



**KRYTYCZNA ANALIZA WSPÓŁCZESNYCH TECHNIK MONITOROWANIA
ZAGROŻENIA KOROZYJNEGO RUROCIĄGÓW**

**A CRITICAL ANALYSIS OF MODERN MONITORING TECHNIQUES
OF CORROSION HAZARD TO PIPELINES**

Romuald Juchniewicz, Wojciech Sokółski

Politechnika Gdańska
Katedra Technologii Zabezpieczeń Przeciwkorozyjnych

Słowa kluczowe: rurociągi, metody pomiarowe, monitorowanie korozji, krytyczna analiza
Keywords: pipelines, measurement methods, corrosion monitoring, critical analysis

Streszczenie

W pracy przedstawiono krytyczną ocenę stosowanych obecnie coraz częściej szeregu technik monitorowania zagrożenia korozyjnego konstrukcji podziemnych oraz skuteczności ich zabezpieczenia przeciwkorozyjnego, w szczególności ochrony katodowej. Omówiono pokrótce zasadę pomiaru, wady i zalety poszczególnych technik badawczych. Wskazano na możliwość wykorzystania pomiarów elektrochemicznych do monitorowania procesów korozyjnych konstrukcji chronionych katodowo. Do prawidłowej oceny funkcjonowania systemu ochrony przeciwkorozyjnej rurociągów należy stosować równolegle kilka metod pomiarowych.

Summary

In this paper a critical evaluation has been presented of present-day and future monitoring techniques of corrosion hazard to underground structures and the effectiveness of their anticorrosion protection, with emphasis on cathodic protection. The principle of the measurement, the advantages and disadvantages of each technique have been discussed. The possibility of application of electrochemical measurements has been shown in the monitoring of corrosion processes of structures with cathodic protection. Several measurement methods should be applied simultaneously for the correct evaluation of the functioning of the anticorrosion system.

Wprowadzenie

Stalowe rurociągi, pomimo coraz doskonalszych izolacji przeciwkorozyjnych, są narażone na wiele zagrożeń wynikających z działania środowiska oraz czynników zewnętrznych. Do najważniejszych przyczyn korozji rurociągów podziemnych należy zaliczyć:

- różny skład chemiczny i strukturalny gleby,
- zróżnicowane natlenienie różnych fragmentów rurociągu,
- stosowanie różnych metali połączonych ze sobą galwanicznie,
- instalowanie w stare instalacje odcinków nowych rur,
- obecność bakterii, pleśni i grzybów,
- naprężenia stałe i zmienne pojawiające się m. in. przy tłoczeniu mediów,
- obecność interferencji prądowych (prądy błędzące stałe, zmienne, telluryczne),
- wady materiałowe rur i izolacji,
- błędy projektowe, wykonawstwa i remontów.

Z powodu występowania powyższych czynników jednocześnie z powłokami stosuje się powszechnie na rurociągach różnego rodzaju systemy ochrony katodowej. Polaryzacja katodowa, wpływając bezpośrednio na przebieg procesu korozyjnego, umożliwia w miejscach uszkodzeń izolacji przeciwkorozyjnej wyeliminowanie szkodliwego wpływu oddziaływania środowiska i wspomnianych czynników zewnętrznych. Z danych podanych ponad dwadzieścia lat temu przez Ministerstwo Transportu Stanów Zjednoczonych wynika, że 44,7% wszystkich awarii rurociągów gazowniczych spowodowanych było zjawiskami korozyjnymi, z czego aż w 98% przyczyną była korozja zewnętrznej powierzchni rurociągów. Nieomal wszystkie awarie (91%) wystąpiły na rurociągach, które nie objęte były ochroną katodową, zaś rozmiar uszkodzeń nie przekroczył 5% długości rurociągów. Powyższe dane dobitnie świadczą o skuteczności ochrony katodowej i opłacalności jej stosowania, w szczególności do istniejących starych obiektów.

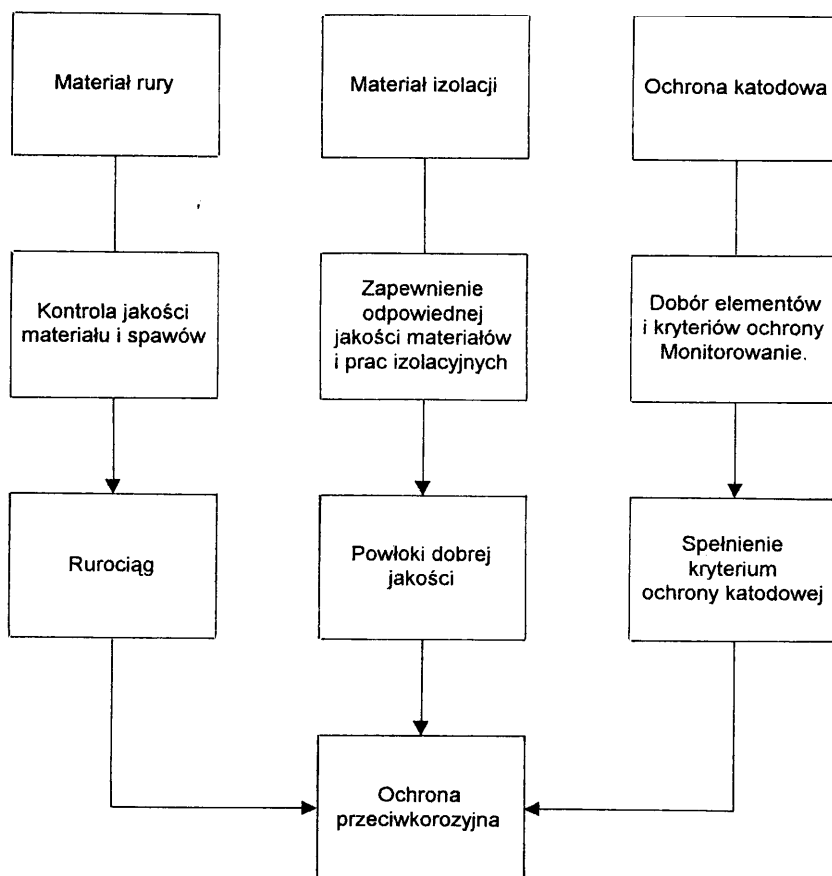
Wielkość zagrożeń korozyjnych i skuteczność technologii ochrony przeciwkorozyjnej rurociągów kontroluje się i monitoruje przy pomocy szeregu metod pomiarowych. Tego typu badaniami powinny być objęte wszystkie ważniejsze obiekty: rurociągi tranzytowe, magistralne i rozdzielcze. Niestety nawet nowoczesne techniki monitorowania, takie jak metoda Pearsona wykrywania uszkodzeń izolacji, pomiary intensywne (close interval potential survey - CIPS, intensivesmesstechnik), pomiary zanikania prądu (current attenuation survey - CATS) lub pomiary gradientów (direct current voltage gradient - DCVG) nie mają uniwersalnego zastosowania, w wielu przypadkach zawodzą i nie dają jednoznacznych odpowiedzi np. o wielkości zagrożenia korozyjnego rurociągu.

Poniżej przedstawiono w bardzo dużym skrócie i ze znacznymi uproszczeniami podstawowe techniki badania rurociągów pod kątem ich zagrożenia korozyjnego oraz oceny skuteczności zastosowanych technologii zabezpieczeń przeciwkorozyjnych. Omówiono pokrótce zasadę pomiaru, wady i zalety poszczególnych technik badawczych. Poddano je krytycznej ocenie, w szczególności w odniesieniu do zastosowań ochrony katodowej. Wskazano na możliwość wykorzystania niektórych pomiarów elektrochemicznych do monitorowania procesów korozyjnych konstrukcji chronionych katodowo.

W opracowaniu wykorzystano doniesienia literaturowe oraz doświadczenia własne pracowników Katedry Technologii Zabezpieczeń Przewodów Przewodzących Politechniki Gdańskiej.

Zabezpieczenie przeciwkorozyjne rurociągów

Efektywne i ekonomiczne zabezpieczenie przeciwkorozyjne rurociągów uzyskuje się obecnie poprzez równoczesne stosowanie odpowiednio dobranych powłok izolacyjnych i ochrony katodowej. Oba rodzaje zabezpieczeń stosowane są zazwyczaj jednocześnie i uzupełniają się wzajemnie. Im lepsza jakość izolacji, tym mniejsze są niezbędne nakłady na eksploatację ochrony katodowej - i odwrotnie. Ogólny schemat systemu ochrony przeciwkorozyjnej rurociągów przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Ochrona przeciwkorozyjna rurociągów.

Bezdyskusyjnie uznaje się, że rodzaj i jakość powłok izolacyjnych odgrywa zasadniczą rolę w ochronie przeciwkorozyjnej rurociągów. Wprowadzanie nowych materiałów i systemów izolacji rur powoduje, że ich jakość zaczyna nawet znacznie przewyższać technicznie uzasadnione potrzeby, a koszt nowej generacji powłok w proporcji do nakładów inwestycyjnych na budowę rurociągu stale wzrasta.

Pomimo zdecydowanej poprawy jakości materiałów izolacyjnych nie rezygnuje się ze stosowania ochrony katodowej nowych rurociągów. Rola ochrony katodowej w dużej mierze ogranicza się do zabezpieczania niewielkich uszkodzeń w izolacji, których nie opłaca się naprawiać po zakopaniu rurociągu.

Wobec wzrostu cen izolacji, koszty ochrony katodowej w ogólnych nakładach na zabezpieczenie przeciwkorozyjne rurociągu relatywnie maleją i jej stosowanie jest coraz bardziej opłacalne. Obecnie, przy stosowaniu nowej generacji powłok izolacyjnych na rurociągach, ochrona katodowa umożliwia dodatkowo kontrolę procesu jej starzenia się, a ponadto wykrycie każdego przypadkowego lub zamierzonego zniszczenia tej izolacji.

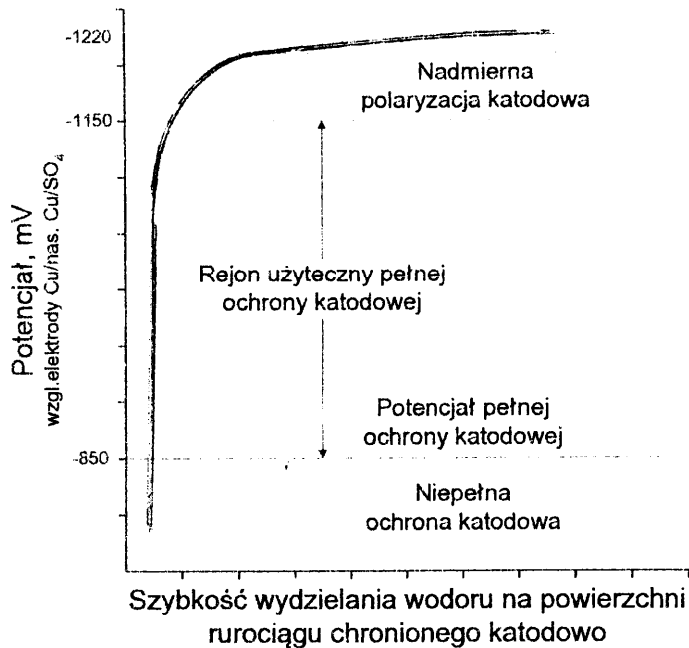
Współdziałanie izolacji przeciwkorozyjnej i ochrony katodowej rurociągów

Polaryzacja katodowa nie wywołuje szkodliwego oddziaływania na stosowane do zabezpieczenia przeciwkorozyjnego rurociągów materiały izolacyjne pod warunkiem, że przestrzegane są parametry ustalone dla danej technologii ochrony katodowej. Przy nadmiernej polaryzacji, co zdarza się w normalnych warunkach pracy bardzo rzadko, np. w miejscach niewielkich uszkodzeń w dobrej jakości izolacji, mogą zachodzić zjawiska niekorzystne, prowadzące do pogorszenia przyczepności powłoki do metalu podłoża (ang. cathodic disbondment) i w konsekwencji utraty właściwości izolacyjnych.

Z istoty procesu polaryzacji katodowej wynika alkalizacja w pobliżu powierzchni chronionej konstrukcji w warstwie środowiska elektrolitycznego bezpośrednio kontaktującego się z powierzchnią metalu, np. w dnie defektu izolacji. Przy potencjale ochrony katodowej $-0,85$ V względem elektrody Cu/nas. CuSO_4 można oczekiwać wartości $\text{pH} = 9,3$, a przy potencjale $-1,1$ V względem tej samej elektrody - $\text{pH} = 13,5$ [1]. Podczas normalnej eksploatacji ochrony katodowej, przy odpowiednio dobranych parametrach, nie występuje nadmierna alkalizacja środowiska. Przy wartości potencjału bardziej ujemnej od $-1,12$ V względem tej samej elektrody odniesienia inicjuje się proces wydzielania wodoru [2]. Uznaje się za bezpieczny zakres eksploatacji instalacji ochrony katodowej zakres potencjałów od $-0,85$ V do $-1,15$ V względem elektrody Cu/nas. CuSO_4 [3]. Schematyczna zależność wydzielania wodoru od potencjału rurociągu przedstawiona jest na rys. 2.

W obecności jonów wapnia i magnezu alkalizacja środowiska sprzyja tworzeniu się na powierzchni metali ochronnej warstwy mineralnej, tzw. osadów katodowych, które ograniczają wielkość prądu niezbędnego do uzyskania ochronnego potencjału rurociągu [4].

Innym zjawiskiem, które występuje przy nadmiernej polaryzacji katodowej jest elektroosmoza. Wystąpienie gradientu potencjału elektrycznego w warstwach porowatych powoduje, że zamknięta w porach i szczelinach woda migruje od anody do katody. Efektem tego zjawiska jest osuszanie rejonu w pobliżu anod i zwiększenie zawilgocenia katody - chronionego rurociągu. W procesie tym bierze udział także powłoka izolacyjna i wszystkie w niej nieszczelności, przez które wnika woda do powierzchni metalu. Wtłaczanie wody w kierunku katody może wywołać odwarstwienie izolacji od rury i wnikanie wody pod powłokę [5-9].



Rys.2. Schematyczna krzywa wydzielania wodoru na rurociągu

Efektowi migracji wody pod powłokę i odwarstwiania izolacji przeciwdziała się poprzez stosowanie systemów izolacyjnych z możliwie dobrze przyczepną warstwą podkładową (primer), bezpośrednio kontaktującą się z powierzchnią metalu. Należy zwrócić uwagę, że omawiane zjawisko jest niebezpieczne w większym stopniu dla powłok wysokiej jakości, ponieważ dzięki doskonałym właściwościom izolacyjnym uniemożliwiają one nawet w najmniejszym stopniu ochronę katodową w miejscach uszkodzenia pokrycia.

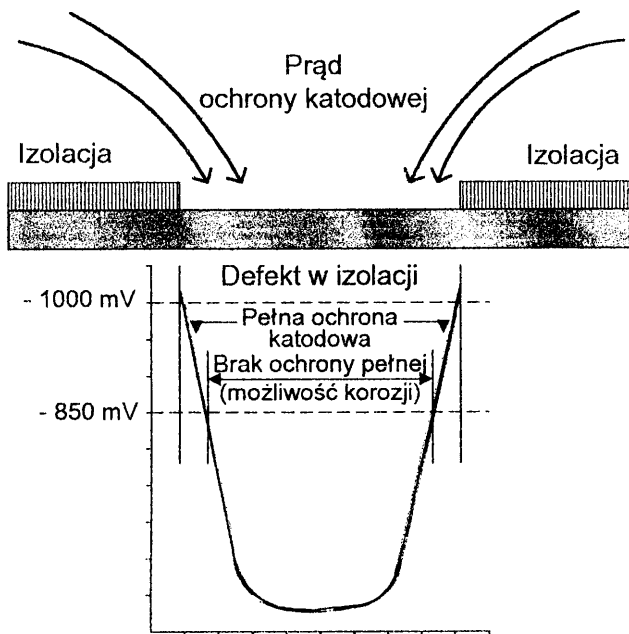
Podobne zjawisko występuje pomiędzy źle przylegającymi, czy źle sklejonymi warstwami taśm izolacyjnych (np. wskutek nacisku ziemi). Tworzące się nieszczelności napełniają się wodą, która wskutek zjawiska elektroosmozy wędruje w kierunku powierzchni metalowej. W utworzonych w ten sposób "kieszeniach" może rozwijać się życie biologiczne i w następstwie korozja mikrobiologiczna stali.

Jest zrozumiałe, że wobec omówionej wyżej sytuacji nawet sprawnie funkcjonująca ochrona katodowa jest praktycznie bezradna. Znane są przypadki, że katodowo spolaryzowany rurociąg do ochronnego potencjału $-0,85\text{ V}$ względem elektrody Cu/nas. CuSO_4 wykazuje miejscowe odwarstwienie izolacji, zaś lokalny potencjał pod izolacją jest w granicach potencjału stacjonarnego, np. $-0,56\text{ V}$ względem tej samej elektrody. W produktach korozji znajdowano bakterie i pojawiają się poglądy, że katodowa polaryzacja do potencjału $-1,1\text{ V}$ względem elektrody Cu/nas. CuSO_4 nie hamuje rozwoju biokorozji [10]. Jones [11] podaje, że niektóre bakterie morskie powodują groźne uszkodzenia powłok ochronnych już w okresie paru tygodni ekspozycji.

Tematyce korozji biologicznej poświęca się w kraju mało uwagi. Nie są rozwiązane czynniki biokorozji i brak jest sprawdzonych technik pomiarowych. W wielu przypadkach występująca biokorozja uchodzi uwadze badaczy i rutynowym pomiarom inspekcyjnym.

Odwarstwianie (odspajanie) katodowe jest w ostatnim okresie, wobec wprowadzenia nowoczesnych technik i materiałów do tworzenia systemów izolacji przeciwkorozyjnych, coraz częściej wskazywane w literaturze fachowej jako możliwa przyczyna obniżenia jakości zabezpieczenia przeciwkorozyjnego budowanych obecnie rurociągów. Zwraca się także uwagę na potrzebę badania tego rodzaju właściwości na zgodność z normami. Wskazuje się także na potrzebę bardziej wnikliwej kontroli potencjału w punkcie дренаżu, tj. w miejscach o najniższym potencjale na chronionej powierzchni rurociągu. Z tym zjawiskiem wiąże się także przypadki pęknięcia korozyjnego rurociągów. Problematyka ta stanowi bardzo poważny światowy problem zarówno w dziedzinie wykrywania jak i zapobiegania. Konieczne są badania pogłębiające tę tematykę.

Gęstość prądu ochrony katodowej docierającego do defektu w izolacji nie jest jednakowa na całej jego powierzchni. Obserwuje się wyraźnie większą polaryzację obrzeży i osłabienie efektu ochronnego w jego środku. Na rys. 3 przedstawiono schematycznie rozkład potencjału w przekroju uszkodzenia izolacji [3].



Rys. 3. Rozkład potencjału w uszkodzeniu izolacji przeciwkorozyjnej.

Konsekwencją tego zjawiska jest zróżnicowany efekt ochrony katodowej na uszkodzeniach o różnej powierzchni. Ponieważ maksymalna gęstość prądu w danym systemie ochrony katodowej jest ograniczona ze względu na uboczne efekty przechronienia, istnieje również określona graniczna powierzchnia dużych defektów, w których możliwe jest zapewnienie skutecznej ochrony katodowej. Aby uzyskać efektywne zabezpieczenie przeciwkorozyjne

rurociągu wszystkie defekty o większej powierzchni powinny być starannie zlokalizowane i naprawione. Jest to powód, dla którego w ostatnim okresie bardzo upowszechniają się metody monitorowania wielkości defektów izolacji przeciwkorozyjnej na rurociągach.

Wprowadzenie nowej jakości materiałów na powłoki izolacyjne konstrukcji podziemnych oraz nowych systemów izolacji rurociągów stwarzają także nowe warunki ich współpracy z ochroną katodową. Znaczne zmniejszenie gęstości prądu ochrony katodowej i wydłużenie stref ochronnych pociągają za sobą istotne korzyści techniczne i ekonomiczne: ograniczenie ilości instalacji ochronnych, zmniejszenie mocy urządzeń, przedłużenie żywotności układów anodowych, ograniczenie szkodliwych oddziaływań na sąsiednie konstrukcje metalowe. Niestety oprócz zalet pojawiają się także pewne niedogodności.

Takie wady tradycyjnie dotychczas stosowanych izolacji smołowych czy bitumicznych, jak porowatość, nasiąkliwość, wrażliwość na uszkodzenia i proces starzenia mogły być wyeliminowane poprzez równoczesne stosowanie ochrony katodowej. Udział ochrony katodowej w ogólnym systemie ochrony rurociągu, tj. parametry elektryczne ochrony i zużycie energii elektrycznej, były uzależnione od stopnia uszkodzenia i zestarzenia izolacji. Przy zachowaniu ekonomicznie uzasadnionych proporcji pomiędzy dopuszczalną wielkością uszkodzeń izolacji a maksymalną gęstością prądu ochrony katodowej, wzajemne uzupełnianie się obu technologii stwarzało dość duży margines swobody zarówno podczas budowy jak i eksploatacji rurociągów, który gwarantował skuteczne zabezpieczenie przeciwkorozyjne obiektu.

Ta korzystna sytuacja w znaczący sposób zmieniła się po wprowadzeniu materiałów izolacyjnych z tworzyw sztucznych, które cechują się w pierwszym rzędzie wyraźnie mniejszą porowatością i zdecydowanie większą rezystancją jednostkową. Prąd ochrony katodowej dociera jedynie do powierzchni metalu w miejscach uszkodzenia powłoki izolacyjnej. Jego oddziaływanie ogranicza się nieomal wyłącznie do miejsca pozbawionego izolacji, tj. do obszaru bezpośredniego kontaktu środowiska korozyjnego z metaliczną powierzchnią rury. Ze względu na elektryczne właściwości izolacji głębokość działania prądu ochrony katodowej jest minimalna. W konsekwencji, w miejscach uszkodzenia omawianego typu izolacji, polegającego na przedostaniu się wilgoci pod warstwę izolacyjną, może swobodnie rozwijać się tam proces korozyjny pomimo prawidłowo funkcjonującej ochrony katodowej. Efekt ten może być potęgowany nadmierną polaryzacją katodową rurociągu, która może mieć miejsce np. wskutek niewiedzy personelu dokonującego regulacji instalacji lub w stanach awaryjnych stacji ochrony katodowej.

Margines tolerancji wad powłoki przeciwkorozyjnej wykonanej z nowoczesnych materiałów izolacyjnych jest znacznie mniejszy. W odróżnieniu od tradycyjnych izolacji - skutków tych nieprawidłowości nie będzie mogła wyeliminować w szeregu przypadkach ochrona katodowa. Z tego względu takie cechy jak szczelność, grubość, a w szczególności przyczepność materiałów izolacyjnych do podłoża metalowego rury - powinny być ściśle kontrolowane, a wszelkiego rodzaju uszkodzenia i wady - skrupulatnie usuwane.

Badania korozyjne rurociągów

W tabl. 1 przedstawiono porównanie współczesnych technik pomiarowych stosowanych do oceny zagrożenia korozyjnego rurociągów oraz skuteczności ich zabezpieczenia przeciwkorozyjnego [12]. Zawiera ona w skrótovej formie informacje o najczęściej wykorzystywanych metodach badawczych do określania stanu technicznego rurociągów, a w szczególności ich zabezpieczenia przeciwkorozyjnego.

Tabela 1. Porównanie technik pomiarowych stosowanych w badaniach korozyjnych rurociągów.

TECHNIKA POMIAROWA	MOŻLIWOŚCI METODY	ZALETY	WADY
<p>Inteligentny czujnik Intelligent pigging</p> <p>(przepychany wewnątrz rurociągu wraz z transportowanym medium komputer pomiarowy, który rejestruje techniką ultradźwiękową lub magnetyczną grubość ścianki rurociągu)</p>	wykrywanie defektów rurociągu oraz ubytku grubości ścianek	wykrywanie ubytków po zewnętrznej i wewnętrznej stronie ścianki rurociągu	ograniczenia w przypadku rurociągów z wewnętrznymi powłokami, brak możliwości stosowania do rurociągów o małych średnicach, brak możliwości wykrywania efektywnie przebiegających procesów korozyjnych, nie można umiejscowić ubytku metalu w spoinie
<p>Kalibrujący czujnik Caliper pigging</p>	wykrywanie deformacji ścianek rurociągu oraz korozji wewnętrznej	wykrywanie małych wklęśnięć, wykrywanie dużych powierzchni wewnętrznej korozji	nie wykrywa małych głębokich wżerów, nie wykrywa zewnętrznej korozji
<p>Metoda Pearsona</p> <p>(pomiar na powierzchni ziemi spadków napięcia przemiennego wygenerowanego w rurociągu)</p>	wykrywanie defektów powłok oraz innych obiektów metalowych, możliwość zastosowania bez istnienia instalacji ochrony katodowej	lokalizacja wszystkich defektów i metalowych obiektów, dostarcza informacji o wielkości uszkodzenia	wymagana jest inspekcja całego rurociągu, nie ma rozróżnienia pomiędzy defektami powłoki i innymi metalowymi obiektami nie można ocenić efektywności ochrony katodowej, nie można określić korozji
<p>Pomiary zaniku prądu Current attenuation survey</p> <p>(pomiar pola elektromagnetycznego wywołanego przez przemienny prąd pomiarowy)</p>	wykrywanie defektów powłoki	nie jest wymagana inspekcja całego rurociągu, lokalizacja wad o niskiej rezystancji przejścia do ziemi, może być stosowana w przypadku pomiarów pod utwardzoną powierzchnią, wskazuje wielkość uszkodzenia, metoda jest powtarzalna	nie można wykryć wad o wysokiej rezystancji przejścia do ziemi, nie można wykrywać innych metalowych obiektów, nie można ocenić efektywności ochrony katodowej, mała możliwość wykrywania odwarstwienia powłoki, nie można określić zasięgu korozji

TECHNIKA POMIAROWA	MOŻLIWOŚCI METODY	ZALETY	WADY
Pomiary intensywne Close interval polarized potential survey	wykrywanie defektów powłoki, ocena efektywności ochrony katodowej	lokalizacja niedochronionych obszarów, lokalizacja defektów powłoki, wskazanie wielkości uszkodzenia	wymaga inspekcji całego rurociągu, może nie wskazywać rozwarstwienia powłoki, nie określa korozji
Technika gradientowa DC voltage gradient survey (pomiar spadków napięcia na powierzchni ziemi przy przerwanej pracy ochrony katodowej)	wykrywanie defektów powłoki	lokalizacja wszystkich defektów, możliwość oceny wielkości uszkodzenia, możliwość wykrycia efektywnie przebiegających procesów korozyjnych, nie ulega zakłóceniom przez prąd zmienny	wymaga inspekcji całego rurociągu, nie pozwala na ocenę efektywności ochrony katodowej, może nie wskazywać rozwarstwienia powłoki, nie wskazuje zasięgu korozji, nie rejestruje defektów w sposób ciągły
Odkopywanie rurociągu, pomiary fizyczne i nieniszczące	wykrywanie obszarów korozji, niektórych defektów ścianek rurociągów oraz uszkodzeń powłoki	technika rozstrzygająca	akceptowana i stosowana tylko w przypadku, gdy inne techniki wskazują znaczące defekty

Z przytoczonych danych wyraźnie wynika duże zróżnicowanie technik pomiarowych. Inteligentne czujniki nie pozwalają na umiejscowienie ubytków metalu w spoinie oraz nie nadają się do wykorzystania przy małych średnicach rurociągów, które zwykle w znacznym stopniu ulegają korozji. Pomiary intensywne, które obecnie mogą być wykonywane z wykorzystaniem sygnałów satelitarnych, dobrze nadają się do oceny efektywności ochrony katodowej, lecz nie określają zasięgu korozji i nie wskazują na rozwarstwienie powłoki (cathodic disbondment). Pomiary zanikania prądu służą do wykrywania defektów powłoki ochronnej, lecz mają ograniczenie i nie nadają się do wykrywania uszkodzeń powłoki o wysokiej rezystancji oraz nie umożliwiają oceny efektywności ochrony katodowej. Technika gradientowa coraz bardziej zyskuje uznanie specjalistów do badania defektów izolacji na rurociągach, lecz nie nadaje się do oceny ochrony katodowej. Technika gradientowa ostatnio była z powodzeniem stosowana przez Anglików w Rosji do wykrycia uszkodzeń izolacji i awaryjnych korozyjnych pęknięć gazociągów spowodowanych między innymi środowiskiem węglanów i kwaśnych węglanów [13].

Do metod diagnostycznych jakości izolacji należy włączyć również stosunkowo łatwą do przeprowadzenia analizę polaryzacji katodowej rurociągu. Na wielkość prądu ochrony katodowej wpływa szereg czynników, jednak w typowych warunkach zasadniczą rolę odgrywają rezystywność środowiska i rezystancja przejścia rurociągu. Analizując zatem wartość gęstości prądu ochrony katodowej, a także jej zmiany w czasie, można wyciągać wnioski o stanie technicznym przeciwkorozyjnej powłoki izolacyjnej. I odwrotnie, znając rodzaj i jakość izolacji przeciwkorozyjnej, można prognozować wielkość zapotrzebowania prądowego ochrony katodowej.

W ostatnim okresie pomiary intensywne, umożliwiające ocenę zarówno jakości izolacji jak również skuteczności ochrony katodowej, znajdują coraz większe zainteresowanie praktyków, chociaż są niezwykle uciążliwe w wykonaniu.

Nie ulega wątpliwości, że w celu uzyskania możliwie pełnej informacji o stopniu zagrożenia korozyjnego rurociągu i skuteczności zastosowanej ochrony przeciwkorozyjnej należy posługiwać się nie jedną z wyżej wymienionych technik badawczych, lecz kilkoma w zależności od potrzeb i lokalnej sytuacji. Należy się w tym względzie kierować przesłankami, które na podstawie przeglądu literaturowego sformułował Sloan [14]. Wyciągnął on następujące wnioski dotyczące problematyki ochrony przeciwkorozyjnej rurociągów:

- istotne znaczenie w ochronie rurociągów ma selekcja izolacji i prawidłowe jej nałożenie,
- ochrona katodowa powinna uzupełnić niedoskonały efekt ochronny izolacji celem osiągnięcia 100% zabezpieczenia przeciwkorozyjnego,
- badania polowe są bardziej niezawodne niż badania laboratoryjne,
- badania adhezji nie korelują z problemem katodowego odwarstwiania izolacji,
- badanie katodowego odwarstwiania jest najlepszą próbą przydatności izolacji,
- najlepszym miernikiem jakości założonej izolacji jest gęstość prądu ochrony katodowej,
- duże znaczenie ma dobór optymalnej grubości powłoki izolacyjnej,
- jednym z najważniejszych czynników wpływających na własności ochronne izolacji są naprężenia wywołane przez ziemię.

Należy wyraźnie zaznaczyć, że elektrochemiczna ochrona stanowi integralną część systemu zabezpieczenia przeciwkorozyjnego rurociągów. Odgrywa ona równocenną rolę w tym systemie i technologii tej należy poświęcać tak samo wnikliwą uwagę jak w stosunku do badania jakości izolacji przeciwkorozyjnych. Wbrew obiegowym poglądom, przy wzroście jakości izolacji, jej rola nieoczekiwanie również rośnie.

Monitorowanie korozji i skuteczności ochrony przeciwkorozyjnej rurociągów

Stosowany od niedawna w języku polskim termin "monitorowanie korozji" pochodzi od angielskiego "corrosion monitoring" i oznacza dosłownie kontrolę, ostrzeganie lub sygnalizację procesów korozji. W szerszym rozumieniu monitorowanie korozji oznacza pozyskiwanie różnego typu informacji o procesach korozyjnych zachodzących w warunkach rzeczywistych na obiektach technicznych. Zależnie od zastosowanej metody pomiarów, systemy monitorowania mogą dostarczać okresowych lub ciągłych danych o stanie zniszczeń korozyjnych obserwowanych obiektów, ich zagrożeniu korozyjnym lub skuteczności zastosowanych zabezpieczeń. Monitorowanie korozji stanowi młodą, prężnie rozwijającą się dyscyplinę warunkującą prawidłową eksploatację współcześnie tworzonych obiektów technicznych. W systemy monitorowania korozji wyposażane są obecnie w krajach wysokouprzemysłowionych wszystkie ważniejsze obiekty i instalacje przemysłowe.

W zakres monitorowania wchodzi cały szereg metod bezpośredniego lub pośredniego wyznaczania szybkości procesów korozyjnych na różnego rodzaju obiektach. Wszystkie omówione wcześniej techniki pomiarowe mogą być zakwalifikowane do tego zakresu. W tabl. 2 zestawione zostały nowoczesne techniki badania korozji, które są lub rokują nadzieję na wykorzystanie do monitorowania procesów korozyjnych na rurociągach podziemnych.

Tabela 2. Nowe techniki możliwe do wykorzystania w monitorowaniu korozji rurociągów.

Metody fizyczne	Kupony korozyjne Korozymetria rezystancyjna
Metody elektrochemiczne	Pomiary potencjałowe Rezystancja polaryzacyjna Polaryzacja potencjodynamiczna Zeroamperometria (ZRA) Elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna (EIS) Elektrochemiczne szумы (ECN, EPN) Analiza harmoniczna (HIS)

Ostatnio firma Solartron przekazała do sprzedaży przenośny system do monitorowania procesu korozji - model 1280 CM łącznie z oprogramowaniem OMEGA Pro. Zestaw jest połączeniem dwu przyrządów w jednej obudowie: interfejsu elektrochemicznego oraz analizatora charakterystyki częstotliwościowej w zakresie 1 mHz - 20 kHz. Katedra Technologii Zabezpieczeń Przeciwkorozyjnych kupuje obecnie ten aparat w Anglii w celu podjęcia badań nad zastosowaniem analizy harmonicznej do oceny skuteczności ochrony katodowej oraz badania kinetyki procesu korozji stali. Katedra posiada aparaturę do badania szumów elektrochemicznych, które jak wskazują doniesienia, wykorzystano już do monitorowania korozji [15].

Zasadniczym powodem wprowadzania systemów monitorowania pracy instalacji ochrony katodowej jest umożliwienie obserwacji stanu technicznego lub parametrów pracy urządzeń bez potrzeby angażowania do tego celu czasu specjalisty i pracy sprzętu (transport). Dla rurociągów magistralnych, na dużych przestrzeniach eliminuje się w ten sposób także błędy lub nieuczciwość personelu dokonującego przeglądu instalacji. W niektórych systemach wyniki pomiarów są rejestrowane i stanowią dokumentację pracy chronionego rurociągu.

Dobór systemu monitorowania do indywidualnych potrzeb jest procesem dość złożonym. Wymaga kompromisu pomiędzy chęcią wykorzystania współczesnych możliwości mikroelektroniki a zapewnieniem niezawodności systemu, pomiędzy chęcią gromadzenia interesujących informacji a zasadniczą funkcją systemu kontrolnego, pomiędzy kosztem systemu monitorowania a uciążliwością wykorzystywania do tego celu pracy ludzkiej. Z drugiej strony systemy monitorowania wprowadza się dla obserwacji ważnych zjawisk i kontroli istotnych procesów technologicznych. Uzyskanie wymaganej odpowiednio wysokiej jakości w takiej sytuacji może zapewnić wyłącznie profesjonalny sprzęt, wykonywany wg specjalnych wymagań, a tym samym drogi. Pomimo ograniczeń rozwija się zdalne monitorowanie zagrożenia korozyjnego, które pozwala na przejęcie wszystkich funkcji pomiarowych wykonywanych na obiekcie przez zdalnie sterowany układ mikrokomputerowy.

W aktualnej sytuacji najpowszechniej stosuje się monitorowanie potencjału rurociągu w punktach kontrolno-pomiarowych w warunkach polaryzacji katodowej. Coraz częściej uwzględnia się w tych pomiarach eliminowanie omowego spadku napięcia. Rozpoczyna się także wprowadzać niezbędne do tego celu sondy korozyjne i elektrody symulacyjne. Tylko w drodze postępu i wprowadzania coraz to nowszych, doskonalszych metod monitorowania korozji rurociągów możliwe będzie zagwarantowanie bezpiecznej i długotrwałej ich eksploatacji. Prace badawcze w tym zakresie prowadzone są w Katedrze Technologii Zabezpieczeń Przeciwkorozyjnych Politechniki Gdańskiej od szeregu lat [16-20].

Podsumowanie

Zainteresowanie metodami monitorowania korozji rurociągów stale wzrasta, bowiem około 50% nieplanowanych postojów w trakcie transportu ropy, gazu, elektryczności, wyrobów chemicznych jest powodowane awariami korozyjnymi. Z pewnością niektóre szczególne przypadki, jak np. zaistniałe w okresie ostatniej zimy wybuchy gazu, nie miałyby miejsca, gdyby wprowadzone były i wykorzystywane w szerszej skali metody oceny skuteczności zabezpieczeń przeciwkorozyjnych rurociągów podziemnych.

Eksploatacja rurociągów podziemnych i ich ochrona przeciwkorozyjna, w szczególności tych obiektów o istotnym znaczeniu gospodarczym, musi przejść w bardziej nowoczesną fazę rozwojową, która wynika z ogólnego postępu techniki, szerokiego wprowadzania komputeryzacji i automatyzacji, nowych wyzwań stawianych przez ochronę środowiska. Nie ulega najmniejszej wątpliwości, że wprowadzenie w kraju nowoczesnych systemów monitorowania ochrony przeciwkorozyjnej rurociągów, podobnie jak to już się robi w krajach Wspólnoty Europejskiej, nastąpi w najbliższym czasie.

Na podstawie analizy zaprezentowanych technik monitorowania zagrożenia korozyjnego rurociągów i uzyskiwanych, za ich pomocą rezultatów można, w odniesieniu do współcześnie stosowanych technik izolacji przeciwkorozyjnej rurociągów oraz systemów ochrony katodowej, sformułować następujące wnioski:

- ryzyko awarii korozyjnych dobrze zaizolowanych rurociągów, przy prawidłowo zaprojektowanej, wykonanej i monitorowanej instalacji ochrony katodowej, jest niewielkie,
- ponieważ trudno jest zapewnić efekt pełnej ochrony katodowej w rozległych uszkodzeniach izolacji i jednocześnie nie spowodować przechronienia w nieciągłościach izolacji o niewielkiej powierzchni, konieczne jest dopuszczanie do eksploatacji izolacji o możliwie małej wrażliwości na odwarstwianie katodowe, wykrywanie i usuwanie dużych defektów izolacji na rurociągach oraz staranne kontrolowanie parametrów polaryzacji katodowej i skuteczności ochrony elektrochemicznej,
- do oceny zabezpieczenia przeciwkorozyjnego rurociągów, tj. zarówno jakości izolacji jak również skuteczności ochrony katodowej, należy zalecić stosowanie pomiarów intensywnych, które można prowadzić nawet przy wykorzystaniu klasycznego sprzętu do pomiarów potencjału,
- do szybkiej oceny wielkości uszkodzeń izolacji na zakopanych rurociągach można zalecić stosowanie próbną polaryzacji katodowej oraz nieco łatwiejszej w wykonaniu niż pomiary intensywne - techniki gradientowej,
- konieczne jest podjęcie szerszych badań nad przyczynami i sposobami eliminowania odwarstwień izolacji oraz korozji mikrobiologicznej rurociągów w warunkach ochrony katodowej.

W naszym kraju problem ochrony przeciwkorozyjnej nabiera szczególnego znaczenia, bowiem według specjalistów krajowe straty z tytułu korozji w gospodarce sięgają od 6 do 10% produktu narodowego brutto. Tematyce tej będzie między innymi poświęcona V Ogólnopolska Konferencja „Korozja'96”, która odbędzie się w dniach 17-20 września 1996 r. w Politechnice Gdańskiej.

Praca wykonana w ramach działalności statutowej Politechniki Gdańskiej.

Literatura

1. J. Polak: Katodicka protikorozi ochrana a zpusoby snizovani koroze bludnymi proudy, Chemoprojekt, Praha 1992.
2. B. Husock, R. Wilson: Materials Performance, **23**, (8) 26 (1984).
3. I. Solomon: Cost Effective Pipeline Maintenance Using Modern Coating Surveys, NACE, Corrosion'89, Paper 416, 1989.
4. W. von Baeckman, W. Schwenk: Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes. Weinheim, Verlag Chemie GmbH 1980.
5. F. W. Hewes. Materials Performance, **8**, (9) 67 (1969).
6. J. Leed: Interaction between coatings and cathodic protection: a fundamental review, Proc. Prevention of Pipeline Corrosion Conference, Houston, 1994.
7. P.E. Partridge: Testing methods for underground pipeline coatings, NACE Annual Conference CORROSION'91, paper 352.
8. W.H. Thomason, K.P. Fischer: Design considerations for CP systems with coatings, NACE Annual Conference CORROSION'92, paper 424.
9. F. Gan, Z.W. Sun, G. Sabde, D.T. Chin: Cathodic protection to mitigate external corrosion of underground steel pipe beneath disbanded coating, Corrosion, **50**, 804, 1994.
10. T.Scott i inni: The role of coatings and cathodic protection in microbiologically influenced corrosion, NACE Annual Conference CORROSION'93, Paper 293, 1993.
11. J.M. Jones i inni: Microbial and Electrochemical Studies of Coated Steel Exposed to Mixed Microbial Communities Corrosion, NACE Annual Conference CORROSION'91, Paper 108, 1991.
12. D.W. Harvey: Maintaining Integrity on Buried Pipelines, Mater. Perform. **33**, (8), 23 (1994).
13. G. Dowling i inni: Analysis of multiple natural gas transmission pipelines in western Siberia. Proc. Conference „Corrosion prevention of the European Gas Grid System”, Amsterdam 1995.
14. R.N. Sloan: 50 Years of Pipe Coatings We've Come a Long Way, NACE Annual Conference CORROSION'93, Paper 17, 1993.
15. D. A. Eden i inni: USA Patent nr 5139627.
16. R. Juchniewicz i inni: Kryteria i optymalizacja ochrony katodowej, Grant KBN nr 705869101.
17. J. Jankowski: Monitorowanie skuteczności ochrony katodowej konstrukcji stalowych, Grant KBN nr 75081304010.
18. W. Sokólski: Ochr. przed Korozją, **38**, 173 (1995).
19. J. Walaszkowski, J. Orlikowski, R. Juchniewicz: Corros. Sci., **37** (4), 645 (1995).
20. R. Juchniewicz, W. Sokólski: Ochrona katodowa rurociągów, Rurociagi, **1**, 1, 1995.