

Przegląd stosowanych technik ochrony przeciwkorozyjnej dla gazociągów stalowych

Review of applied corrosion protection techniques for steel pipelines

Martyna Wasielewska*

Słowa kluczowe: ochrona przeciwkorozyjna, ochrona katodowa, ochrona bierna, ochrona czynna, korozja

Streszczenie

Cel niniejszego artykułu, mającego charakter przeglądu, stanowi przedstawienie różnorodnych technik ochrony przeciwkorozyjnej, stosowanych w celu zabezpieczenia przed korodowaniem gazociągów stalowych. W niniejszym artykule wskazano również istotną rolę przeprowadzania indywidualnie dostosowanych badań oraz pomiarów ochrony przeciwkorozyjnej w kontekście zapewnienia skuteczności jej działania. Czynności te przyczyniają się do wydłużenia czasu bezawaryjnej eksploatacji gazociągów stalowych oraz zwiększenia ich żywotności.

Keywords: corrosion protection, cathodic protection, passive protection, active protection, corrosion

Abstract

The aim of this review article is to present various corrosion protection techniques used to safeguard steel pipelines against corrosion. The article also highlights the significant role of conducting individually tailored studies and measurements of corrosion protection to ensure its effectiveness. These activities contribute to prolonging the trouble-free operation time of steel pipelines and increasing their lifespan.

1. Wprowadzenie

Zapewnienie skutecznej ochrony przeciwko korozji stanowi niezwykle skomplikowaną oraz złożoną kwestię. Wdrożenie docelowych środków bezpieczeństwa poprzedza dogłębna analiza warunków środowiska, w którym posadowiony zostanie gazociąg. W tym celu konieczne jest wykonanie szeregu badań, m.in. pH oraz rezystywności gruntu. Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów, w oparciu o odpowiednie kryteria, dokonuje się analizy występujących zagrożeń. W wielu przypadkach zalecane jest wykonywanie również badań symulacyjnych, które pozwolą oszacować przyszłościowy charakter ryzyk, np. rozkład prądów indukowanych przez linie wysokiego napięcia, mogące oddziaływać na gazociąg stalowy posadowiony w gruncie. Wykonanie analizy pozwala dokonać wyboru optymalnej formy ochrony, preferowanej do konkretnego typu zagrożenia. Równie ważną kwestię stanowi wykonywanie badań kontrolnych. Zagadnienia dotyczące pomiarów parametrów ochrony biernej oraz czynnej, chociażby takie jak częstotliwość ich wykonywania, zostały znormalizowane, a do wykonywania części z nich zobowiązują obligatoryjne dokumenty prawne. Kolejnym czynnikiem niezbędnym do zapewnienia skuteczności ochrony przeciwkorozyjnej jest stałe kontrolowanie parametrów pracy elementów realizujących ochronę, monitorowanie zmieniających się zagrożeń oraz wykonywanie regularnych analiz, pozwalających ocenić poprawność działania eksploatowanego systemu ochronnego. Istnieje szereg technik oraz metod badawczych wykorzystywanych w celu dokonania oceny skuteczności zastosowanej ochrony przeciwkorozyjnej. Bardzo często zdarza się, że dopiero w wyniku kontroli okazuje się konieczne dostosowanie istniejącego systemu do nowych

zagrożeń. Dopiero spełnienie wszystkich wymienionej powyżej warunków może zapewnić skuteczną ochronę przed korozją, a co za tym idzie, umożliwić wydłużenie czasu bezawaryjnej eksploatacji gazociągów stalowych.

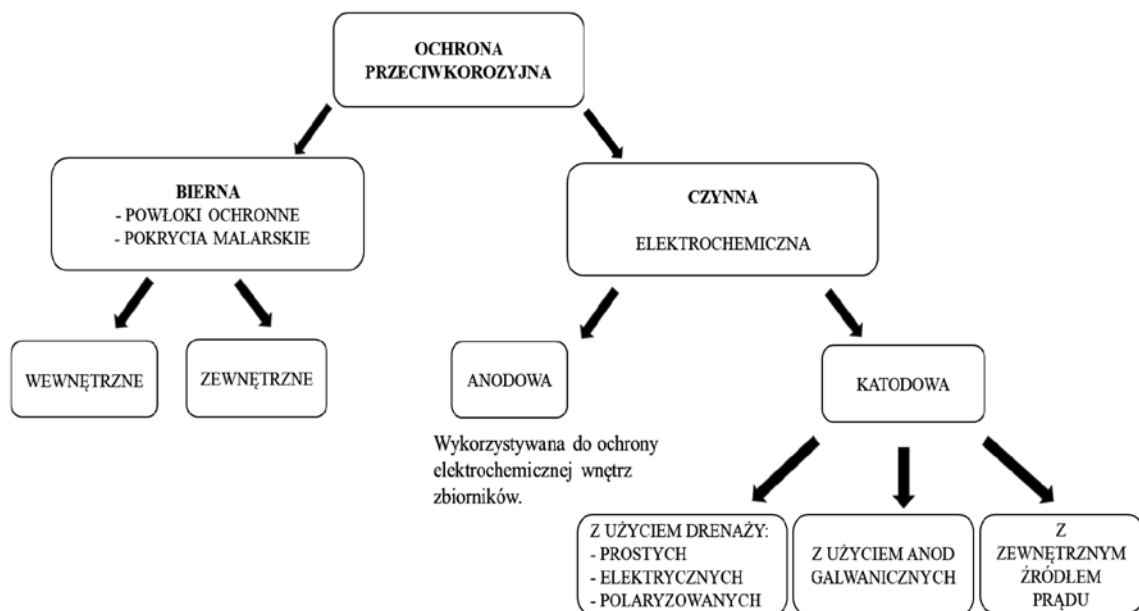
Rodzaje ochrony przeciwkorozyjnej

Ochrona przeciwkorozyjna dzieli się na **ochronę realizowaną w sposób bierny** oraz w **sposób czynny**. Przyjmuje się, że jedynie współpraca tych dwóch rodzajów systemów może zapewnić skuteczną ochronę przed korozją. [17] Podstawową rolę w kwestii ochrony przeciwkorozyjnej gazociągu stalowego zakopanego w gruncie pełni powłoka izolacyjna. Jej skuteczność wiąże się bezpośrednio ze stopniem jej szczelności. Ochrona aktywna, najczęściej realizowana poprzez zastosowanie ochrony katodowej, chroni fragmenty gazociągu, gdzie metal styka się bezpośrednio z elektrolitem glebowym, chociażby z powodu występujących w powłoce ubytków. [2] [5]

Na rys. 1 przedstawiono podział ochrony przeciwkorozyjnej.

Ochrona przeciwkorozyjna bierna polega na zastosowaniu odpowiedniej jakości powłoki ochronnej bądź pokrycia malarskiego. Ten rodzaj zabezpieczenia stanowi podstawę do zapewnienia skutecznej ochrony przeciwko korozji i stosowany jest niemalże zawsze, jako rozwiązanie bazowe. Ochrona bierna może funkcjonować samodzielnie lub współpracować w trudnych przypadkach z dodatkową ochroną czynną. Pokrycia malarskie oraz powłoki ochronne stosowane mogą być zarówno od strony wewnętrznej, jak również zewnętrznej – wówczas stanowią dodatkową ochronę chociażby przed promieniowaniem UV, w przypadku gazociągów posadowionych w środowisku zewnętrznym.

***Martyna Wasielewska** – magister inżynier na kierunku Inżynieria Środowiska, specjalizacja Systemy Ciepłownicze i Gazownicze. Absolwentka Politechniki Warszawskiej na wydziale Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, e-mail: martyna.wasielewska19@wp.pl



Rys. 1. Systematyka ochrony antykorozyjnej. Opracowanie własne

Fig. 1. Classification of anticorrosion protection. Self-development

Ochrona czynna elektrochemiczna wykorzystywana jest, gdy ochrona bierna nie jest w stanie samodzielnie zapewnić skutecznej ochrony przed korozją. Dopasowywana jest w sposób indywidualny do konkretnego typu oraz skali zagrożenia występującego w danym przypadku, a także do warunków środowiska elektrolitycznego, w którym posadowiona jest chroniona konstrukcja stalowa. Wpływ na decyzję dotyczącą wyboru konkretnego rodzaju ochrony czynnej ma także to, czy chroniony gazociąg to obiekt nowo wybudowany, czy jest eksploatowany od dłuższego czasu.

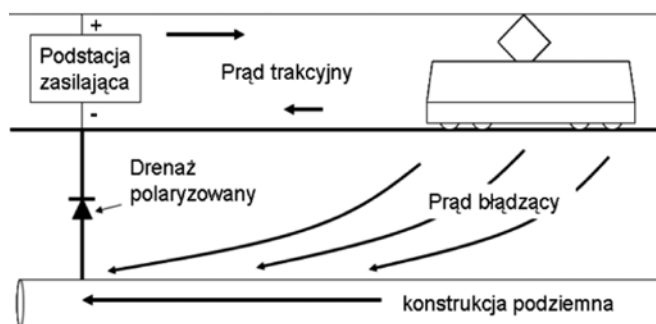
Elektrochemiczna ochrona anodowa wykorzystywana jest nieporównywalnie rzadziej niż ochrona elektrochemiczna katodowa. Ten rodzaj ochrony może być realizowany w formie galwanicznej z wykorzystaniem metali szlachetnych lub w formie elektrolitycznej wykorzystującej zewnętrzne źródło prądu stałego. Ochrona anodowa wykorzystywana jest do ochrony elektrochemicznej wewnątrz zbiorników. [16]

Ochrona realizowana przy użyciu anod galwanicznych stanowi podstawowy typ ochrony katodowej. Tego typu rozwiązanie sprawdza się przy ochronie konstrukcji o niewielkich rozmiarach oraz charakteryzujących się wysokim poziomem szczelności izolacji. Z tego względu anody galwaniczne zdecydowanie częściej znajdują zastosowanie przy budowie nowych gazociągów, niż przy instalacji systemu ochrony antykorozyjnej na eksploatowanych obiektach, których powłoki izolacyjne mogą posiadać defekty oraz uszkodzenia, wynikające z wieloletniej eksploatacji. Ponadto, niniejsza forma ochrony zalecana jest do wykorzystywania w środowiskach elektrolitycznych odznaczających się niewielką rezystywnością. [7]

Ochrona wykorzystująca zewnętrzne źródło prądu stałego, który ma na celu polaryzację chronionego obiektu, wykorzystywana może być w gruntach o różnej rezystywności, dlatego znajduje szersze zastosowanie niż ochrona używająca anody galwaniczne, jednak jej kosztowność będzie wyższa. Szczególne zastosowanie znajduje w przypadkach, w których występuje wysokie zapotrzebowanie na prąd ochronny. Ochrona wykorzystująca zewnętrzne źródło prądu stałego stosowana jest w przypadku obiektów pracujących, posiadających często naturalnie występujące, wskutek wieloletniej eksploatacji, uszkodzenia mechaniczne.

Ochrona katodowa wykorzystująca drenaże elektryczne zalecana jest do zastosowania w sytuacjach, w których czynnik mogący zainicjować proces korozji stanowią prądy błędne, których źródłem najczęściej są zlokalizowane w bliskim sąsiedztwie od chronionego

gazociągu linie trakcyjne. Konkretny rodzaj drenażu dobierany jest w indywidualny sposób, po przeprowadzeniu dogłębnej analizy warunków środowiskowych, tak, aby dopasować najlepsze rozwiązanie. Drenaże proste stosowane są, gdy potencjał w punkcie przyłączenia przewodu do źródła prądów błędnych jest zawsze bardziej ujemny niż potencjał konstrukcji chronionej, a co za tym idzie, kierunek przepływu prądu w połączeniu drenażowym nie ulega zmianie. Z kolei drenaże polaryzowane mogą być stosowane, gdy potencjał chronionej konstrukcji jest nie zawsze bardziej dodatni niż potencjał źródła prądu stałego. Ponadto, drenaże polaryzowane nie wymagają stosowania zewnętrznego źródła prądu, dlatego znajdują zastosowanie w miejscach trudnodostępnych.



Rys. 2. Schemat działania drenażu polaryzowanego. [9]

Fig. 2. Operation scheme of polarized drainage

Rysunek nr 2 obrazuje schemat działania drenażu polaryzowanego. Prądy błędne pochodzące od linii trakcyjnej, mogące oddziaływać na posadowiony w gruncie obiekt, zostają odprowadzone do źródła ich powstawania za pomocą drenażu polaryzowanego.

W przypadkach, gdy drenaże proste lub polaryzowane w niewystarczający sposób odprowadzają prądy błędne z chronionej konstrukcji, która ma niewystarczająco ujemny potencjał, stosowane są drenaże wzmocnione. Znajdują one zastosowanie również w przypadku obiektów o większej długości, gdy drenaże proste oraz polaryzowane nie są w stanie zapewnić dostatecznej ochrony. Rodzaj ten wymaga jednak dodatkowego zewnętrznego źródła energii elektrycznej. [1][12][14]

Badania systemów ochrony przeciwkorozyjnej

Wraz z upływem czasu eksploatacji gazociągu objętego ochroną przeciwkorozyjną zmienia się rodzaj oraz skala zagrożeń korozyjnych. Niekwestionowaną rolę odnośnie zapewnienia skutecznej ochrony stanowi wykonywanie licznych badań i pomiarów na różnych etapach realizacji inwestycji, jak również stałe monitorowanie stanu chronionego obiektu, a w razie potrzeby, doprojektowanie kolejnych elementów realizujących ochronę.

Badania szczelności powłok

W celu potwierdzenia braku ubytków w zastosowanej powłoce, wykonuje się szereg obowiązkowych badań. Badania szczelności powłok przed zasypaniem wykonuje się przy pomocy poroskopu, precyzyjnego urządzenia cyfrowego, wykorzystującego napięcie impulsowe. Badanie polega na tym, że jeden z biegunów urządzenia uziemia się lub łączy z rurociągiem, natomiast na badaną powłokę przeciąga się elektrodę, na którą generowane jest wysokie napięcie impulsowe z połączonego poroskopu. W momencie wykrycia nieszczelności w powłoce, następuje wyładowanie obserwowane jako przeskok iskier. [3]

Badania oceny skuteczności zastosowanej ochrony katodowej

Poza doborem optymalnego systemu ochrony katodowej, dostosowanego do zagrożeń występujących w danym środowisku, równie ważną kwestią stanowi ocena skuteczności zastosowanej ochrony. Warunki środowiskowe, w których umiejscowiony jest gazociąg, ulegają ciągłym zmianom. Wraz z rozwojem przemysłu pojawiają się kolejne zagrożenia korozyjne, związane chociażby z występowaniem prądów błędzących, czy prądów przemiennych pochodzących od elektroenergetycznych linii napowietrznych, do których pierwotnie zaprojektowany system ochronny nie był przystosowany. Istniejące systemy ochrony przeciwkorozyjnej wymagają stałej kontroli, w celu sprawdzenia poprawności ich działania oraz wykrycia ewentualnych nowych zagrożeń. Ocena skuteczności zastosowanych systemów ochronnych umożliwia dostosowywanie ochrony katodowej do panujących bieżących warunków środowiskowych, co przekłada się na możliwość wydłużenia bezawaryjnej pracy gazociągu.

Badania okresowe systemów ochrony katodowej

Badania okresowe służą ocenie skuteczności działania zastosowanej ochrony antykorozyjnej oraz pozwalają rozpoznać potencjalne nieprawidłowości. [24]

Zgodnie z zapisami zawartymi w normie PN-EN 12954 służby eksploatacyjne zobowiązane są do kontrolowania skuteczności stosowanej ochrony katodowej. Inspekcja powinna obejmować kontrolę wyposażenia oraz odpowiednie pomiary. Otrzymane wyniki pomiarów kontrolnych należy zestawić z wartościami odniesienia prezentowanymi w przyjętych kryteriach i na tej podstawie dokonać oceny skuteczności działania zastosowanej ochrony katodowej. [15] Zgodnie z ww. normą częstość przeprowadzania badań, w przypadku braku zdalnych metod kontroli ochrony katodowej, zależy od rodzaju zastosowanych elementów ochrony.

W tab. 1 przedstawiono częstotliwość przeprowadzania badań w sytuacji braku stosowania zdalnych metod kontroli ochrony katodowej.

Zgodnie z zapisami zawartymi w tab. 9, najczęstszej kontroli wymagają urządzenia drenażowe. Wynika to m.in. z faktu, że tego typu urządzenia montowane są w miejscach narażonych na oddziaływanie prądów błędzących, których charakter oddziaływania jest zmienno-losowy i nie jest stały w czasie.

Standard ST-IGG-0602 mówi natomiast, że w przypadku, gdy system ochrony katodowej jest powiązany ze zdalnym monitoringiem, dopuszcza się możliwość przeprowadzania badań z mniejszą częstotliwością.

Tabela 1. Częstość przeprowadzania badań, w przypadku braku zdalnych metod kontroli ochrony katodowej. [13]

Table 1. The frequency of conducting inspections, in the absence of remote methods for cathodic protection monitoring

Badanie	Częstość
Układy anod galwanicznych	Co rok lub częściej, o ile wymagają tego warunki pracy
Urządzenia z zewnętrznym źródłem prądu	Co 3 miesiące lub częściej, o ile wymagają tego warunki pracy
Urządzenia drenażowe	Co miesiąc lub częściej, o ile prądy błędzące są duże
Połączenia z obcymi konstrukcjami	Co rok lub częściej o ile wymagają tego warunki pracy
Ograniczniki prądu stałego i układy uziemiające	Co rok lub częściej o ile wymagają tego warunki pracy
Układy bezpieczeństwa i urządzenia zabezpieczające	Co rok lub częściej o ile wymagają tego warunki pracy
Stacje pomiarowe	Co rok wybrane i co 3 lata wszystkie

Techniki diagnostyczne i pomiarowe wykorzystywane do oceny działania systemu ochrony przeciwkorozyjnej

Kluczowe jest, aby podczas kontrolowania poprawności funkcjonowania systemu ochrony katodowej, dobrać właściwe metody pomiarowe oraz techniki diagnostyczne, które będą się skupiały na konkretnym zagrożeniu występującym w warunkach rzeczywistych w danym miejscu. Przed przystąpieniem do pomiarów, zalecane jest, aby wykonać badania próbne, w celu zapoznania się z terenem, co umożliwi dobranie odpowiedniej metody diagnostycznej. Istnieją bowiem różne techniki pomiarowe oraz metody diagnostyczne, które wybierane są w zależności m.in. od stanu technicznego powłoki ochronnej gazociągu, czy rodzaju zagrożenia korozyjnego. [10]

Istnieje szereg metod, umożliwiających dokonanie oceny skuteczności zastosowanego systemu ochrony biernej oraz czynnej. Wybór metody powinien być zawsze rozpatrywany w indywidualny sposób tak, by była ona dostosowana do konkretnego przypadku i występujących tam potencjalnie zagrożeń korozyjnych. Pozwoli to uniknąć zbędnych nakładów finansowych na pomiary, które nie będą odnosiły się do wielkości stwarzających w danym miejscu ryzyko wystąpienia korozji.

Opisane w dalszej części niniejszego artykułu metody stosowane są w zależności od:

- rodzaju zastosowanej powłoki ochronnej;
- stopnia szczelności zastosowanej powłoki ochronnej;
- wielkości występujących w powłoce ochronnej defektów;
- liczności występujących w powłoce ochronnej defektów;
- obecności lub braku prądów błędzących;
- obecności lub braku prądów przemiennych.

W wielu przypadkach, gdy na chroniony gazociąg oddziałuje wiele czynników przyspieszających przebieg procesu korozji, zachodzi konieczność łączenia kilku metod, w celu dokonania kompletnej oceny skuteczności ochrony katodowej.

Techniki diagnostyczne powłok ochronnych

Metoda gradientów poprzecznych prądu stałego DCVG

Metoda gradientów poprzecznych prądu stałego Mulvan'y'ego, zwana DCVG (and. *Direct Current Voltage Gradient*) wykorzystywana jest w celu zlokalizowania defektów występujących w po-

włóce izolacyjnej. Przedmiotowa metoda polega na wykonaniu pomiarów gradientu potencjału prądu stałego. Pomiary wykonuje się przy użyciu dwóch elektrod CuSO_4 , miliwoltomierza oraz przerywacza prądu, który jest włączony w obwód ochrony katodowej. Na miliwoltomierzu zostanie zaprezentowany wynik pomiaru różnicy potencjału między dwiema elektrodami i ich zwrot. Umożliwia to ustalenie lokalizacji defektu, a następnie jego wagi. [16] W momencie, gdy defekt w powłoce znajduje się na gazociągu zlokalizowanym w gruncie o rezystywności poniżej $100\Omega\text{m}$, w celu określenia jego wagi korzysta się z następującej zależności:

$$\text{IR}\% = *100 \quad (1)$$

gdzie:

- całkowity gradient napięcia w ziemi na odcinku od osi rurociągu do ziemi odległej [mV];
- całkowita składowa IR potencjału rurociągu względem ziemi odległej w miejscu defektu [Mv].

Względna wagę defektu wyznacza się z zależności:

$$\text{względna waga defektu} = \frac{\%IR * 100}{\rho} \quad (2)$$

gdzie:

- %IR – waga defektu;
- rezystywność gruntu.

Na podstawie wagi defektu, możliwe jest sklasyfikowanie go do naprawy.

W zależności od wagi defektu, przyjmuje się założenia zgodnie z tab.2.

Tab. 2. Kwalifikacja do naprawy w zależności od wielkości defektu [10]

Tab. 2. Qualification for repair depending on the size of the defect

Rodzaj defektu	Waga [%]	Konieczność naprawy
Mały	0 – 15	Nie wymaga naprawy
Średni	16 – 34	Rozważenie naprawy
Średnio duży	35 – 70	Wymaga szybkiej naprawy
Duży	71 – 100	Wymaga natychmiastowej naprawy

Metoda pomiarów intensywnych CIPS

Metoda pomiarów intensywnych CIPS należy do grupy metod pomiarowo – obliczeniowych trzelektrodowych. Polega ona na wykonaniu pomiaru potencjału oraz pomiarów poprzecznych gradientów napięcia załączeniowego i wyłączeniowego w określonym defekcie występującym w powłoce ochronnej. Następnie, po wykonaniu odpowiednich obliczeń, określa się potencjał defektu wolny od składowych omowych, oznaczany symbolem E_{IRfree} [10]

$$E_{\text{IRfree}} = E_{\text{off}} - * (E_{\text{on}} - E_{\text{off}}) \quad (3)$$

gdzie:

E_{on} – potencjał załączeniowy defektu,

E_{off} – potencjał wyłączeniowy defektu,

ΔU_{on} – poprzeczny gradient załączeniowy napięcia, średnia arytmetyczna z wartości gradientów zmierzonych w dwóch prostopadłych kierunkach;

ΔU_{off} – poprzeczny gradient wyłączeniowy napięcia, średnia arytmetyczna z wartości gradientów zmierzonych w dwóch prostopadłych kierunkach.

Uśrednione wartości gradientów napięcia wynikają z faktu, iż przepływy prądów błądzących lub prądów wyrównawczych mogą kształtować się w odmienny sposób po obydwu stronach gazociągu. [10]

Metoda Pearsona

Niniejsza metoda pozwala na zlokalizowanie defektów występujących w powłoce izolacyjnej przy wykorzystaniu źródła prądu przemiennego. Generator prądu przemiennego włączony jest w obwód między gazociąg a prowizorycznie przygotowany uziom anodowy charakteryzujący się rezystancją kilkudziesięciu omów w punkcie kontrolno-pomiarowym. Obwód prądu ulega zamknięciu w wyniku defektów oraz przez powłokę, która pełni wówczas funkcję kondensatora płaskiego dla prądu przemiennego. Tłumienie przebiegu wzdłuż gazociągu jest coraz większe, zaś rezystancja przejścia zmniejsza się. Następnie przy wykorzystaniu dwóch stalowych sond odbierany jest sygnał z generatora i zostaje zmierzony gradient w ziemi. Sondy stalowe zlokalizowane są na ziemi w odległości 6-8m oraz ulegają przemieszczeniom wzdłuż osi gazociągu lub prostopadle do niego, w celu odnalezienia maksymalnego lub minimalnego gradientu napięcia. Zmierzona wartość gradientu jest proporcjonalna do wielkości defektu. [10]

Metoda gradientów poprzecznych prądu przemiennego ACVG

Metoda gradientów poprzecznych prądu przemiennego wykorzystuje jako źródło prądu prąd przemienny. Polega na wykonaniu pomiaru gradientu napięcia przy użyciu dwóch elektrod zlokalizowanych w gruncie oraz zamontowanych na ramie. Sygnał akustyczny powstaje poprzez wykorzystanie przyrządu pomiarowego. Niestety, metoda ta nie znajduje zastosowania w rejonach, w których występują napowietrzne linie energetyczne. [10]

Określenie jednostkowej rezystancji przejścia powłoki izolacyjnej

Określając jednostkową rezystancję przejścia powłoki izolacyjnej jesteśmy w stanie ocenić jakość przedmiotowej powłoki. Możliwość wykorzystania tej metody zapewniają prądowe punkty pomiarowe umieszczone na gazociągu. Niniejsza metoda polega na wykonaniu pomiaru spadku napięcia w gazociągu za pomocą mikrowoltomierza o minimalnym zakresie 1-10 oraz rejestratora danych o próbkowaniu min. 2Hz. Podczas wykonywania pomiarów stacja ochrony katodowej powinna pracować w trybie „załącz/wyłącz”. Czas pomiarów powinien wynosić minimum 30 min. Następnie wyznaczana jest rezystancja przejścia na podstawie następującej zależności:

$$r_p = [\Omega\text{m}^2] \quad (4)$$

gdzie:

$U_{\text{IR}} = (U_{\text{ON}} - U_{\text{OFF}})$ – średnia składowa IR potencjału na odcinku gazociągu [V];

I – prąd wypływający do gazociągu na badanym odcinku [A];

S – zewnętrzna powierzchnia odcinka gazociągu [m^2].

Technika diagnostyczna wykorzystująca tłoki inteligentne

Niniejsza technika wykorzystuje m.in. zjawiska detekcji fal akustycznych sprężystych oraz zjawisko rozproszenia strumienia magnetycznego, w celu odnalezienia ubytków występujących

w powłoce ochronnej chronionego gazociągu. Podczas badań stosowane są różnego rodzaju głowice pomiarowe. Konieczne jest również, aby armatura gazowa była dostosowana do użytkowania tłoków, bowiem nie każdy obiekt jest w stanie umożliwić zastosowanie tej metody. Metody badawcze wykorzystujące tłoki inteligentne uznawane są za jedne z najdroższych oraz najbardziej wymagające pod kątem koniecznej specjalistycznej obsługi, wymogów względem infrastruktury gazowej, a także wyspecjalizowanego oprogramowania. [10]

Techniki diagnostyczne do oceny zastosowanej ochrony katodowej

Metoda potencjałowo – prądowa

Przedmiotowa metoda opiera się na pomiarach potencjałów wyłączeniowych E_{off} ochranianego obiektu. Wynika to z braku możliwości bezpośredniego zmierzenia wartości potencjału E_p . Następnie otrzymane wyniki porównuje się z wartościami przedstawionymi w kryterium potencjałowym. Metoda ta ma jednak zasadniczą wadę, bowiem możliwość jej zastosowania istnieje tylko w przypadku, gdy w obszarze posadowionego gazociągu oddziałuje wyłącznie prąd ochrony katodowej.

Metoda wyłączeniowa pomiaru potencjału

Metody wyłączeniowe opierają się na wykonywaniu pomiarów potencjału tuż po wyłączeniu prądu ochrony katodowej. Jednak stosowanie ich ogranicza się jedynie do nieskomplikowanych przypadków. W momencie wystąpienia m.in. oddziaływania prądów błądzących ta metoda nie znajduje wówczas zastosowania. Problematiczną kwestią stanowi również niesprecyzowany czas wykonywania pomiarów. Ponadto, w przypadku wystąpienia na długości gazociągu defektów w powłoce ochronnej, w czasie wyłączenia prądu może nastąpić przepływ prądu wyrównującego różnice potencjałów. Wówczas pomimo wyłączenia prądu ochrony katodowej, elektroda pomiarowa wciąż będzie poddana oddziaływaniu prądu elektrycznego, a pomiar potencjału będzie zafałszowany ze względu na omowy spadek potencjału od prądów wyrównawczych. [20]

Metoda pomiarowo – obliczeniowa trzelektrodowa

Przedmiotowa metoda polega na wykonaniu jednoczesnych pomiarów potencjałów załączeniowego oraz wyłączeniowego względem elektrody odniesienia oraz pomiarów poprzecznego gradientu napięcia przy włączonym i wyłączonym prądzie ochrony katodowej. Pomiar gradientów wykonywane są w dwóch kierunkach prostopadłych do osi gazociągu, między trzema elektrodami odniesienia oddalonymi od siebie o około 10m. Jedna z elektrod powinna znajdować się bezpośrednio nad gazociągiem. Niniejsza metoda wykazuje się wysoką skutecznością w przypadkach, gdy wyznaczone zostały uprzednio, przy pomocy określonej metody, defekty występujące w powłoce ochronnej. Wynika to z faktu, iż przy użyciu tej metody wyznaczane są potencjały konkretnych defektów, a nie potencjał gazociągu. [24]

Stosowanie elektrod symulujących

Metoda wykorzystująca elektrody symulujące polega na połączeniu przewodem chronionej konstrukcji z umieszczoną w pobliżu elektrodą stalową. Powstaje wówczas zwarte ogniwo dążące do wyrównania potencjałów. W efekcie, stalowa elektroda przyjmie potencjał konstrukcji. Na czas wykonywania pomiaru elektroda symulująca jest odłączana od konstrukcji, aby zapobiec omowemu spadkowi napięcia w przestrzeni między stalową elektrodą a elektrodą odniesienia. Jeśli na elektrodzie symulującej zostanie spełnione kryterium ochrony katodowej, wówczas uznaje się, że zostanie ono spełnione także w miej-

scach występowania defektów o wielkości równej lub mniejszej wielkości zastosowanej elektrody symulującej. Należy zwracać szczególną uwagę, aby elektrody symulujące były instalowane w miejscach, w których podejrzewamy, że występują defekty w powłoce ochronnej, ponieważ wówczas można uznać, iż potencjał elektrody symulującej odzwierciedla warunki polaryzacji defektów. [20]

Metoda korelacyjna

Metoda korelacyjna uznawana jest za jedną z najstarszych metod stosowanych w celu oceny skuteczności działania stosowanej ochrony katodowej. Należy do grupy tzw. metod pomiarów intensywnych. Uwzględnia wpływ prądów błądzących, które oddziałują na chronioną konstrukcję. Polega na wykonaniu pomiaru potencjału oraz pomiaru wartości wielkości, którą po przeprowadzonej analizie uznaje się za mającą wpływ na wartość potencjału, na przykład napięcie między gazociągiem a szynami trakcji elektrycznej. Niniejsza metoda znajduje zastosowanie, w przypadku obiektu wyposażonego w ochronę katodową realizowaną za pomocą drenaży elektrycznych. Na podstawie wyników przeprowadzonych pomiarów, przygotowywane są diagramy korelacyjne, których analiza pomaga w ocenie skuteczności zastosowanego systemu ochrony katodowej. Zaletę metody korelacyjnej stanowi jej prostota, bowiem wyniki pomiarów przedstawiane są na wykresach w układzie współrzędnych, które jasno obrazują interferencje jakie zachodzą między źródłem prądu błądzącego a chronionym obiektem. [9] [10] [22]

Korozymetria rezystancyjna

Korozymetria rezystancyjna wspomaga tradycyjne metody określania zagrożeń korozyjnych oraz skuteczności stosowanej ochrony antykorozyjnej. Jest techniką pomiarową umożliwiającą wyznaczenie w sposób pośredni szybkość korozji chronionej konstrukcji na podstawie oceny szybkości korozji rezystancyjnej czujnika korozymetrycznego zlokalizowanego w środowisku korozyjnym konstrukcji. W tym celu wykonywane są pomiary zmian rezystancji elektrycznej elektrody w przedziale czasowym, które wywołane są spowodowanymi korozją ubytkami masy oraz zmianami wielkości elektrody. [23] W przedmiotowej metodzie przyjmuje się założenie, że elektroda koroduje równomiernie na całej powierzchni. [2] Technika ta znajduje zastosowanie w szczególnych przypadkach, gdy ocena skuteczności ochrony katodowej na podstawie badań potencjałów jest utrudniona, m.in. ze względu na bliskie sąsiedztwo konstrukcji, których oddziaływanie powoduje zakłócenia pomiarów, bądź z powodu niedostatecznej polaryzacji chronionej powierzchni spowodowanej słabym zasięgiem działania SOK. Zaleca się również wykorzystywanie niniejszej techniki na obszarach narażonych na oddziaływanie prądów błądzących oraz prądów przemiennych. Zalecane jest wówczas, aby elektrodę montować w miejscach, gdzie występują najdłuższe wypływy prądu oraz jest najmniejsza rezystywność gruntu. [2][11]

Rola systemu monitorowania w funkcjonowaniu systemów ochrony przeciwkorozyjnej

Projektując system ochrony przeciwkorozyjnej, nie jesteśmy w stanie przewidzieć dokładnej skali oddziaływania negatywnych czynników środowiskowych wzmagających ryzyko pojawienia się korozji. Nie ma również możliwości, aby móc dokonać wizualnej oceny skali zniszczeń wywołanych korodowaniem gazociągu, który umieszczony jest głęboko w gruncie, często w miejscach trudnodostępnych. Z tego względu, kluczowe jest, aby móc na bieżąco zdalnie monitorować procesy zachodzące w aktualnych, rzeczywistych warunkach, wpływające na

zwiększenie ryzyka wystąpienia korozji. Zdalny monitoring umożliwia kontrolowanie pracy elementów systemu ochrony antykorozyjnej, zwłaszcza realizowanej w formie ochrony katodowej. Kontroli podlegają takie elementy jak: stacje ochrony katodowej, stacje anod galwanicznych, stacje pomiarowe, czy stacje drenaży elektrycznych. [16] W praktyce zdarzają się sytuacje, gdy na obiekcie wyposażonym w system ochrony przeciwkorozyjnej wystąpi awaria, dlatego kluczowe jest w kontekście bezpieczeństwa, aby wówczas elementy tego systemu zadziałały w sposób niezawodny. [6] Oprócz możliwości sprawdzania na bieżąco aktualnych parametrów pracy elementów ochronnych, system zdalnego monitorowania pozwala również na wysyłanie poleceń, nastawianie parametrów pracy, a więc daje możliwość zdalnego sterowania instalacją ochrony. Ma to kluczowe znaczenie w chwili wystąpienia nagłej awarii, gdy liczy się szybkość reakcji. [19] System monitorowania umożliwia ocenę skuteczności zastosowanej ochrony przeciwkorozyjnej, którą określa się na podstawie wyników licznych pomiarów takich jak głębokość posadowienia anody, czy pomiar rezystywności gruntu. Na podstawie danych wykonuje się m.in. profile potencjałowe obrazujące dokładny rozkład potencjału na całej chronionej powierzchni. Pozwala to również na wykrycie defektów występujących w powłoce. [4]

Przykład

Przykładem przedstawiającym konieczność przeprowadzania cyklicznych modyfikacji istniejących systemów ochrony przeciwkorozyjnej jest przypadek wygłoszony w referacie pn. „*Doswiadczenia w ochronie katodowej gazociągów równoległych.*” autorstwa Matus H. podczas Dorocznej IX konferencji naukowo-technicznej. *Współczesne Technologie Przeciwkorozyjne, Ostróda, 22-24.04.2015 r.* [8] Przedmiotowy przykład odnosi się do badania, którego celem było dokonanie oceny skuteczności działania ochrony katodowej zastosowanej na rurociągach wysokiego ciśnienia, ułożonych równoległe względem siebie, w celu zwiększenia ciśnienia w jednym z nich.

Ochrona przed korozją

Formę ochrony biernej przed korozją w przypadku obydwu rurociągów stanowiła powłoka bitumiczna. Jakość powłok różniła się jednak, ze względu na różny czas eksploatacji obiektów. Ochrona czynna realizowana była poprzez zastosowanie ochrony katodowej z wykorzystaniem zewnętrznego źródła prądu pochodzącego ze Stacji Ochrony Katodowej. Pierwszy gazociąg wyposażony był w 12 stacji ochrony, drugi – w 10. Gazociągi podlegały polaryzacji bardzo wysokim prądem (wartość prądu polaryzacji wynosiła ok. 140A), jednak nie zapewniało to gwarancji całkowitej skuteczności działania ochrony katodowej.

Badania wykonywane na etapie eksploatacji

Podczas eksploatacji gazociągów wykonywano szereg badań kontrolnych. Należały do nich m.in. pomiary potencjału załączeniowego oraz wyłączeniowego wykonywane w wytypowanych punktach pomiarowych. Ze względu na niekorzystne wyniki badań, mało ujemne wartości potencjałów gazociągów, zdecydowano się na dokonanie bardziej szczegółowej analizy skuteczności funkcjonowania zastosowanego systemu ochronnego.

Ze względu na rozważanie możliwości zwiększenia ciśnienia w jednej z nitek gazociągu, zdecydowano się na przeprowadzenie szczegółowych badań obrazujących stan gazociągu.

Badania skuteczności funkcjonowania systemu ochrony katodowej

Badania dotyczyły wykrycia defektów w powłoce gazociągu. Wykonano je z wykorzystaniem metody CIPS. Ponadto, w celu

oceny skuteczności ochrony katodowej z wykorzystaniem metody pomiarów potencjału odłączeniowego, zamontowano elektrody symulujące.

Wyniki przeprowadzonych badań były negatywne. Nie zdecydowano się na zwiększenie ciśnienia w gazociągu. Wszczęto prace związane z ulepszeniem istniejącego systemu ochrony katodowej.

W celu poprawienia skuteczności systemu ochrony katodowej:

- zainstalowano monobloki odseparowujące gazociągi od tłoczni gazu;
- stworzono dodatkowe punkty wsparcia prądowego usytuowane na skrzyżowaniach gazociągów oraz na odcinkach między stacjami ochrony katodowej;
- wykonywano regularne pomiary przepływu prądu pomiędzy gazociągami;
- wykonywano pomiary potencjałów wyłączeniowych gazociągów;
- wykonywano badania dotyczące wzajemnego oddziaływania gazociągów podczas pracy ochrony katodowej tylko na jednej z nitek.

Kluczowym działaniem, mającym na celu poprawę funkcjonowania systemu ochrony katodowej, było wykonywanie licznych pomiarów przez lata eksploatacji gazociągów. Na podstawie niniejszych pomiarów modyfikowano parametry pracy systemu, zmieniając m.in. ilość prądu dostarczanego do konstrukcji.

Badanie tłokiem inteligentnym

Druga nitka gazociągu przystosowana była do badań z wykorzystaniem tłoków inteligentnych. W 2003r. dokonano badania z wykorzystaniem tłoku inteligentnego. Wykryto wówczas następujące wady gazociągu:

- 1 wżer korozyjny o wielkości 50% grubości ścianki;
- liczne wżery korozyjne o wielkości <50% grubości ścianki.

W związku z niekorzystnymi wynikami badania, przystąpiono do prac remontowych, mających na celu naprawę wykrytych uszczerbków. Zdecydowano się również na montaż czujników korozymetrycznych, dających możliwość monitorowania postępu korozji.

Po naprawie defektów, możliwe było po raz kolejny zmniejszenie ilości dostarczanego prądu ochrony katodowej. Ponadto, zlikwidowano niektóre stacje ochrony katodowej, usunięto niebezpieczeństwa, generujące w przeszłości konieczność dostarczania prądu ochrony. Wybudowano nowe stacje ochrony w lokalizacjach, w których aktualnie występowało na nie zapotrzebowanie. Wszystkie te działania przyczyniły się m.in. do zmniejszenia przepływu prądu między gazociągami oraz – co najistotniejsze – do zwiększenia efektywności pracy systemu ochrony katodowej.

Wnioski

Na podstawie analizy niniejszego przykładu sformułowano następujące wnioski:

- Posadowienie równoległe względem siebie gazociągów stale wpływa na skuteczność działania ochrony katodowej. Wynika to z potencjalnych możliwości powstania korozji galwanicznej, do przeciwdziałania której system ochronny również powinien być dostosowany. W tym celu konieczne jest poznanie dokładnego charakteru oddziaływań.
- Pomimo że obie nitki gazociągu posadowione były w gruntach charakteryzujących się takim samym poziomem zagrożenia korozją, ich wymagania co do zapotrzebowania na prąd ochrony katodowej były różne. Wynikało to m.in. z różnego rodzaju stali wykorzystywanej do budowy obiektów, różnego okresu ich eksploatacji, jak również z różnego stanu technicznego po-

włoki ochronnej. Istotę sprawy stanowi zatem podchodzenie do kwestii badań ochrony katodowej w sposób indywidualny. Aby zapewnić skuteczność działania ochrony antykorozyjnej, kluczowe jest przeprowadzenie szczegółowej analizy, a następnie dostosowanie konkretnych metod badawczych do danego przypadku.

- Dzięki wykonywaniu regularnych badań kontrolnych podczas eksploatacji gazociągów stwierdzono niekorzystne wartości potencjałów gazociągów (załączeniowego oraz wyłączeniowego). Stanowiło to podstawę do wykonania bardziej szczegółowej analizy dotyczącej oceny poprawności działania stosowanej ochrony antykorozyjnej. Skutkiem tego było wczesne wykrycie nieprawidłowości.
- Badanie z wykorzystaniem tłoka inteligentnego, przeprowadzone na drugiej nitce gazociągu, dostosowanej do realizacji tego typu metod badawczych, umożliwiło wykrycie licznych defektów gazociągu. Zniszczenia te byłyby bardzo trudne, a niejednokrotnie wręcz niemożliwe do wykrycia przy wykorzystaniu innych metod. Wskazuje to zatem na korzystność uwzględnienia na etapie projektowania możliwości wykorzystania w trakcie eksploatacji urządzeń wykonujących pomiary i kontrolujących stan techniczny gazociągu, takich jak tłoki inteligentne.

Podsumowanie

W kontekście zapewnienia skuteczności działania ochrony przeciwkorozyjnej gazociągów stalowych, istotne jest prowadzenie regularnych badań pomiarowych. Prace związane z montażem systemów ochrony przeciwkorozyjnej rozpoczynają się często jeszcze przed posadowieniem chronionej konstrukcji w gruncie, począwszy od wykonania badań pomiarowych, po analizę występujących w danym miejscu zagrożeń. Ze względu na często losowo-zmienny charakter zachodzących zjawisk, mogących przyspieszać procesy korozji, każdy przypadek rozpatrywany jest w sposób indywidualny. Bardzo często pomocne okazuje się wykonywanie badań symulacyjnych, których wyniki pozwalają przynajmniej poznać zarys problematycznych zagrożeń, mogących pojawić się w przyszłości. Kolejną niezbędną kwestią stanowi wybór odpowiedniej powłoki ochronnej gazociągu, stanowiącej formę ochrony biernej przed korozją, a następnie zadbanie o jej bezdefektywność. Posiadając informację na temat występujących w danym miejscu zagrożeń, możliwe jest dokonanie wyboru formy ochrony czynnej, najczęściej realizowanej jako ochrona katodowa, która będzie stanowić efektywną barierę przed konkretnym zagrożeniem, występującym w danym miejscu. Jednak dobór odpowiedniego typu ochrony jeszcze nie wystarczy, aby zapewnić skuteczne zahamowanie bądź spowolnienie zachodzących procesów korozyjnych. Kluczową kwestią stanowi nieustanne monitorowanie pracy eksploatowanego systemu ochronnego oraz dostosowywanie go do zmieniających się warunków. W tym kontekście istotną funkcję odgrywa system zdalnego monitorowania. Ze względu na ciągle postępujący rozwój przemysłu, niezwykle często zachodzi konieczność dostosowania istniejących systemów ochrony antykorozyjnej do stanu bieżącego, poprzez ich rozbudowę, bądź doprojektowanie nowych elementów realizujących ochronę. W celu stwierdzenia poprawności funkcjonowania instalacji ochrony antykorozyjnej, konieczne jest wykonywanie obowiązkowych badań, przy wykorzystaniu różnego rodzaju technik. W celu umożliwienia oceny pracy instalacji ochrony, konieczne jest uwzględnienie zastosowania dodatkowych elementów, takich jak elektrody symulujące czy czujniki korozymetryczne. [18]

LITERATURA

- [1] Dąbrowski J. 2014. "Zastosowanie drenazy elektrycznych w polskich warunkach". XIII Krajowa Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej. 09-11.06.2014r., Ostróda.
- [2] Fiedorowicz M. 2010. "Korozymetria rezystancyjna w badaniach korozji podziemnych rurociągów". XI Krajowa Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej. 08-10.06.2010r., Jurata.
- [3] Fiedorowicz M., Jagiełło M. 2008. "Zdalny monitoring ochrony katodowej gazociągów wysokiego ciśnienia". X Krajowa Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej. 17-19.09.2008, Jurata.
- [4] Fiedorowicz M. 2017. "„Bezdefektowe” powłoki izolacyjne podziemnych rurociągów. XI Doroczna Konferencja naukowo-techniczna PSK Annual Conference of Polish Corrosion Society "WSPÓLCZESNE TECHNOLOGIE PRZECIWKOROZYJNE". 10-12.05.2017r.
- [5] Malicki M. 2016. "Nowe moduły telemetryczne dedykowane do zastosowań w ochronie katodowej". XIV Krajowa Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej. 12-17.06.2016r. Zamek Gniew.
- [6] Markiewicz M., Stochaj P., Ochrona katodowa zbiorników za pomocą anod galwanicznych.
- [7] Matus H.], Doświadczenia w ochronie katodowej gazociągów równoległych. Doroczna IX konferencja naukowo-techniczna Współczesne Technologie Przeciwkorozyjne, Ostróda, 22-24.04.2015r.;
- [8] Micko F. 2012. "Metoda korelacyjna jako integralna część pomiarów intensywnych". XII Krajowa Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej. 19-21.09.2012r., Jurata.
- [9] Minor T. 2022. "Analiza szybkości korozji stali na podstawie badań korozji czujników korozymetrycznych zainstalowanych w ziemi „, Nafta-Gaz(8):618-629, DOI: 10.18668/NG.2022.08.06.
- [10] Minor T. 2015. "Możliwości i sposoby kontrolowania stanu technicznego stalowych gazociągów na podstawie oceny technicznej powłok antykorozyjnych oraz skuteczności ochrony katodowej". Nafta-Gaz (7): 472–480.
- [11] Minor T. 2021. "Wykorzystanie czujników korozymetrycznych w ocenie ochrony katodowej". Nafta-Gaz (9):600-606, DOI: 10.18668/NG.2021.09.05.
- [12] NAFTA-GAZ, ROK LXVI, 06.2010.
- [13] Norma PN-EN 12954.
- [14] Peciak D. "Zintegrowany system ochrony antykorozyjnej – narzędzie diagnostyczne do oceny stanu technicznego konstrukcji metalowych zakopanych w gruncie". XIII Krajowa Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej. 09-11.06.2014r., Ostróda;
- [15] PN-EN 50162.
- [16] Podstawy technologii mechanicznej. Moduł 5. Sposoby ochrony przed korozją;
- [17] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 26 kwietnia 2013r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie.
- [18] Shawn M., 7 Forms of Piping Corrosion and How to Prevent Them, GlobalSpec, 07.12.2017.
- [19] Sokółski W., Nierozwiązane problemy ochrony katodowej. SPZP CORRPOL Gdańsk, Polski Komitet Elektrochemicznej Ochrony przed Korozją SEP.
- [20] Sokółski W. 2013. "Metoda korelacyjna badania prądów błędzących – technika ciągle nieznormalizowana". Ochr. Przed Koroz., 2013, 56, 8, (320-331).
- [21] Sokółski W., Monitorowanie a zdalna ocena skuteczności ochrony katodowej. VIII Krajowa Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej. 16-18.06.2004, Jurata.
- [22] Sokółski W., Korozja i zabezpieczenia przeciwkorozyjne podziemnej infrastruktury miejskiej – przegląd problemów. Doroczna VII konferencja naukowo-techniczna WSPÓLCZESNE TECHNOLOGIE PRZECIWKOROZYJNE. 08-10.05.2013r., Ostróda,
- [23] Solarz W., Kościuk M., Analiza oddziaływań przemiennoprądowych na wschodnim odcinku gazociągu tranzytowego Jamal – Europa. XIII Krajowa Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej. 9-11.06.2014, Ostróda.
- [24] Standard ST-IGG-0602.
- [25] Stochaj P. Badanie skuteczności ochrony katodowej trzejelektrodową metodą pomiarowo-obliczeniową. Nafta-Gaz, ROK LXV.