyższych profilowań ze względu na wpływ otworu oraz płuczki wiertniczej.

Wykonanie powyższego zestawu badań zapewnia najkorzystniejszą z punktu widzenia parametrów elektrycznych konstruowanego uziomu lokalizację zestawu anodowego w otworze wiertniczym.

Powyższy krótki przegląd metod geofizycznych wskazuje na ich dużą przydatność w ochronie elektrochemicznej.

Literatura

- [1] Dzwinel, J., 1978, *Geofizyka. Metody geoelektryczne*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa
- [2] Loke M.H., Pokar M., 1998, *Electrical resistivity tomography survey of a landfill site*, In: Proc. 4th EEGS Meeting (Casas, A., ed.), Barcelona, Spain, pp. 123-126
- [3] McAllister, E.W. (ed.), 1998, *Pipe line Rules of Thumb*, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, USA
- [4] Morgan, J., 1993, *Cathodic Protection*, National Association of Corrosion Engineers, Houston, Texas, USA
- [5] Stenzel, P., Szymanko, J., 1973, *Metody geofizyczne w badaniach hydrogeologicznych i geologiczno-inżynierskich*, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa.