

V Krajowa Konferencja  
POMIARY KOROZYJNE W OCHRONIE ELEKTROCHEMICZNEJ

V National Conference  
CORROSION MEASUREMENTS IN ELECTROCHEMICAL PROTECTION

2 - 4. 06. 1998 Jurata, Poland



---

**AKTUALNE PROBLEMY OCHRONY KATODOWEJ RUROCIĄGÓW**

**PRESENT PROBLEMS OF CATHODIC PROTECTION OF PIPELINES**

Wojciech Sokólski

Polski Komitet Elektrochemicznej Ochrony przed Korozją SEP

słowa kluczowe: rurociągi, ochrona katodowa, kryteria ochrony, uszkodzenia izolacji,  
monitorowanie skuteczności ochrony, prądy błądzące

keywords: pipelines, cathodic protection, protection criteria, damage of insulation, monitoring  
of protection effectiveness, stray currents

**Streszczenie**

Przedstawiono wybrane aktualne problemy ochrony katodowej rurociągow w Polsce. Zwrócono uwagę na proces normalizacji ochrony elektrochemicznej na szczeblu europejskim oraz potrzebę szybkiego wprowadzenia opracowywanych norm do działalności technicznej. Wskazano na problemy, które pojawiły się wraz z wprowadzeniem rur o bardzo dobrej izolacji przeciwkorozyjnej. Omówiono problemy z oceną skuteczności ochrony katodowej oraz potrzebę lokalizacji uszkodzeń w izolacji przeciwkorozyjnej rurociągow. Zwrócono uwagę na aspekty techniczne i ekonomiczne stosowanych w tym zakresie metod pomiarowych. Wskazano na potrzebę monitorowania skuteczności ochrony katodowej oraz jakości izolacji rurociągu podczas eksploatacji, zwłaszcza w obecności prądów błądzących.

**Summary**

Chosen problems of cathodic protection of pipelines in Poland have been presented. The normalisation process of electrochemical protection in Europe has been pointed out and the need for rapid introduction of elaborated standards to technical activities. Problems have been indicated which appeared with introduction of pipelines with very good anticorrosion insulation. Problems have been discussed with evaluation of the effectiveness of cathodic protection and the need for localisation of defects in the anticorrosion insulation of pipelines. Technical and economical aspects used in this scope of measurement methods have been discussed. The need has been pointed out for monitoring the effectiveness of cathodic protection and the quality of insulation of pipelines during use, especially in the presence of stray currents.

## **Wprowadzenie**

Technologia ochrony przed korozją rurociągów za pomocą polaryzacji katodowej znacząco rozwinęła się w USA w latach trzydziestych bieżącego stulecia, pomimo tego, że jej sporadyczne zastosowania znane były w okresie wcześniejszym. W Europie szeroko wprowadzona została w praktyce dopiero w okresie powojennym. Obecnie w większości rozwiniętych technicznie krajów obowiązują przepisy nakazujące stosowanie ochrony katodowej do wszystkich zakopanych i podwodnych konstrukcji metalowych.

W Polsce nakaz taki, wynikający z Prawa Budowlanego, dotyczy jedynie magistralnych gazociągów i naftociągów [1,2]. Obligatoryjne jest także stosowanie Polskich Norm z zakresu ochrony katodowej [3-6], jednak dotyczą one jedynie podstawowych warunków technicznych, jakim powinna odpowiadać ta technologia ochrony przeciwkorozyjnej. Wymagania postawione w tych normach są przestarzałe, niektóre z nich powinny być obecnie znacznie zmodyfikowane.

Od kilku lat w Europejskim Komitecie Normalizacyjnym trwają prace nad przygotowaniem norm z zakresu ochrony elektrochemicznej. Pracami kieruje grupa robocza TC262 „Ochrona materiałów metalowych przed korozją”. Na różnym etapie przygotowania znajduje się szereg norm dotyczących ochrony katodowej konstrukcji podziemnych i podwodnych opracowany przez Podkomitet SC2 „Ochrona katodowa” [7-16].

Uwarunkowania międzynarodowe, nakazujące wprowadzenie w najbliższym czasie w Polsce Norm Europejskich powoduje, że podjęcie obecnie prac nad nowelizacją własnych aktów prawnych mija się z celem. Nieco wyższy poziom techniczny krajów europejskich, zarówno w zakresie technologii jak i stosowanych materiałów, może być przyjęty w Polsce z pewnymi problemami. Będą one potęgowane już wyraźnie zarysowanymi się trudnościami ze zrozumieniem nowych metod technicznych i organizacyjnych związanych z nowoczesnymi koncepcjami budowy oraz eksploatacji ochrony katodowej.

## **Izolacje przeciwkorozyjne rurociągów**

Współcześnie do budowy rurociągów wykorzystuje się niemal wyłącznie rury fabrycznie wyposażone w odpowiedniej jakości izolację przeciwkorozyjną - również w Polsce, w oparciu o licencje zagraniczne i importowane materiały. Na placu budowy zabezpiecza się jedynie miejsca połączeń spawanych poszczególnych odcinków. Obecnie najpopularniejszą jest izolacja polietylenowa trójwarstwowa (3LPE). Składa się zwykle z podkładu (primera) z duroplastycznego epoksydu (Fusion Bonded Epoksyd - FBE), ekstrudowanego wokół rury polietylenowego kopolimeru (kleju) oraz grubej zewnętrznej warstwy twardego polietylenu. Oczywiście - pomimo bardzo dobrej jakości powłoki - stosuje się nadal do zabezpieczenia przeciwkorozyjnego rurociągów ochronę katodową.

Na wielkość prądu ochrony katodowej rurociągu wpływa szereg czynników, jednak w typowych warunkach zasadniczą rolę odgrywają rezystywność środowiska i rezystancja izolacji przeciwkorozyjnej 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.

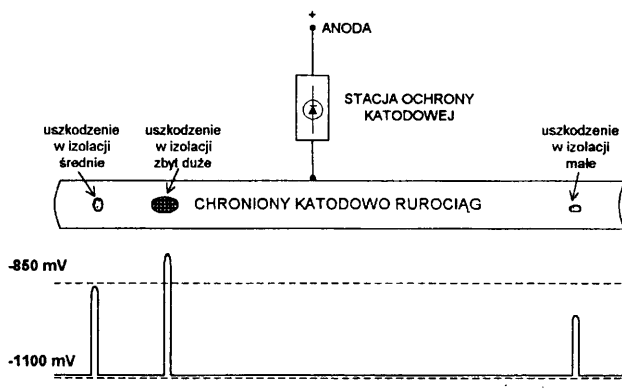
Wartość jednostkowej rezystancji izolacji w warunkach rzeczywistych, będąca miarą jej jakości, zależy nie tylko od rodzaju materiału lub zastosowanego systemu izolacyjnego, ale także od rezystywności środowiska. Mniejszą rolę w tworzeniu rezystancji przejścia prądu ochrony katodowej odgrywa wartość rezystancji jednostkowej samej izolacji w porównaniu z liczbą i wielkością występujących w niej defektów. Im większa jest mechaniczna

wytrzymałość powłoki, tym mniejsza jest ilość defektów, a tym samym większa sumaryczna rezystancja jednostkowa izolacji i mniejsza średnia gęstość prądu ochrony.

Z powyższego wynika, że przy stosowaniu nowoczesnych materiałów izolacyjnych (o odpowiednio wysokich własnościach elektrycznych i mechanicznych) ich walory przeciwkorozyjne, a tym samym także niezbędne parametry instalacji ochrony katodowej, praktycznie nie zależą od rodzaju zastosowanych materiałów, natomiast zależą przede wszystkim od sumarycznej powierzchni defektów w izolacji, tj. głównie od jakości i kultury technicznej prowadzonych prac podczas montażu rur i odbioru jakościowego izolacji poszczególnych fragmentów oraz całego rurociągu. Dzięki odpowiedniemu reżimowi postępowania przy budowie rurociągu można obecnie postawić wymaganie uzyskania średniej jednostkowej rezystancji izolacji powłok polietylenowych na poziomie  $10^5 + 10^7 \Omega m^2$  [17]. Można uzyskać wtedy wartości prądu ochrony rzędu  $\mu A/m^2$ .

Uzyskanie w czasie budowy rurociągu jak najlepszych parametrów elektrycznych izolacji przeciwkorozyjnej jest podstawowym warunkiem umożliwiającym racjonalne eksploataowanie w przyszłości jego ochrony katodowej. W przypadku rurociągu posiadającego bardzo dobrą izolację przeciwkorozyjną, której przewodnictwo prądu może być całkowicie zaniedbane, obwód ochrony katodowej zamyka się wyłącznie poprzez uszkodzenia powłoki. Warunki polaryzacji stali w miejscu uszkodzenia izolacji będą zależały od wielkości (powierzchni) uszkodzenia, jego kształtu i odległości od układu anodowego. Uzyskiwany w takich warunkach rozkład potencjału ma charakter dyskretny. Schemat ochrony katodowej rurociągu z bardzo dobrą izolacją przeciwkorozyjną został przedstawiony na Rys. 1.

*Rys. 1. Schemat ochrony katodowej rurociągu z uszkodzeniami w izolacji oraz odpowiadający mu rozkład potencjału wzdłuż rurociągu.*



Wartość potencjału w miejscu uszkodzenia powłoki zależna jest od wielkości powierzchni stali kontaktującej się ze środowiskiem elektrolitycznym: im powierzchnia większa, tym mniejsza polaryzacja katodowa. W końcowym rezultacie może wystąpić taka sytuacja (jak na rysunku), że pomimo utrzymania na całym rurociągu potencjału ochronnego, w miejscu znacznego uszkodzenia izolacji mogą nie być spełnione warunki pełnej ochrony katodowej.

Niestety niedogodności tej nie można wyeliminować poprzez zwiększenie parametrów pracy instalacji ochrony katodowej - grozi to bowiem wywołaniem szkodliwych efektów (przechronienia) w defektach mniejszych. Jak z powyższego wynika, znaczną niedogodnością eksploatacji instalacji ochrony katodowej rurociągu z bardzo dobrą, nowoczesną izolacją

przeciwkorozyjną jest konieczność wykrywania defektów izolacji wzdłuż całego obiektu, określania ich rozmiarów i w razie potrzeby dokonywanie napraw izolacji, gdzie wielkość defektów przekracza dopuszczalne rozmiary. Również kontrola pracy instalacji ochrony katodowej - a więc jej skuteczności - wymaga okresowego dokonywania pomiarów wzdłuż całego rurociągu.

Przedstawiona powyżej sytuacja wywołała sporo problemów technicznych oraz zmusza obecnie do nieco innego - niestety znacznie bardziej kosztownego - podejścia do eksploatacji systemów ochrony katodowej [18-22]. Konieczne są nie tylko odpowiednie rozwiązania techniczne, procedury postępowania i odpowiedni sprzęt, ale także w znacznie wyższym stopniu niż dotychczas przeszkolony specjalistyczny personel.

Ponadto stosowanie bardzo dobrych izolacji polietylenowych na rurociągach podziemnych stwarza szereg innych problemów technicznych, które nie zostały tu omówione, związanych wyłącznie z oddziaływaniami elektrycznymi. Powodowane są one przez indukowanie się w rurociągach niebezpiecznych napięć oraz występowanie przepięć od urządzeń energetycznych, eliminowanie których znacznie komplikuje i podraża również instalacje ochrony katodowej.

Problemy te nie są jeszcze w zadawalający sposób rozwiązane.

### Pomiary intensywne

Podniesienie wymagań jakościowych w stosunku do ochrony przeciwkorozyjnej jest jednym z elementów zarysowującej się strategii zapewniającej niezawodność pracy rurociągów. Prowadzenie zatem pomiarów jakości zabezpieczenia, w tym rozmieszczenia i wielkości uszkodzeń izolacji przeciwkorozyjnej oraz skuteczności ochrony katodowej w tych uszkodzeniach, jest już obecnie i stanowić będzie w przyszłości jedno z zasadniczych kryteriów oceny ryzyka eksploatacji rurociągów. Niestety jest ono bardzo kosztowne.

Defekty w izolacji wykrywa się przy użyciu różnego rodzaju metod elektrycznych. Prąd wpływający do rurociągu poprzez defekt w izolacji przeciwkorozyjnej  $I_d$  (dla uproszczenia o powierzchni kołowej) może być opisany następującą zależnością [8,9]:

$$I_d = \frac{E_\infty - E_d}{R_p + R_e + R_r}$$

$$R_p = \frac{4r_p}{\pi d^2}; \quad R_e = \frac{4l\rho_e}{\pi d^2}; \quad R_r = \frac{\rho_g}{2d}$$

gdzie:

$E_\infty - E_d$  - różnica potencjału „odległej ziemi” i potencjału metalu w dnie defektu izolacji, tj. omowy spadek napięcia IR spowodowany prądem polaryzacji dna defektu,

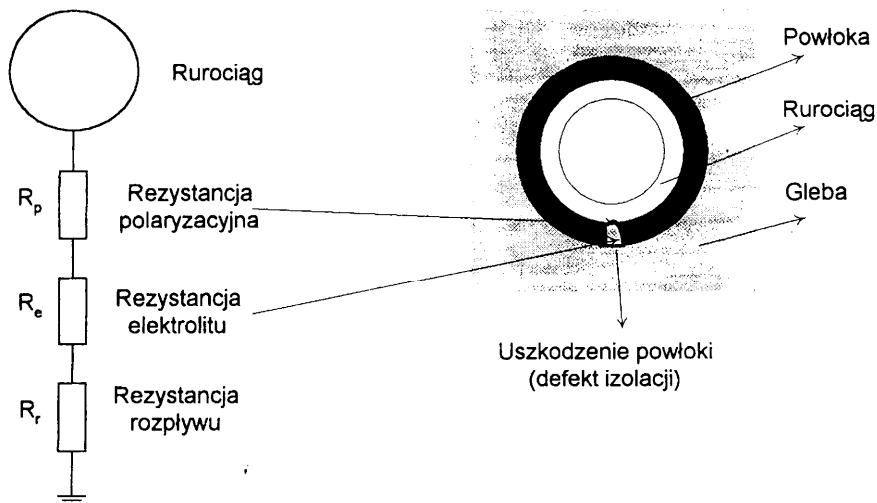
$R_p, r_p$  - rezystancja i rezystywność polaryzacji metalu w dnie defektu izolacji (pojemność warstwy podwójnej została pominięta),

$R_e, \rho_e$  - rezystancja i rezystywność elektrolitu wewnątrz defektu izolacji,

$R_r, \rho_g$  - rezystancja rozptywu i rezystywność gruntu,

$d, l$  - średnica i głębokość defektu (grubość izolacji przeciwkorozyjnej).

Odpowiadający powyższej zależności matematycznej schemat przepływu prądu ochrony katodowej przez defekt w izolacji ilustruje Rys. 2.



Rys. 2. Schemat elektryczny defektu izolacji.

Prąd ochrony katodowej danego odcinka rurociągu stanowi więc sumę prądów płynących poprzez uszkodzenia w izolacji przeciwkorozyjnej. Zważywszy więc, że powłoka jest z technicznego punktu widzenia dielektrykiem, jednostkowa rezystancja izolacji, zmierzona po zakopaniu rurociągu, uzależniona jest od własności elektrochemicznych na granicy stal/elektrolit wewnątrz defektu, własności elektrycznych elektrolitu w defekcie i otaczającej ziemi oraz od wymiarów geometrycznych defektu.

Badanie jakości izolacji na rurociągach podziemnych jest znane od dawna i przez szereg lat powszechnie stosowana była do tego celu zmiennoprądowa metoda Paersona [23]. Obecnie większość metod posługuje się prądem stałym i wykorzystuje stacje ochrony katodowej jako źródło sygnału pomiarowego. Stwarza to kolejne, zazwyczaj kosztowne, problemy: potrzebę przystosowania stacji ochrony katodowej do pracy przerywanej, szczególnie urządzeń ze sterowaniem automatycznym, oraz wzajemnej synchronizacji sąsiednich źródeł prądu. Do synchronizacji stacji stosuje się przerywacze sterowane generatorami kwarcowymi lub różnymi sygnałami radiowymi (np. DCF77, GPS).

Wykorzystanie prądu stałego stacji ochrony katodowej w technice wykrywania uszkodzeń izolacji ma szereg zalet. Do najważniejszych z nich należy zaliczyć wykonywanie pomiarów w warunkach bardzo zbliżonych do normalnej eksploatacji systemu ochrony katodowej. Po wykryciu wady możliwe jest wykonanie w tym miejscu pomiaru rzeczywistej wartości potencjału i oszacowanie skuteczności polaryzacji katodowej. Niestety, przy bardzo dobrych izolacjach przeciwkorozyjnych, gdy prąd ochrony katodowej jest niewielki, pojawia się bardzo istotny problem - sygnał pomiarowy jest zbyt mały i nie nadaje się do interpretacji. Jeśli nie zrezygnuje się z takiej metody pomiarowej istnieje wtedy konieczność zwiększenia prądu wyjściowego stacji ochrony katodowej, co dla obiektu nowego, o nieznanym poziomie i wielkości uszkodzeń w izolacji, może wywołać w czasie tych pomiarów nadmierną polaryzację.

Zasada pomiaru polega na wykonywaniu odczytów potencjału i/lub gradientu napięcia na powierzchni ziemi wzdłuż trasy rurociągu w określonych odstępach, zwykle mniejszych od 5 m, przy naprzemiennie włączonym i wyłączonym źródle prądu stałego (jednej lub kilku stacji ochrony katodowej). Gradienty - spadki napięć określone na powierzchni ziemi względem dwóch jednakowych niepolaryzujących się elektrod odniesienia, mierzy się wzdłuż osi rurociągu lub prostopadle do niego. Przy ocenie skuteczności ochrony katodowej i eliminowaniu składowej omowej drogą obliczeniową konieczne jest zmierzenie dwóch gradientów w kierunkach prostopadłych do osi rurociągu (min. 30 m).

W nazewnictwie polskim nie ma jeszcze odpowiedniego określenia na całą grupę pomiarów wykonywaną w opisany powyżej sposób. Najczęściej używana jest nazwa „pomiaru intensywny”, chociaż nie jest ona jednoznaczna, bo obejmuje pomiary potencjałów (CIPS - Close Interval Potential Survey), pomiary gradientów (IFO - Intensive Fault Location, DCVG - Direct Current Voltage Gradients) oraz obie te techniki łącznie (Intensivmessung). Techniki te różnią się między sobą dość znacznie, mają swoje zalety i wady - ich wspólną cechą jest konieczność przejścia zwykle kilkusobowej ekipy pomiarowej nad osią rurociągu na całą jego długość.

Można już obecnie prognozować, że metody pomiarów intensywnych będą odpowiednimi normami obligatoryjnie wprowadzone do stosowania na odpowiedzialnych obiektach - gazociągach oraz naftociągach dalekosiężnych i staną się rutynową techniką badawczą wspomagającą zarządzanie ryzykiem eksploatacji rurociągów. Ocena rurociągów, w zależności od ich ważności, będzie dokonywana okresowo w odstępach dwu do pięcioletnich. Nie jest więc obojętne jakie techniki pomiarowe, jakie metody zbierania i analizy wyników zostaną przyjęte do powszechnego stosowania. W Polsce nie zgromadzono jeszcze wystarczająco dużo własnych doświadczeń w zakresie pomiarów intensywnych, aby pokusić się na wybór optymalnych procedur dostosowanych do krajowych warunków. Problem ten będzie musiał być szybko rozwiązany.

### **Systemy monitorowania**

Ocena działania i skuteczności funkcjonowania instalacji oraz całych systemów ochrony katodowej rurociągów powinna być dokonywana okresowo, w odstępach czasu w zasadzie zależnych od stopnia ważności chronionych obiektów. Norma [4] nakłada jednolity obowiązek sprawdzania działania instalacji ochrony katodowej raz w miesiącu, zaś jej skuteczności i zasięgu działania - raz na pół roku. Wobec konieczności stosowania ochrony katodowej w stosunku do gazociągów i naftociągów podziemnych powyższy wymóg pociąga za sobą konieczność posiadania odpowiednich służb i ekip pomiarowych zajmujących się eksploatacją tych instalacji. Ponieważ obiekty te rozrzucone są na stosunkowo dużej przestrzeni zarysowuje się problem uzyskania z terenu wiarygodnych informacji o funkcjonowaniu ochrony katodowej.

Zdalne przesyłanie informacji o funkcjonowaniu stacji ochrony katodowej, a także wartościach potencjałów w niewralgicznych miejscach na rurociągach znane jest od dawna. Stosuje się różnorodne systemy: przesyłanie informacji za pomocą rurociągu, oddzielnej linii kablowej, telefonu czy drogą radiową. Informacje zbierane są centralnie, do przelatującego helikoptera czy przejeżdżającego obok samochodu. Obecny rozwój techniki umożliwia wykorzystanie do tego celu także techniki satelitarnej i telefonii komórkowej.

O ile monitorowanie pracy stacji ochrony katodowej, tj. uzyskanie zdalnej informacji o tym czy stacja działa (lub nawet więcej - jakie jest natężenie prądu ochrony) jest oczywiste, to pojawia się problem jak zdalnie ocenić skuteczność jej działania na rurociągu posiadającym

bardzo dobrą izolację przeciwkorozyjną, tzn. w jaki sposób i w którym miejscu dokonywać wiarygodnego pomiaru nadającego się do interpretacji. Taki problem musi być każdorazowo rozstrzygnięty przed wprowadzeniem systemu monitorowania.

Pewnym rozwiązaniem w tym zakresie może być stosowanie elektrod symulujących, jednak brak w tym zakresie w kraju wystarczająco bogatych doświadczeń. Prace w tym kierunku muszą być podjęte w najbliższym czasie.

### **Sieci rozdzielcze**

Infrastruktura w silnie rozwiniętych aglomeracjach miejskich i przemysłowych narażona jest na uszkodzenia korozyjne, zwłaszcza na szkodliwe oddziaływania prądów błędnych. Ochrona elektrochemiczna w takich warunkach wymaga zastosowania szeregu środków technicznych, przede wszystkim sekcjonowania wybranych odcinków sieci. Dla obiektów nowych warunek ten może być spełniony już na etapie projektowania rurociągu.

Dla obiektów istniejących jedynym rozwiązaniem jest stosowanie anod rozproszonych, zlokalizowanych możliwie blisko zabezpieczanych konstrukcji. Anody takie mogą być usytuowane pojedynczo, w łańcuchach lub w postaci kablowej.

W warunkach krajowych istnieją doświadczenia ze stosowania obu tych technik ochrony. Dostępne są także wszystkie niezbędne podzespoły ochrony katodowej. Celeowe jest zwiększenie zakresu prac wdrożeniowych tych technologii.

### **Podsumowanie**

Występujący dyskretny rozkład potencjału wzdłuż dobrze izolowanych rurociągów uniemożliwia stosowanie typowego, wykorzystywanego od szeregu lat, podejścia do projektowania i eksploatacji systemów ochrony katodowej obiektów z niestarannie wykonaną izolacją przeciwkorozyjną. Warunki polaryzacji katodowej stali w uszkodzeniach powłoki izolacyjnej, zróżnicowane w zależności od rodzaju, wielkości i lokalizacji defektu, decydują o skuteczności ochrony katodowej oraz zabezpieczeniu przeciwkorozyjnym całego rurociągu.

Z powyższego powodu wyłoniła się konieczność stosowania nowych technik pomiarowych, umożliwiających precyzyjne wykrywanie defektów w izolacji przeciwkorozyjnej rurociągów oraz określanie w nich skuteczności działania ochrony katodowej. Przy obecnie przyjętych i powszechnie zaakceptowanych zasadach i kryteriach ochrony katodowej takie podejście, pomimo konieczności ponoszenia znacznych nakładów finansowych na badania, jest na razie konieczne. Stwarza ono szereg nowych problemów technicznych i organizacyjnych, które muszą czekać się jednoznacznego rozwiązania - narzuca je w najbliższym czasie opracowywane obecnie Normy Europejskie.

Efektywne stosowanie nowoczesnych technologii ochrony katodowej wymaga sporo wysiłku, również finansowego, w celu pokonania występujących obecnie w tym zakresie trudności technicznych. Słowa te należy skierować do inwestorów i operatorów rurociągów, dla których ta problematyka wydaje się jeszcze ciągle odległą.

Na tle zarysowanych zaledwie kilku współczesnych problemów stosowania ochrony katodowej rurociągów uwidacznia się rola Polskiego Komitetu Elektrochemicznej Ochrony przed Korozją SEP, którego zadaniem w najbliższym czasie będzie aktywne współuczestniczenie w procesie normalizacji tej technologii na poziomie europejskim. Konieczne będzie także podjęcie w szerszym zakresie upowszechniania informacji technicznej oraz szkolenia personelu technicznego. O powodzeniu w stosowaniu ochrony katodowej rurociągów te właśnie czynniki mogą odegrać w najbliższym czasie zasadniczą rolę.

## Literatura

1. Rozporządzenie Ministra Przemysłu i Handlu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe, Dz. U. RP nr 139, poz. 686, 1995 r.
2. Rozporządzenie Ministra Przemysłu i Handlu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać bazy paliw płynnych, rurociągi dalekosiężne do transportu ropy naftowej i produktów naftowych i ich usytuowanie. Dz. U. RP nr 122, poz. 576, 1996 r.
3. PN-90/E/05030/00. Ochrona przed korozją. Elektrochemiczna ochrona katodowa. Wymagania i badania.
4. PN-90/E-05030/01. Ochrona przed korozją. Elektrochemiczna ochrona katodowa. Metalowe konstrukcje podziemne. Wymagania i badania.
5. PN-86/E-05030/05. Ochrona przed korozją. Ochrona katodowa. Anody galwaniczne. Wymagania i badania.
6. PN-92/E-05024. Ochrona przed korozją. Ograniczenie upływu prądów błędzących z trakcyjnych sieci powrotnych prądu stałego.
7. prEN 12068. Cathodic protection - External organic coatings for the corrosion protection of buried or immersed steel pipelines used in conjunction with cathodic protection - Tapes and shrinkable materials.
8. prEN 12473. General principles of cathodic protection in sea water.
9. prEN 12474. Cathodic protection for submarine pipelines.
10. prEN 12495. Cathodic protection for fixed steel offshore structures.
11. prEN 12496. Sacrificial anodes for cathodic protection in sea water.
12. prEN 12499. Internal cathodic protection of metallic structures - General principles.
13. prEN 12696-1. Cathodic protection of steel in concrete - Part 1: Atmospherically exposed concrete.
14. prEN 12954. Cathodic protection of buried or immersed metallic structures - General principles.
15. prEN 13173. Cathodic protection for steel offshore floating structures.
16. prEN 13174. Cathodic protection for harbour installation.
17. Fiedorowicz M., POZG - informacje własne, 1997.
18. Sokólski W.: Izolacje przeciwkorozyjne a ochrona katodowa rurociągów, II Międzynarodowe Sympozjum nt. "Nowoczesne materiały i technologie do zabezpieczania antykorozyjnego rurociągów", Zakopane, 1994.
19. Sokólski W.: Niektóre problemy współpracy izolacji przeciwkorozyjnych z ochroną katodową rurociągów", PROMOCJE'95, IV Konferencja Naukowo-Techniczna ANTYKOROZJA "Systemy-materiały-powłoki". Ustroń-Janaszowiec, 1995.
20. Sokólski W., Model ochrony katodowej dobrze izolowanych rurociągów, IV Ogólnopolskie Sympozjum Naukowo-Techniczne „Nowe osiągnięcia w badaniach i inżynierii Korozyjnej”, Poraj 1997.
21. Juchniewicz R., Sokólski W., Krytyczna analiza współczesnych technik monitorowania zagrożenia korozyjnego rurociągów, IV Krajowa Konferencja „Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej, Jurata 1996.
22. Orazem M.E., Esteban J.M., Kennelly K.J., Degerstedt R.M., Mathematical Models for Cathodic Protection of an Underground Pipeline with Coating Holidays, Part 1, Corrosion, **53**,264 (1997); Part 2, Corrosion, **53**, 427 (1997).
23. Baeckmann W. v., Schwenk W., Prinz W., Handbuch des kathodischen Korrosionsschutz, Expert - Verlag, Weinheim, 1989.