



**EFEKTYWNA OCENA SKUTECZNOŚCI OCHRONY KATODOWEJ
GAZOCIĄGÓW STALOWYCH**

**EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF CATHODIC PROTECTION
INSTALLATION OF STEEL GAS PIPELINES**

František Mičko
. Severomoravská plynárenská, a.s.
Republika Czeska

słowa kluczowe: ochrona katodowa, gazociągi, skuteczność ochrony, wady w powłokach izolacyjnych

keywords: cathodic protection, gas pipelines, protection effectiveness, defects in insulation coatings

Streszczenie

Gazownictwo w Republice Czeskiej obchodziło w ubiegłym roku 150-lecie swego istnienia. W referacie przedstawiono krótki rys historyczny rozwoju gazownictwa oraz na tym tle zakres zastosowania ochrony katodowej gazociągów. Omówiono stosowane urządzenia i metody ochrony. Przedyskutowano metody oceny skuteczności ochrony katodowej gazociągów oraz techniki wykrywania uszkodzeń w izolacji rurociągów. Podkreślono potrzebę wykrywania wad w izolacji przeciwkorozyjnej rurociągu oraz pomiaru w nich potencjału polaryzacyjnego jako skuteczną technikę oceny skuteczności ochrony katodowej.

Summary

Gas engineering in the Czech Republic celebrated its 150th anniversary last year. In the paper a short historical outline has been presented of development of gas engineering and on this background the scope of application of cathodic protection of gas pipelines. The applied equipment and protection methods have been described. Methods have been discussed of evaluation of effectiveness of cathodic protection of gas pipelines and techniques of detection of damages in the insulation of pipelines. The need has been emphasised of detection of defects in the anticorrosion insulation of the pipeline and measurement in them of the polarisation potential as an effective technique of the evaluation of the effectiveness of cathodic protection.

Wstęp

Gazownictwo w Republice Czeskiej obchodziło w ubiegłym roku 150-lecie swego powstania. Na swej długiej drodze urzeczywistniło kilka podstawowych zmian, które z niego uczyniły znaczący czynnik cywilizacyjny mający wpływ nie tylko na energetykę przemysłu, ale również na podstawowe potrzeby mieszkańców. W końcu sytuacja jest podobna też u naszych sąsiadów tak w Polsce, jak i na Słowacji, Węgrzech, w Austrii lub w Niemczech. Za jeden z decydujących etapów rozwoju gazownictwa należy niewątpliwie uważać przejście od lokalnej produkcji gazu świetlnego w gazowniach miejskich do rozprowadzania gazu pod wysokim ciśnieniem z miejsc produkcji koksu, tj. z koksowni wysokich mocy. Najwięcej gazowni lokalnych istniało w roku 1937 - ogółem 84, po wojnie, w 1947 roku gaz produkowano w 66 gazowniach (1).

Rozwój budowy gazociągów przesyłowych w CRS nastąpił dopiero po roku 1950. Równoległe z jej ekspansją doszło do szybkiej likwidacji ekonomicznie niekorzystnej produkcji gazu świetlnego. W ciągu 10 lat spadła ilość gazowni lokalnych z 52 w 1952 roku do 33 w roku 1960. Do głównych gazociągów przesyłowych okresu początkowego należały gazociągi Most - Praga (1947), gazociągi regionalne we Wschodnich Czechach przedłużone w roku 1950 aż do Pardubic, gazociągi gazu koksowniczego na Północnych Morawach z Ostrawy do Olomuńca i Prostějowa i dalej do Brna, połączenie Pardubice-Olomuniec w roku 1957, magistrala środkowoczeska z Ujścia nad Łabą do Pardubic połączona do dostawy gazu z gazowni ciśnieniowej dużej mocy w Uzinie w roku 1961 oraz magistrala południowoczeska Vřesowa-Lobodice.

W połowie lat sześćdziesiątych na terenie dzisiejszej Republiki Czeskiej zbudowany został spójny system publicznych dostaw gazu z wykorzystaniem wszelkich elementów nowoczesnej techniki gazowniczej (2). Nerozłączną częścią systemu transportu gazu jest jego ochrona antykorozyjna. Dziedzina ochrony pasywnej posiadała już w tym czasie taką samą tradycję, jak w innych przemysłowo rozwiniętych krajach. Prace badawcze nad wdrażaniem ochrony katodowej nowo budowanych gazociągów przemysłowych rozpoczęto w roku 1953. Ich efektem było zrealizowanie ochrony katodowej gazociągu przemysłowego Ostrawa - Olomuniec - Prostějov w latach 1955-58. Od roku 1967 stacje ochrony katodowej wyposażono w automatycznie sterowane prostowniki opracowane przez Instytut Badań Paliw (UVP) w Běchovicach oraz Plynoprojekcie Praga. Wszystkie typy zostały przebadane w praktycznej eksploatacji w Północnomorawskich gazowniach (SMP) w Ostrawie (3). Na rozwój automatycznie sterowanych prostowników wpłynął szybki postęp w elektryfikacji kolei i jej obciążenie. Obok automatycznie sterowanych prostowników konieczne było opracowanie sprawnego elektrycznie polaryzowanego drenazu, który spełniałby wymagania zabezpieczenia kolei. Udało się to w roku 1964 w UVP w Běchovicach i już na jesień 1965 wprowadzano pierwsze urządzenie typu EPD 100 do eksploatacji na gazociągu przemysłowym DN 500 Pribor - Brno na terenie stacji przetwornikowej Czechosłowackich Kolei Państwowych (CSD) w Prosenicach koło Přerowa. Gazociąg ten jest dotychczas eksploatowany bez awarii pomimo tego, iż już po 18 miesiącach po wprowadzeniu do ruchu doszło do kilkukrotnego oddziaływania korozyjnego prądów błądzących. Dopiero w roku 1994 doszło do pełnej modernizacji byłego urządzenia systemem cyfrowym typu Miridren wyposażonym w pamięć umożliwiającą przechowanie danych eksploatacyjnych za okres kilku miesięcy, zdalne sterowanie oraz komunikację z odległym PC. W SMP, a.s. Ostrawa wszystkie gazociągi wysokiego ciśnienia wyposażone są w ochronę katodową. W większości stacje ochrony wyposażono w automatycznie sterowane prostowniki. Z nich prawie połowa została zdigitalizowana. Digitalizację przeprowadzono w całości według naszej koncepcji. Aktualnie

produkowane urządzenia typu Mirius 98 wyposażono w szereg dalszych funkcji, które umożliwiają praktycznie bezproblemową transmisję danych i zdalne sterowanie z któregośkolwiek miejsca. Wbudowany procesor przechowuje wybrane dane eksploatacyjne prostownika w pamięci a jej zawartość można na życzenie lub automatycznie przesyłać i opracować na odległym stanowisku inspekcji sieci. Urządzenia Mirius 98 mogą być zdalnie nie tylko regulowane, ale w dowolnym momencie wyłączone lub przełączone na inny rodzaj pracy - włącznie z nastawą wybierania dla potrzeb pomiarów intensywnych metodami CIPS lub DCVG.

Metody oceny funkcji ochronnej urządzeń ochrony katodowej

Starania o najlepsze, a zarazem ekonomicznie dogodne metody oceny wydajności ochrony katodowej są zjawiskiem ogólnym i wynikają z potrzeby efektywnego zastosowania bądź co bądź bardzo kosztownej nowej techniki pomiarów. Możemy to zaobserwować w różnych pracach analitycznych, zaleceniach technicznych i nowych przepisach powstających nie tylko w organizacjach fachowych wspólnoty europejskiej. Również w RC opracowano nowy regulamin techniczny (wydany przez GAS, s.r.o. Praga) pod oznaczeniem TPG 92022 nazwany „Ochrona antykorozyjna stalowych urządzeń posadowionych w gruncie. Eksploatacja i konserwacja urządzeń ochrony aktywnej”. Regulamin ten zawiera w formie załączników zalecane metody pomiarów korozyjnych. Tematyka dotycząca parametrów skuteczności ochrony katodowej zawarta jest w załącznikach nr 4 do 9. Autorzy regulaminu rozumieją poszczególne załączniki jako zlecenia techniczne do twórczego podejścia do analizy poszczególnych funkcji aktywnej ochrony. Na przykład w załączniku nr 6 opisano sposób badania skuteczności ochrony katodowej wg DIN 50 925 włącznie z zaleceniami postępowania w konkretnych warunkach lokalnych. Zwraca uwagę na zależność miejsca powstania wady izolacji i ich wielkości od obciążenia eksploatacyjnego, na które składają się przede wszystkim wpływy mechaniczne i korozyjne. Wpływy te nabierają na znaczeniu przy eksploatacji gazociągu pod bardzo wysokim ciśnieniem (ponad 5 Mpa). Rysy i nacięcia na powierzchni rurociągu powstałe przy naruszeniu izolacji mają wpływ na jakość powierzchni i w decydującym stopniu wpływają na wytrzymałość statyczną i granicę zmęczenia czasowego. Geometria nacięć wpółdziała na naprężenie, co przy zmiennym naprężeniu może prowadzić do powiększenia rys i przy osiągnięciu wartości krytycznej nawet do pęknięcia (złamania). Powyższa sytuacja graniczna musi zostać bezwarunkowo wyeliminowana. Przy podkrytycznych wartościach naprężeń może stałe zwiększenie rys prowadzić do perforacji rurociągu bez wystąpienia pęknięcia. Przy działaniu naprężenia rozrywającego na powierzchnię z rysami i nacięciami konieczne jest więc, by doszło “do uniku wcześniej, niż do pęknięcia”. Dla eksploatacji gazociągu ważne jest, by powierzchnia rurociągu była o ile to możliwe bez rys i nacięć. W przypadku ich wystąpienia zjawiska zależne są od ich geometrii, a nie zawsze od ich głębokości. Wgłębienia spowodowane przez korozję posiadają przeważnie wymiary podkrytyczne. Krytycznych wymiarów mogą osiągnąć, o ile w następstwie korozji zewnętrznej pod naprężeniem powstają łańcuchy miejsc uszkodzonych przez korozję wżerową albo miejsc uszkodzonych przez korozję w inny sposób. Z powyższych powodów należy tego rodzaju korozję możliwie wyeliminować. Uszkodzenia korozyjne przejawiają się tak powstawaniem wżerów i wgłębień, jak i rysów wywołanych przez naprężenia (4). Eliminacja wżerowej i powierzchniowej korozji zależna jest od ochrony katodowej każdego miejsca naruszonej izolacji rurociągu oraz od kontroli jej właściwej funkcji. Długoletnie badania wykazały, iż szybkość korozji pod ochronioną powierzchnią wynosi od 1 do 10 mikrometrów na rok i już dalej z potencjałem ujemnym nie spada. Tylko potencjał pozbawiony

zniekształcającej składowej IR można uważać za potencjał przyczyniający się do właściwej ochrony katodowej rurociągu. Celem stosowanych metod pomiarowych jest uzyskanie wyników najbardziej zbliżonych do potencjału polaryzacyjnego. Potencjał pozbawiony zniekształcającej składowej IR to napięcie pomiędzy rurociągiem i elektrodą odniesienia w bezpośredniej odległości od chronionego rurociągu, o ile w tym miejscu występuje również wada w izolacji rurociągu. Powyższy sposób umieszczenia jest praktycznie nie do osiągnięcia współczesnymi metodami pomiarowymi. Dlatego konieczne było opracowanie systemowo nowej metody pomiarowej. Metod tych jest kilka :

Według DIN 50 925

istnieją 3 metody :

1. technika wyłączenia
 2. technika pomiarów intensywnych
 3. pomiary potencjału zewnętrzną sondą pomiarową.
- Czynniki znacząco wpływające na poziom potencjału polaryzacyjnego zostały w DIN 50 925 zestawione w tabeli. Jest ich 7. Różnią się w zależności od charakteru prądu wywołującego spadek IR.

Konkretna metoda obrona zostaje po analizie czynników.

1. stosowana jest w przypadku katodowo chronionych systemów, gdzie technika wyłączeń jest jednoznaczna.
2. o ile technika wyłączeń nie daje dostatecznych informacji o stanie zjawisk pomiędzy punktami pomiarowymi.
3. ogólnie stosowana jest w przypadkach lokalnego wykorzystania w miejscach z działaniem prądów błądzących.

System PIM (Pipeline Integrity Management)

W odróżnieniu od DIN 50 925 uważa autor (5) badania z zastosowaniem metody CIPS za zniekształcone, ze znaczną ilością błędów i kosztowne. Preferuje on system PIM opracowany w Wielkiej Brytanii, który opiera się o dziesięć informacji wejściowych służących do określania priorytetów napraw izolacji rurociągu. Zawiera on:

1. miejsce wady w izolacji (konfiguracja w terenie),
2. rozmiar wady i jej znaczenie (DCVG w % IR),
3. kształt wady (DCVG),
4. zachowanie korozyjne wady (DCVG, CIPS, Uz, Uv, delta U ap)
5. agresywność gruntu wg oceny pozornej względnej oporności gruntu,
6. pH gruntu (zwłaszcza kwaśniejsze grunty),
7. interferencja katodowa i anodowa (wpływy trakcyjnych stałych prądów błądzących i zmiennych prądów - zwłaszcza wpływy sieci energetycznych wysokiego napięcia),
8. pomiary potencjałów (głównie ocenia się poziom potencjałów bez spadku IR),
9. określenie miejsca, z którego można chronić wadę (decyduje kryterium ekonomiczne - tańsze rozwiązania: anoda galwanizowana, mała stacja ochrony katodowej, obniżenie i usunięcie wady, wymiana rury).
10. historia eksploatacji (analiza wszelkich dostępnych informacji o awariach).

System Mirianvad

Metoda zakłada odnalezienie możliwie wszystkich wad kombinacją metod prądu stałego i zmiennego. Wszystko zależy od złożoności metalowych konstrukcji w gruncie (rurociągi przesyłowe czy też sieci miejskie) (6).

System opiera się o następujące informacje :

1. znalezienie wady w izolacji, jej lokalizacja (wytyczenie, oznakowanie, wykrywacz rurociągu, DCVG, CIPS, Mirian),
2. sprawdzenie, czy chodzi o wadę (kontrola urządzeniem Mirian),
3. pomiary potencjału polaryzacyjnego w epicentrum wady (mutisenzorem w zestawie Mirian),
4. zakres i ocena (opracowanie wyników na PC łącznie z wnioskami).

O ile wszystkie wady izolacji zostaną chronione, pod ochroną będzie powierzchnia całego rurociągu. Niemniej ważne jest również sprawdzenie poziomu potencjału polaryzacyjnego w miejscach skrzyżowania z innymi metalowymi urządzeniami w gruncie, czy nie dochodzi tu do interferencyjnych oddziaływań instalowanej ochrony katodowej. W miejscu skrzyżowania przeprowadza się wzajemne pomiary korelacyjne (aparaturą Mirian lub DigPro) (7).

Wykrywanie wad w izolacji rurociągu i ich lokalizacja

W Republice Czeskiej do wykrywania wad w izolacji stosowana jest już prawie 40 lat metoda prądu zmiennego - metoda Pearsona. W praktyce została ona wdrożona przede wszystkim na rurociągach przesyłowych - zwłaszcza na ropociągach, gdzie stosowana jest systematycznie, oraz na gazociągach przesyłowych, gdzie stosowana jest sukcesywnie w zależności od kumulacji niektórych aktualnie powstałych specyficznych problemów o bezkonceptyjnej orientacji. Wady w izolacji wodociągów nie są dotychczas systemowo badane. W ramach metody Pearsona najczęściej stosowane są wykrywacze rurociągów typu Seba-Dynatron (1450Hz) i Severin - Disa (1100Hz) - oba z Niemiec oraz HVT (1450 Hz) z VCP, a.s. Hradec Kralove, zakładu Skutec we Wschodnich Czechach. Zestaw HVT posiada zaletę polegającą na tym, iż wykorzystuje również sprzężenia pojemnościowe, co umożliwia zlokalizowanie wad w izolacji nawet w przypadku głęboko przemarzniętej gleby, pod betonową, asfaltową lub bardzo suchą powierzchnią gruntu. W ostatnich latach na czeskim rynku pojawiły się wykrywacze produkcji brytyjskiej firmy Radiodetection, które zwłaszcza w praktyce gazowniczej bardzo szybko się zadomowiły. Dla zestawu Radiodetection zostało już opracowane oprogramowanie do łatwiejszego analizowania danych eksploatacyjnych na PC. Ostatnim hitem powyższej firmy brytyjskiej jest wykrywacz rurociągów i wad w izolacji PCM - Transmitter, który pracuje też z sygnałem 4 Hz obok 640 Hz i 9 kHz o napięciu 24 V i maks. prądzie 3 A, co umożliwia moc 72 VA i zasięg do 32 km. Poza przejściami przez duże komunikacyjne szlaki (autostrady, koleje), gdzie kontrolowane rurociągi chronione są specjalnymi rurami ochronnymi, z metodą Pearsona na rurociągach przesyłowych poza aglomeracjami miejskimi i przemysłowymi nie ma problemów. Te pojawiają się w przypadku równoległych i kilkakrotnie krzyżujących się rurociągów na gęsto zabudowanych terenach. Tam kończą się możliwości techniczne tej metody. W powyższych miejscach konieczne jest zastosowanie metody prądu stałego.

Za dostatecznie niezawodną uważana jest metoda DCVG, i to albo w klasycznym wykonaniu Mulvana, albo w którejś z modyfikacji, np. za pomocą urządzenia Mirian (8). W otwartym terenie przydatna jest kombinacja powyższej metody z metodą Pearsona, względnie przystosowanie poszczególnych mocy urządzeń Mirian tak, by uzupełniały się. Na przykład w miejscu zlokalizowanej wady w izolacji przeprowadza się pomiary wady

z zastosowaniem pomiaru zwierciadlanego za pomocą trzech miedzianych elektrod odniesienia (9). W niektórych przypadkach można z powodzeniem zastosować metody pomiarowe Mirian z wykorzystaniem techniki CIPS (10). Niemniej możliwe jest zastosowanie kombinacji jakościowego wykrywacza rurociągów i samodzielnego urządzenia pomiarowego Mirian.

Zlokalizowaną wadę w izolacji rurociągu należy dokładnie zaznaczyć, przeprowadzić namiar. W bardzo krótkim czasie decydującą rolę na pewno przejmie system GPS - również w RC.

Bardzo ważne jest przeprowadzenie poprawnych i bezbłędnych pomiarów rurociągu w miejscu wykrytej wady. Do miejsca wady przyprowadziliśmy przewód pomiarowy z najbliższego wyprowadzenia kontrolnego lub przyłącza do obiektu. Jego długość jednak może być znaczna - nawet kilkaset metrów! W takich przypadkach stosujemy specjalne wiertła, z których pomocą uzyskamy jakościowe galwaniczne połączenie z rurociągiem w miejscu wady (7), praktycznie bez konieczności wykopu. W ten sposób wykonane połączenie z rurociągiem nazywamy KVV (kontrolne wyprowadzenie wady).

Pomiary potencjału polaryzacyjnego w epicentrum wady

Dla określenia poziomu potencjału polaryzacyjnego możemy zastosować którąkolwiek z obiektywnych metod podanych w normach czeskich i przepisach technicznych. Ważne jest, by wybrana metoda nie wносиła kolejnych niewiadomych do już tak złożonej analizy. Zakładam zastosowanie aplikowanej nadbudowy wcześniejszych wyników badań państwowych prowadzonych przez UVP Bechovice, w którym miałem honor osobiście brać aktywny udział. Aktualnie współpracuję z ostrawską firmą prywatną ATEKO na opracowaniu oprogramowania do urządzeń ochrony aktywnej, głównie w celu ich digitalizacji.

W ramach zadań państwowych z przed około 25 lat została opracowana nowa metodyka pomiarów potencjału polaryzacyjnego za pomocą imitowanych wad w izolacji rurociągu, wykonanych z tego samego materiału jak rurociąg w gruncie. Podłączono je do urządzenia pomiarowego i po zgodnym spolaryzowaniu z rurociągiem badano wartości ochronne zawsze tylko do tak imitowanych wad, oznaczonych wg zastosowanych czynników - np. PS 15, PS 10, PS1a 10, PS 1a 10 Pb, PS 10 Pb. Metoda ta stosowana jest w SMP, a.s. dotychczas, bowiem posiada cały szereg zalet, np. :

1. jest przenośna i możliwa do zastosowania gdziekolwiek w środowisku katodowo skutecznym,
2. można ją zastosować w rejonach prądów błądzących,
3. dostarcza więcej podstawowych informacji o zachowaniu elektrochemicznym stosowanego materiału aniżeli sama metoda pomiaru potencjału miedzianą elektrodą odniesienia ($U_s, U_z, U_v, \Delta U, U_{pol}$, zdolność przedpolaryzacji, określenie kierunku i wielkości prądu wejściowego czy wyjściowego z konstrukcji itp.).

Mankamentem jest to, iż do badanej konstrukcji podłączona jest imitowana wada, której na rurociągu ewidentnie nie ma, choć w przypadku izolacji niższej jakości nie odgrywa to praktycznie żadnej roli. Należy to jednak podkreślić.

Imitowaną wadę dla rurociągów stalowych stanowi okrągła płytka o powierzchni 10 cm^2 wykonana z tego samego materiału co badany rurociąg, włożona do bloku w kształcie walca z teflonu o średnicy 50 mm, wysokości 100 do 150 mm. W środku bloku znajduje się przestrzeń w kształcie walca o średnicy 20 mm do umieszczenia elektrody odniesienia lub pomocniczej elektrody, np. Pb. Przestrzeń ta zakończona jest diafragmą z CaSO_4 lub materiału porowatego wypełniającego ujście przestrzeni. Elektroda odniesienia zanurzona jest w elektrolicie wodnym w wyżej opisanej przestrzeni połączonej z elektrolitem gruntu wyżej

wymienioną diafragmą. Gwarantuje to pomiary pomocniczej elektrody stalowej bezpośrednio na powierzchni granicznej metalu, a więc mierzony potencjał nie jest zniekształcony spadkiem napięcia wywołanym przepływem prądu. Wynik pomiaru stanowi mieszany potencjał polaryzacyjny podłączonego rurociągu i imitowanej wady nie jest potencjałem polaryzacyjnym samego badanego rurociągu, względnie jego najbliższej wady względem punktu pomiarowego na rurociągu. Mankament ten został rozwiązany przez pomiary wykonywane multiczujnikiem Mirian, który dzięki zastosowanej technice cyfrowej eliminuje pomocnicze elektrody metalowe służące do określenia potencjałów polaryzacyjnych, a poziom realnego potencjału polaryzacyjnego oblicza ze znaczną niezawodnością i dostateczną dokładnością. Ważną korzyścią jest również wybór metody pomiarowej dla określenia potencjału polaryzacyjnego metodą wyłączenia, pomiarów poszczególnych spadków napięcia IR lub bezpośrednich pomiarów polaryzacji poszczególnych imitowanych powierzchni multiczujnika.

W miejscu wykrytej wady określa się jej:

- potencjał polaryzacyjny tak w epicentrum, jak i na skraju wady,
- potencjał włączenia i wyłączenia,
- napięcie (prąd polaryzacyjny) dla danej polaryzacji wady,
- cały szereg wielkości pomocniczych (potencjał stacjonarny metalowych elektrod pomocniczych i zdolność ich polaryzacji, parametry przedpolaryzacyjne - prąd, napięcie, składowe IR na pomocniczych elektrodach metalowych itp.), które posiadają wysoką zdolność charakteryzowania przebiegających zjawisk elektrochemicznych w miejscu pomiaru,
- pozorną oporność gruntu,
- głębokość zagłębienia rurociągu w gruncie.

Wnioski

Do oceny wydajności instalowanej ochrony katodowej konieczne jest jednoznaczne wykazanie, iż doszło do pomiaru potencjału polaryzacyjnego rurociąg - grunt lub jemu podobnego parametru, a nie tylko potencjału włączenia. Potencjał ten powinien być znany we wszystkich miejscach, gdzie istnieją wady izolacji rurociągu, gdzie rurociąg jest z jakichkolwiek powodów przypadkowo lub celowo uziemiony i gdzie jest połączony z innymi urządzeniami metalowymi w gruncie. Aktualnie jest już do dyspozycji kilka sposobów i metod obiektywnej analizy. Nie wszystkie są tanie i tak samo skuteczne.

Czeska metoda Mirianvad powstała w korozyjnie wymagającym środowisku ostrawskiej aglomeracji przemysłowej, gdzie większość metod nie zdała egzaminu, bądź stała się cenowo niedostępna. Fakt, iż określenie stopnia poziomu ochrony katodowej nie odbędzie się bez metod związanych z wykryciem wszelkich wad izolacji rurociągu w gruncie i bez pomiaru jego potencjału polaryzacyjnego, jest na tyle zasadniczy, iż jego najskuteczniejszym rozwiązaniem nieustannie zajmują się naukowcy najbardziej rozwiniętych krajów świata.

Literatura:

1. Riedl R. Plynárenská a koksárenská příručka. SNTL. Praha 1962.
2. Potužák K. Vývoj koncepce zásobování České republiky plynem. ČPNS. Praha 1995.
3. Sedláček K. Plynárenství Severomoravského kraje. SMP, n.p. Ostrava 1975.
4. Schwenk W. Důkaz účinnosti katodické protikorozi ochrany zařízení uložených v zemi měřením potenciálů. K DIN 50 925.34 r..s 4. 3R International. 1995.
5. Leeds J.M. Metody používané při hodnocení stavu izolace potrubí. Seminář IIS s.r.o. Modřany 1995.
6. Míčko F. DigPro. Konference OK'95. Ostrava 1995.
7. Míčko F. Efektivní posuzování účinnosti instalované katodické ochrany. Konference OK.'97, Hradec nad Moravicí 1997.
8. Míčko F. Principy protikorozi ochrany. Sborník přednášek z kurzu: Protikorozi ochrana ocelových potrubí uložených v zemi. Progresivní metody korozního průzkumu Ostrava 1998.
9. Polák J. a kol. Kombinovaná metoda pro stanovení místa a velikosti defektu izolace potrubí uloženého v zemi. Zborník 10. Mezinárodné konferencie spojené s výstavou laboratórnej, meracej a ochrannej techniky Korózia úložných zariadení. Košice 1997.
10. Hrbáček L. Technický postup provádění kontroly vad izolace potrubí Pearsonovou metodou soupravou Radiodetection PDL 430. Sborník přednášek z kurzu: Protikorozi ochrana ocelových potrubí uložených v zemi. Progresivní metody korozního průzkumu. Ostrava 1998.