



**RZECZYWISTA OCENA SKUTECZNOŚCI OCHRONY KATODOWEJ
STAŁOWYCH GAZOCIĄGÓW
Z PUNKTU WIDZENIA UŻYTKOWNIKA**

**REAL EVALUATION OF CATHODIC PROTECTION EFFECTIVENESS
OF STEEL GAS PIPELINES
FROM THE USER POINT OF VIEW**

Franciszek Mičko, SELOP, Ostrava
Republika Czeska

Słowa kluczowe: ochrona katodowa, skuteczność ochrony, gazociągi
Keywords: cathodic protection, effectiveness, gas pipelines

Streszczenie

Dążenie do możliwie najodpowiedniejszej oceny skuteczności ochrony katodowej rurociągów powszechne na świecie wynika z faktu, że ochrona przed korozją jest przede wszystkim przedsięwzięciem ekonomicznym. Świadczą o tym najróżniejsze rozważania, zalecenia techniczne, wytyczne, dyrektywy i normy. W pracy przeanalizowano potrzebę określania polaryzacyjnego potencjału w defekcie powłoki ochronnej na rurociągu. Krytycznie oceniono szereg metod określania skuteczności ochrony katodowej. Opisano wielozadaniowy przyrząd, będący kombinacją urządzenia do detekcji defektów w izolacji oraz pomiaru potencjału.

Summary

Pursuit of a possibly objective evaluation of the effectiveness of cathodic protection of pipelines is common in the world and results from the fact that anticorrosion protection is first of all an economic undertaking. Continuous studies, technical recommendations, and standards point to this. In the work the need has been analysed of determination of the polarisation potential in an anticorrosion insulation defect in a pipeline. A series of cathodic protection effectiveness evaluation methods has been critically evaluated. A multitask instrument has been described, combining advantages of devices for detection of insulation defects and measurements of potential.

Wprowadzenie

Dążenie do możliwie najodpowiedniejszej technicznie i naukowo do przyjęcia oceny skuteczności ochrony katodowej rurociągów jest powszechne na świecie i wypływa z faktu, że ochrona przed korozją jest przede wszystkim przedsięwzięciem ekonomicznym. Świadczą o tym najróżniejsze rozważania, studia, zalecenia techniczne, różne wytyczne, dyrektywy i normy [1]. Długotrwałe badania wykazały, że szybkość korozji w miejscach pod chronioną powłoką jest rzędu 1-10 mikrometrów na rok i nie zmniejsza się wraz ze zmianą potencjału na bardziej ujemny. Dlatego należy kontrolować i utrzymywać te parametry ochrony katodowej, które określają tę szybkość. Z mechanizmów kontrolnych jest to głównie poziom potencjału polaryzacyjnego i zapewnienie jego optymalnych granic w całym okresie zakładanej eksploatacji chronionego urządzenia.

Mechanizm kontroli skuteczności zainstalowanej ochrony katodowej

Dokładne określenie poziomu potencjału polaryzacyjnego w każdym miejscu rurociągu jest jak dotąd technicznie niemożliwe. Jednakże jest możliwe określenie wartości bardzo zbliżonych do rzeczywistych za pomocą kombinacji znanych metod z wykorzystaniem nowych technik pomiarowych, w większości wyposażonych już w nowoczesny sprzęt komputerowy. Ze wzrastającą jakością systemów izolacyjnych stosowanych do pasywnej ochrony rurociągów wzrasta w mierzonej wartości potencjału rurociąg – ziemia ta część, która nie uczestniczy w polaryzacji rurociągu, a więc jego ochronie. Jest to napięcie powstające przy przepływie prądu ochronnego przez rezystancję izolacji - tzw. spadek napięcia IR. Tylko potencjał pozbawiony zniekształcającej składowej IR, można uznać za potencjał uczestniczący we właściwej katodowej ochronie rurociągu i wyznaczający stopień korozyjnego ubytku materiału rurociągu.

Przyczyny znacznie ograniczające poziom mierzonego potencjału rurociąg – ziemia są np. w DIN 50 925 zestawione w tabelce. Jest ich 7. Metody są trzy:

1. technika wyłączeniowa, którą stosuje się w systemach chronionych katodowo, gdzie zastosowanie technik wyłączeniowych jest jednoznaczne,
2. technika pomiarów intensywnych, jeżeli potencjały wyłączające w miejscach pomiarów nie dostarczają dostatecznych informacji o stanie pomiędzy miejscami pomiarowymi,
3. pomiary potencjału zewnętrzną sondą pomiarową, które aktualnie są stosowane w sytuacjach miejscowego ograniczenia innych technik wynikającego z sytuacji terenowej (prądy błądzące itp. z zasady przy trakcji tramwajowej i kolejowej) [2].

W odróżnieniu od DIN 50 925 uważa autor [3] badania z zastosowaniem metody CIPS za zniekształcone, z dużą ilością błędów i kosztowne. Preferuje natomiast, rozwinięty w Wielkiej Brytanii, system analizy wad w izolacji PIM (Pipeline Integrity Management), który opiera się na 10 informacji wejściowych. System ten służy do określania priorytetu napraw izolacji.

Zawiera następujące elementy:

1. Położenie uszkodzenia (droga, pole, domy itp.),
2. Rozmiar wady i jej znaczenie (DCVG w % IR),
3. Kształt wady (DCVG),
4. Zachowanie korozyjne wady (DCVG, CIPS, U_z , U_w , ΔU itp.),

5. Rezystancja pozorna gruntu (obecnie uznaje się większą przewodność ziemi za bardziej agresywną korozyjnie. PIM uznaje grunt 10-20 ohm.m za średnio korozyjne, natomiast wg CSM 03 8375 są te grunty uznane za bardzo wysoko korozyjne).
6. pH gruntu (określa się wg kwasowości. Grunty kwaśniejsze są ogólnie groźniejsze.)
7. Interferencje (wywołane są stałoprądowymi systemami trakcyjnymi jak również oddziaływaniem zmiennoprądowych sieci WN).
8. Pomiary potencjałowe (przede wszystkim ocenia się poziom potencjału wyłączeniowego, co jest w obszarach występowania prądów błędzących bardzo utrudnione – a wręcz niemożliwe – dotyczy także kolejnego pkt. nr 9).
9. Określenie miejsca, z którego można chronić wadę (decyduje kryterium ekonomiczne czy tańsza będzie anoda galwaniczna czy mała SOK, lub odkrycie i naprawa uszkodzenia czy też wymiana części rurociągu),
10. Historia eksploatacji (analiza wszystkich informacji o awariach).

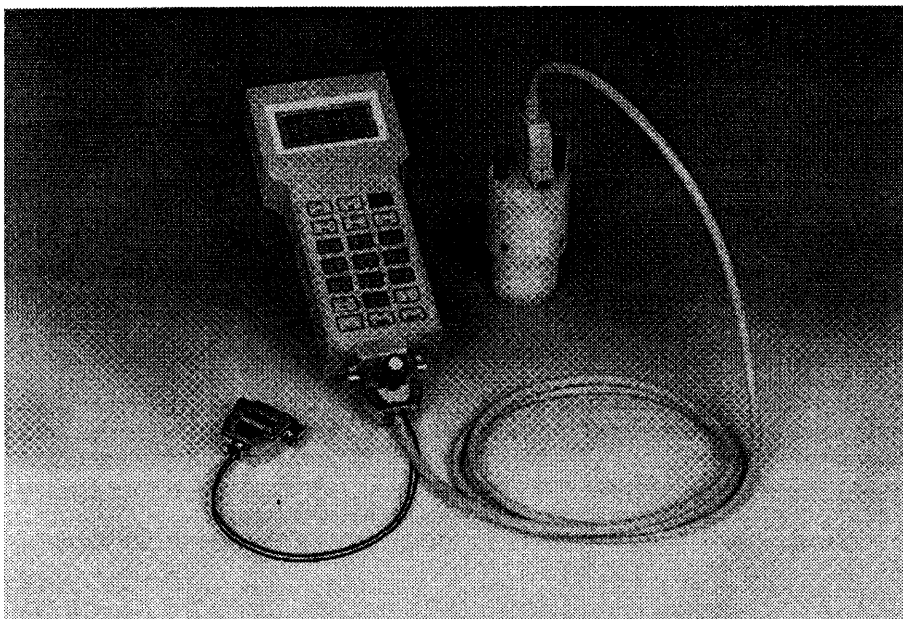
Nie ma wątpliwości, że absolutna większość właścicieli i zarządców sieci rurociągów rozdzielczych, jak również technicznych organów kontroli państwowych, stara się znaleźć nowe progresywniejsze procesy pomiarów i sposoby ich szybkiego wykorzystania. Jeżeli ocenimy obecne metody i procesy oceny skuteczności ochrony katodowej, to mają one jedną cechę wspólną. Jest nią lokalizacja wszystkich wad w izolacji rurociągu i określenie poziomu ich aktywnej ochrony. Dlatego w pierwszym rzędzie należy zastosować przede wszystkim taką metodę, która wskaże wszystkie wady w izolacji.

Wykrywanie wad w izolacji rurociągu i ich pomiary

Możliwie jak najszybciej, jednakże nie później niż do dwóch lat po ułożeniu rurociągu do ziemi i zasypaniu, koniecznym jest odnaleźć, oznaczyć, ewentualnie zlokalizować i naprawić wszystkie uszkodzenia w izolacji rurociągu. W Republice Czeskiej najczęściej stosowaną metodą do lokalizacji wad w izolacji rurociągów jest zmiennoprądowa metoda Pearsona (PM). Realizowana jest zazwyczaj przy pomocy przyrządu Seba Dynatronic, Hermann Sewerin lub Radiodetection. Dawniej był także stosowany brytyjski C-Scan (obecnie popularny w Rosji). Metodę Pearsona można stosować przede wszystkim na rurociągach przesyłowych. W terenach zabudowanych (miasta, obiekty przemysłowe itp.) stosowanie jej jest ograniczone.

Stałoprądowe metody są w czeskim gazownictwie stosowane tylko sporadycznie. I tylko techniką DCVG. Pomiarowa zdolność tej metody jest w zasadzie większa od metody PM, jednakże uzależniona jest od osobistych zdolności technika pomiarowca, co zawsze ogranicza granice obiektywizmu. Należy tu również metoda CIPS. Także ta metoda ma swoje niedogodności, w których dominują obszary z występowaniem prądów błędzących, oraz mnóstwo niepotrzebnych, tą metodą uzyskanych informacji, zależnych jedynie od zmian przewodności i rezystywności gruntu.

Powstaje uzasadnione pytanie. Jaką ekonomicznie uzasadnioną metodą lokalizować i sprawdzać wady w izolacji rurociągów? W obecnej dobie możliwe jest zastosowanie kombinacji kilku metod. Na przykład: PM i CIPS, PM i IFO, IFO i CIPS, CIPS i DCVG lub PM, CIPS, IFO i DCVG ewentualnie w zestawieniu z C-Scanem. Mam coraz większe przekonanie, że własną, szybką i jeżeli to możliwe najprostszą metodą muszą dopiero znaleźć. Już teraz proponuje się nam kilkanaście rozwiązań. Jednym z nich jest wykorzystanie do eksploatacji specjalnego przyrządu korozyjnego – MIRIAN.



Rys. 1. Przyrząd Mirian z multiczujnikiem do określania potencjału polaryzacyjnego.

Natychmiastowe zastosowanie kilku procesów umieszczonych w wielozadaniowym przyrządzie pomiarowym Mirian, umożliwia w praktyce jednym urządzeniem zlokalizowanie wady (modyfikacją trzech stałoprądowych metod, między innymi także IFO i DCVG), sprawdzenie, czy faktycznie jest to wada, przeprowadzenie analizy łącznie z archiwizacją danych i zdecydowanie o dalszym postępowaniu [4]. Na przykład: za pomocą funkcji „DCVG” przyrządem zlokalizujemy wadę, następnie przełączymy przyrząd do funkcji „kontrola uszkodzenia”, rozmieścimy elektrody odniesienia i określimy czy faktycznie jest to wada. Po identyfikacji i potwierdzeniu, że jest to wada, połączymy przyrząd z mierzonym rurociągiem i przełączymy do kolejnej funkcji na przykład „potencjał polaryzacyjny”. Także i tutaj możemy wybrać metodę, która nam odpowiada.

Przyrząd pracuje z czterema metodami. Uzyskane informacje o wielkości potencjału polaryzacyjnego, jak również potencjału wyłączeniowego i włączeniowego, łącznie z dodatkowymi informacjami pomocniczymi (U_s , I_{kor} , $I_{przedpol}$), archiwizujemy w przypadku konieczności późniejszej obróbki danych. Jeżeli z ważnych powodów nie mamy dość czasu, możemy wszystkie informacje zapisać do PC (np. do przenośnego komputera znajdującego się w samochodzie terenowym itp.). Analizę stanu korozyjnego kontrolowanego rurociągu przeprowadzamy nie tylko we wszystkich miejscach zlokalizowanych wad w izolacji, ale także w miejscach skrzyżowań z innymi ułożonymi w ziemi urządzeniami, a w szczególności z tymi, które są połączone przez POB. Nie opuszczymy również własnych POCH i POIS. W tych miejscach Mirianem zmierzmy wartości potencjału wszystkich ułożonych urządzeń podłączonych do aktywnej ochrony [5].

Lokalizacja i oznaczanie wad izolacji

Popularnym oznaczaniem uszkodzeń bezpośrednio w terenie jest wbicie np. drewnianego kołka, tyczki lub innego przedmiotu. Takie oznakowanie niejednokrotnie nie przetrwa ani jednego dnia. Za pewnie oznakowane miejsce można uznać takie, które jest zmierzone przez geodetę lub metodą uznawaną przez geodetów. Inne metody i sposoby oznaczania uszkodzeń w większości przypadków nie były trwałe i przeprowadzone pomiary musiały niejednokrotnie być powtórzone. Proponuje się i inne progresywniejsze rozwiązania. System GPS.

Pomiar poziomu potencjału ochronnego

Jak już wspomniałem, poznanie wartości potencjału rurociąg-ziemia w miejscu pomiarów na danym rurociągu, jest priorytetowe. Na rurociągach z izolacją bitumiczną, które są w znacznej mierze porowate w wyniku nieorganicznych wypełniaczy dodawanych do izolacyjnej masy asfaltowej, obwód ognia pomiarowego rurociąg-ziemia jest zamknięty bezpośrednio nad mierzonym rurociągiem lub w odległości kilku metrów. Przy nieprzepuszczalnych izolacjach z tworzyw sztucznych może ta odległość wynosić nawet kilkaset metrów. Gdzie nie ma wad, nie ma potrzeby dokonywania pomiarów, bo nie zachodzą procesy korozyjne. W miejscach zainstalowanego kontrolnego wyprowadzenia pomiarowego lub podłączenia obiektu nie musi występować wada. Jest więc ważne odnalezienie najbliższych wad. W miejscach zlokalizowanych uszkodzeń jest zawsze bardzo ważny pomiar poziomu potencjału uczestniczącego we właściwej katodowej polaryzacji i jeżeli jest to możliwe bezpośrednio nad centrum uszkodzenia. Takie pomiary można przeprowadzić przy pomocy przenośnych sond symulacyjnych, wzorców, kuponów itp. urządzeń czasowo imitujących wadę w izolacji. Większość metod pomiarowych znana jest w kręgach techników specjalistów, przypomnę więc tylko niektóre.

W latach 1993 – 1994 był na międzynarodowej konferencji o ochronie przeciwkorozyjnej metalowych urządzeń podziemnych Workshop w Pradze proponowany przyrząd CPA 730 z USA, który zawierał specjalną elektrodę pomiarową wyposażoną w elektrodę odniesienia (srebro / chlorek srebra) i stalową elektrodę symulacyjną, która była przy pomiarze łączona z chronionym rurociągiem tak, aby w czasie pomiaru pomiędzy rurociągiem i próbką nie przepływał prąd. Kompensację prądu zabezpieczało urządzenie elektroniczne CPA podłączone do pomocniczej elektrody platynowej, rurociągu i elektrody symulacyjnej. Przyrząd CPA 730 łącznie z elektrodą był testowany przez szwajcarskie stowarzyszenie ochrony przed korozją w Zurichu. Udowodniono, że omawiany przyrząd jedynie udaje (po osiągnięciu poziomu potencjału włączeniowego $-0,85V$), że mierzy potencjał polaryzacyjny, tzn. bez składowej IR, jak tylko potencjał włączeniowy przekroczy tą wartość. Błąd pomiarowy spoczywał w błędnym fizycznym pojęciu konstrukcji przyrządu. Na posiedzeniu Ceocoru w roku 1995 w Pradze, zalecono metody tej nie stosować w krajach UE, a kierować się nadal „przewodnikiem Ceocoru” [6].

Na konferencji o ochronie przed korozją metalowych urządzeń podziemnych OK'95 w Ostrawie została przedstawiona nowa metoda opracowana w sekcji produkcji i transportu – służb serwisowych GAZ DE FRANCE. W Koszycach na konferencji o korozji położonych pod ziemią urządzeń w roku 1997 poinformowano, że GDF opracowuje przyrząd, który będą mogli obsługiwać i „niefachowcy” [7]. Jednakże do dzisiaj urządzenie to nie jest dostępne. Informację zbiorczą o potencjałach rurociąg - grunt podał w roku 1994 Franz [8], który według teoretycznych aspektów zwrócił uwagę na decydującą funkcję technicznych i eksploatacyjnych doświadczeń.

Na V Ogólnokrajowej Konferencji o problematyce pomiarów korozyjnych w ochronie elektrochemicznej w Juracie, znaczna część była poświęcona zagadnieniom ochrony przeciwkorozyjnej z różną jakością izolacji. Doświadczenia Pomorskiego Okręgu Gazownictwa wskazują na nierozłączną współzależność rezystywności rurociągu i jego doziemienia spowodowanego wadami w izolacji [9].

Kładzie się nacisk na odbiory stalowych rurociągów bez wad w izolacji. Zaleca się proces technologiczny metodą IFO natychmiast po wybudowaniu i jego ochronie katodowej z dążeniem do usunięcia wszystkich zlokalizowanych wad. I tych najmniejszych. I to jest priorytetem. Autorzy są zgodni że:

- Ocena skuteczności ochrony katodowej tylko na podstawie pomiarów potencjału włączeniowego rurociąg – grunt jest zawodna i ryzykowna.
- Izolowane rurociągi ułożone w gruncie są konstrukcjami z nierównomierną polaryzacją.
- Jest trudne i w praktyce niemożliwe spełnienie wymagań równomiernej polaryzacji na rurociągu z wadami.
- Izolacje z bardzo małą porowatością o rezystancji $10^6 - 10^7$, jak również i izolacje bezdefektowe prowadzą prawidłowo do ograniczenia aktywnej funkcji ochrony katodowej, która się jednak koncentruje przede wszystkim na technologicznie trudnych miejscach jakimi są: armatury, osłony, przejścia przez cieki wodne, linie kolejowe itp.

Dlatego, że nieznanym jest z praktyki przykład awarii katodowo chronionego rurociągu na skutek kruchości wodorowej w wyniku długotrwałej eksploatacji tej ochrony przy przekroczeniu krytycznych potencjałowych wartości, wymaga się rozsądnej tolerancji dla rurociągów ze stali bezstopowej i niskostopowej ułożonych w ziemi w temp. Do 40° C.

Pomiar potencjału polaryzacyjnego w epicentrum wady

W byłej Czechosłowacji metoda pomiaru potencjału polaryzacyjnego przy pomocy imitacji wady w izolacji była już rozwinięta więcej niż przed 25 laty. Podłączano je do chronionego rurociągu. Były wytworzone z takiego samego materiału jak położony rurociąg. Po równoczesnym spolaryzowaniu do potencjału włączeniowego badanego rurociągu, oceniano się poziom użytkowanej ochrony według polaryzacji tych imitacji uszkodzeń. Chodzi tutaj o elektrody symulacyjne: PS10, PS15, PS10Pb, wzorce KE500, SPP4, i wielozadaniowe sondy pomiarowe MS100 i MS110. Urządzenia te zarówno w Czechach jak i na Słowacji stosowane są do dzisiaj, ponieważ ich stosowanie ma swoje zalety.

Na przykład:

- Dają więcej informacji podstawowych o procesie korozyjnym aniżeli pomiary obciążone zniekształconą składową IR. (U_s , U_z , U_v , U_{ir} , I_k , U_{pol}), mają zdolność przyspieszonego rozpoczęcia polaryzacji, określenie kierunku i wartości wpływającego lub wypływającego prądu do/z rurociągu itp.
- Mają zastosowanie w obszarach występowania prądów błędnych.
- Są przenośne, tak więc i do zastosowania gdziekolwiek i kiedykolwiek w prądowym polu ochrony katodowej.

Mankamentem jest to, że do badanego rurociągu podłączona jest imitowana wada, której faktycznie na rurociągu nie ma (nawet wypolerowana elektroda symulacyjna PS), chociaż przy izolacji gorszej jakości to praktycznie nie ma żadnego znaczenia.

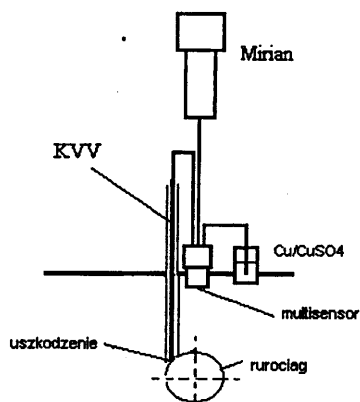
Przy nowym typach trójwarstwowej polietylenowej izolacji z zastosowaną podstawową warstwą epoksydową, najbliższa wada może być oddalona w znacznej odległości od miejsca pomiaru. Odległość ta może wynosić nawet kilkaset metrów.

W obecnej dobie jest bardzo dogodne, przy sondach pomiarowych MS100, MS110 i wcześniejszych typach, prowadzenie pomiarów przy pomocy elektronicznego wzorca, który obiektywizuje poziom potencjału wyłączeniowego.

W metodzie pomiarowej Mirianvad wykorzystuje się pomocnicze powierzchnie zastosowanego multiczujnika, na których ustala się własny potencjał polaryzacyjny w wyniku wstępnej polaryzacji aż do poziomu wydzielania wodoru i następnie poszczególne elektrody kolejno podłączone są do badanego rurociągu. Operacjami pomiarowymi steruje wbudowany mikroprocesor, który wszystkie zmierzone informacje zapisuje do pamięci i dalej obrabia. Multiczujnik jest wyposażony w pomocnicze elektrody pomiarowe o powierzchniach od 1 do 9 cm². Eliminowane są wg charakteru środowiska, w którym prowadzi się pomiary. Wynikiem jest potencjał polaryzacyjny ustalony w danym miejscu bez wpływu pomocniczych powierzchni pomiarowych multisensora.

Właściwa metoda pracy z przyrządem Mirianvad

- Odszukać wadę w izolacji (najlepiej zmodyfikowaną metodą IFO i DCVG) i potwierdzić, że jest to faktycznie wada,
- Osadzić KVV (lub połączyć z istniejącymi KVO czy PO) nad epicentrum zlokalizowanego uszkodzenia,
- Umieścić multiczujnik Mirian nad epicentrum wady i określić potencjał polaryzacyjny w epicentrum wady, jak również na krawędzi stożka napięciowego badanej wady (łącznie z informacjami pomocniczymi).
- Zmierzyć pozorną rezystancję gruntu w pobliżu uszkodzenia,
- Ustalić pH w mierzonym obszarze (w przypadku zastosowania KVV i bezpośrednio na powierzchni rurociągu),
- Zmierzyć głębokość posadowienia rurociągu w gruncie,
- Zlokalizować wadę i właściwie oznaczyć położenie w terenie.



Rys. 2. Pomiar potencjału polaryzacyjnego zlokalizowanego uszkodzenia

Każdą wadę izolacji rurociągu należy odpowiednio oznaczyć. Najlepiej z zastosowaniem systemu GPS. Namierzone współrzędne zapisać. Właściwy stożek napięciowy, który powstaje w wyniku uszkodzenia, ukształtujemy na podstawie zmierzonych informacji.

Zakończenie

Odszukanie wszystkich wad w izolacji rurociągu i w następstwie bezzwłoczne ich usunięcie jest na tyle uzasadnione w efektywnej eksploatacji instalowanej ochrony katodowej, że uzasadnia wysokość nakładów eksploatacyjnych do zabezpieczenia jej funkcji ochronnej.

Jeżeli potrafimy zmierzyć poziom ochrony katodowej w epicentrum wad w izolacji i będą one na całej powierzchni rurociągu chronione, nie będzie potrzebne wykonywanie pomiarów na pozostałych częściach rurociągu. Jednakże rurociągi często krzyżują się z innymi rurociągami oraz kablami o powłoce przewodzącej, które także musimy koniecznie badać.

Do oceny skuteczności ochrony katodowej konieczne jest wykazanie [10], że był zmierzony potencjał polaryzacyjny lub jemu podobny, a nie tylko włączeniowy. Pomiary te możemy przeprowadzić wieloma metodami. Czy to wzmiankowanym przyrządem Mirian, stałym lub przenośnym symulatorem wady i sondą o różnej konstrukcji. I chociaż urządzenia te wykazują niejednokrotnie wartości różne od „ustalanych laboratoryjnie”, mają o wiele większe możliwości określania procesów elektrochemicznych, które zachodzą w danej chwili na rurociągu, niż tylko pomiar potencjału nie pozbawionego składowej IR.

Fakt, że ocena poziomu skuteczności instalowanej ochrony katodowej nie obejdzie się bez metod umożliwiających wykrycie wszystkich wad w izolacji i pomiaru ich faktycznego potencjału polaryzacyjnego na powierzchni danego rurociągu, jest na tyle zasadny, że nad jego rozwiązaniem stale pracują technicy i naukowcy wysoko rozwiniętych państw świata.

Literatura

1. Mičko F. Wymagania przy pomiarze potencjałów polaryzacyjnych z punktu widzenia norm czeskich i przepisów. Konferencja OK 99. Ostrava 1999r. Materiały konferencyjne str. 31-34.
2. Schwenk W. Pomiar potencjału - dowodem skuteczności działania katodowej ochrony przed korozją urządzeń położonych w ziemi. K DIN 50 925.34r. s.4, 3R International, 1995
3. Leeds J. M. Metody stosowane przy ocenie stanu izolacji rurociągów. Seminarium IIS sp. z o. o. Modřany 1995.
4. ČipJ. Pomiary intensywne przyrządem Mirian. Konferencja OK. 97. Hradec nad Moravici 14-15.10.1997. Materiały konferencyjne.
5. Mičko F. DigiPro – techniki cyfrowe w ochronie przed korozją. Konferencja OK. 95 . Ostrava 19 – 20.10.1995. Materiały konferencyjne.
6. Bindschedler D. Stalder F. Przyrząd specjalny do pomiaru potencjału bez składowej IR. Materiały konferencyjne CEOCOR Praha 1995.
7. Lambin V. Metoda do określania właściwego potencjału rurociągów stalowych pod ochronę katodową. Materiały konferencyjne 10 Międzynarodowej konferencji „Korozja położonych urządzeń”. Košice 1997.
8. Franz F. Veleta P. O potencjałach katodowej ochrony przed korozją stalowych rurociągów położonych w gruncie. Plyn nr9 str. 135-137. Praha 1994
9. Fiedorowicz M. Jagiełło M. Zagadnienia ochrony przed korozją izolowanych rurociągów w świetle doświadczeń Pomorskiego Okręgu Gazownictwa. V krajowa konferencja „Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej” Jurata 1998.
10. Polak J. Katodowa ochrona przed korozją i metody ograniczania korozji wywołanej prądami błędzącymi. Publikacja Chemoprojekt. Praha 1992.