

Ochrona katodowa gazociągów

Cathodic protection of gas pipelines

Paulina Tarnawska*

Słowa kluczowe: ochrona katodowa, korozja, środowisko, anoda, katoda, gazociąg

Streszczenie

W artykule opisano przyczyny, zasady oraz efekt zastosowania ochrony katodowej gazociągów. Ochrona katodowa jest elektrochemiczną metodą zabezpieczania przeciwkorozyjnego, a jednocześnie jedną z najskuteczniejszych technologii ochrony przed korozją gazociągów stalowych.

Keywords: cathodic protection, corrosion, environment, anode, cathode, pipeline

Abstract

The article describes the causes, principles and effect of the application of cathodic protection of gas pipelines. Cathodic protection is an electrochemical method of corrosion protection, and at the same time one of the most effective technologies of corrosion protection of steel pipelines).

1. Wstęp

Ochrona przeciwkorozyjna metalowych konstrukcji podziemnych i podwodnych realizuje się poprzez odpowiedni dobór materiałów do budowy konstrukcji (rurociągów, zbiorników, konstrukcji hydrotechnicznych, metalowych osłon kabli itd.), dobór izolacji przeciwkorozyjnych oraz ochronę katodową. O ile dobór materiałów i izolacji przeprowadza się na etapie projektowania konstrukcji, to ochronę katodową można zastosować do już istniejących obiektów. Jest to czasami jedyna, możliwa do zastosowania, metoda ochrony przeciwkorozyjnej.

Ochronę antykorozyjną dzielimy na:

- ochronę bierną – powłoki ochronne (izolacja),
- ochronę czynną – stacje ochrony katodowej.

W technologii ochrony elektrochemicznej, hamowanie szybkości procesu korozyjnego osiąga się wykorzystując zjawisko polaryzacji elektrochemicznej, które jest następstwem przepływu stałego prądu elektrycznego pomiędzy powierzchnią chronionego obiektu, a otaczającym środowiskiem korozyjnym.

Do uzyskania efektu ochronnego wykorzystuje się stały prąd elektryczny, który przepływając przez granicę faz metal/środowisko elektrolityczne, wywołuje zmianę potencjału metalu (polaryzację). W efekcie polaryzacji katodowej uzyskuje się pożądane zahamowanie procesu utleniania, tj. korozji metalu. Przebieg reakcji katodowych można wywołać:

- stosując zewnętrzne źródło napięcia (ochrona katodowa elektrolityczna),
- zapewniając kontakt chronionej konstrukcji z protektorem – metalem o niższym potencjale w środowisku korozji (ochrona katodowa galwaniczna, ochrona protektorowa).

2. Podstawy prawne, terminy oraz definicje

Wymagania dotyczące zastosowania ochrony antykorozyjnej gazociągów stalowych regulują zapisy rozporządzenia Ministra Gospodarki z dnia 26 kwietnia 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe” (Dz.U. z 2013 r., poz. 640).

Zgodnie z § 31.1. przedmiotowego rozporządzenia – gazociąg stalowy powinien być zabezpieczony przed korozją zewnętrzną za pomocą powłok izolacyjnych z tworzyw sztucznych i ochrony katodowej, a gdzie jest to niezbędne, także przed oddziaływaniami prądów błędnych ze źródeł prądu stałego. Dodatkowo, w ust. 3 wskazano, iż dopuszcza się niestosowanie ochrony katodowej, pod warunkiem zastosowania odpowiednio dobranych, całkowicie szczelnych powłok izolacyjnych dla:

- gazociągu o maksymalnym ciśnieniu roboczym (MOP) do 0,5 MPa włącznie oraz o długości nie większej niż 200,0 m połączonego z istniejącymi gazociągami bez ochrony katodowej;
- przyłączy o maksymalnym ciśnieniu roboczym (MOP) do 0,5 MPa włącznie, wyprowadzonych z istniejącego gazociągu bez ochrony katodowej.

Zapisy rozporządzenia (§ 31.4.) wskazują również, iż gazociąg stalowy, dla którego stosuje się ochronę katodową, powinien posiadać ciągłość elektryczną, być oddzielony elektrycznie przez złącza izolujące od obiektów niewymagających ochrony oraz być odizolowany elektrycznie od wszelkich konstrukcji i elementów o małej rezystancji przejścia względem ziemi.

Definicje, terminy oraz symbole dotyczące zastosowania ochrony katodowej gazociągów, opisane zostały w normie PN-EN 13509, „Metody pomiarowe w ochronie katodowej” [3].

* Paulina Tarnawska, Absolwentka specjalności Inżynierii Gazownictwa .Politechnika Warszawska, e-mail:paulina-tarnawska@wp.pl

Poniżej przedstawiono wybrane definicje wskazane ww. normie.

- *System ochrony katodowej – część instalacji ochrony katodowej, obejmująca wszystkie elementy aktywne i pasywne.*
- *Elektrolit-ciecz lub ciekły składnik medium, np. ziemi, w którym przepływa prąd elektryczny ma charakter ruchu jonów.*
- *Sonda – układ złożony z elektrody symulującej i związanej z nią elektrody odniesienia, wykorzystywany do pomiarów potencjału konstrukcji w celu uniknięcia błędów pomiarowych powodowanych spadkiem napięcia IR.*
- *Złącze izolujące-elektrycznie nieprzewodzące złącze między dwoma odcinkami rurociągu, zastosowane dla uzyskania galwanicznej separacji między tymi odcinkami, np. monoblok izolujący lub izolujące połączenie kolnierzone.*
- *Elektroda pomiarowa – elektroda o stabilnym potencjale w danym elektrolicie, służąca do pomiaru potencjałów konstrukcji w tym elektrolicie. Potencjał elektrody pomiarowej w danym elektrolicie należy wyznaczyć w stosunku do elektrody odniesienia.*
- *Polaryzacja – zmiana potencjałów elektrody wskutek przepływu prądu do tej elektrody lub od niej.*
- *Prąd ochronny – prąd płynący do konstrukcji metalowej z otaczającego ją środowiska elektrolitycznego w celu zapewnienia ochrony katodowej tek konstrukcji.*
- *Stacja pomiarowa – instalacja umożliwiająca pomiary i badania konstrukcji umieszczonej w gruncie, zawierająca również kable i przyłącza do konstrukcji.*

3. Czynniki wywołujące korozję konstrukcji podziemnych [1,2]

Korozja podziemnych oraz podwodnych konstrukcji metalowych ma charakter elektrochemiczny. Korozji, tj. procesowi anodowemu metalu, który polega na przejściu atomów metalu z sieci krystalicznej do środowiska korozyjnego w postaci jonowej, towarzyszy uwolnienie równoważnej liczby elektronów (ze).



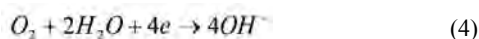
Elektrony, wraz ze znajdującym się w środowisku korozyjnym depolaryzatory (D), biorą udział w równocześnie przebiegającym procesie katodowym:



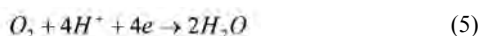
W przypadku stali reakcją anodową jest:



W warunkach naturalnych (grunt, woda) najczęściej przebiegającą reakcją katodową jest reakcja redukcji tlenu. W środowiskach o odczynie obojętnym i zasadowym redukcja tlenu przebiega według reakcji:



Natomiast w środowisku o odczynie kwaśnym:



Na szybkość korozji konstrukcji metalowych w gruncie i wodach naturalnych wpływają głównie następujące czynniki:

- agresywność korozyjna środowiska,
- obecność mikro i makroorganizmów korozyjnych,
- interferencja pól elektrycznych (np. prądów błądzących).

3.1. Agresywność korozyjna środowiska

Grunt jest złożonym, niejednorodnym układem porowatym, zawierającym składniki stałe (np. żwir, piasek, pyły, ropy), ciekłe (np. woda swobodna, kapilarna) oraz gazowe (powietrze, gazy). Na

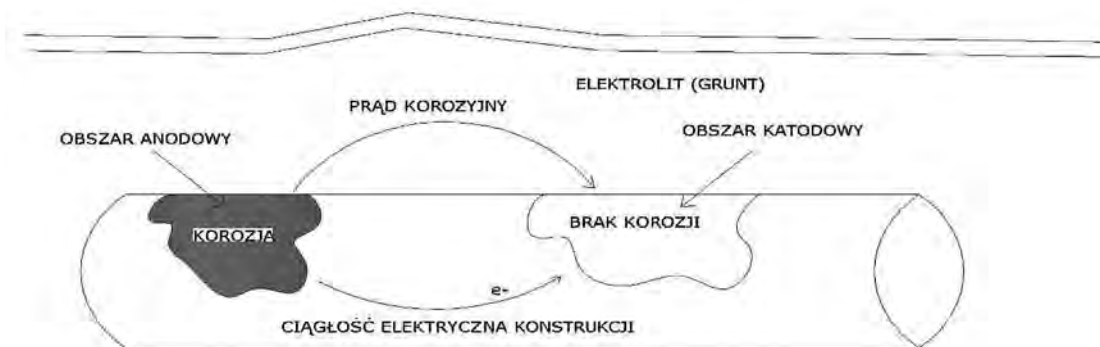
agresywność korozyjna gruntu składa się szereg czynników fizycznych, chemicznych i biologicznych. Najważniejsze z nich to m.in. struktura gruntu, zawartość wilgoci, stopień natlenienia, zawartość związków chemicznych, kwasowość, przewodnictwo elektrolityczne, czy obecność mikroorganizmów.

Należy podkreślić, iż struktura gruntu ma znaczący wpływ na warunki przemieszczania się wilgoci i powietrza oraz charakter kontaktu gruntu z zakopaną konstrukcją. Grunty piaszczyste charakteryzują się dużymi porami, stąd łatwo przepuszczają wodę oraz gazy. W tych gruntach zapewniony jest znaczny dopływ tlenu do powierzchni zakopanych konstrukcji metalowych. Grunty gliniaste charakteryzują się znaczną porowatością (cienkie, kapilarne pory), mogą one utrzymywać wilgoć przez długi czas, natomiast dopływ tlenu do zakopanej konstrukcji jest bardzo utrudniony, co stwarza zagrożenie wystąpienia korozji wżerowej. Grunty sztuczne często zawierają żużel, gruz oraz inne odpady przemysłowe i komunalne i w związku z tym charakteryzują się podwyższoną agresywnością korozyjną. Woda w gruncie może występować pod wieloma postaciami (np. para wodna, woda związana z cząstkami gruntu), a warstwy gruntu znajdujące się bezpośrednio nad zwierciadłem wody mają znaczną wilgotność. Zawartość wilgoci w gruncie ma duży wpływ na jego agresywność korozyjną. Przy minimalnej wilgotności gruntu ubytki korozyjne metalu są niewielkie. Wraz ze wzrostem wilgotności gruntu szybkość korozji wzrasta do wartości maksymalnej, przy uzyskaniu pewnej krytycznej wartości wilgotności. Dla gruntów gliniastych wilgotność ta wynosi 12-25%, natomiast dla gruntów piaszczystych 10-20%. Po przekroczeniu wilgotności w gruncie powyżej wartości krytycznej następuje zmniejszenie korozji (utrudniony dopływ tlenu). Grunty i wody podziemne mogą zawierać znaczne ilości substancji chemicznych, które są w stanie wpływać na zwiększanie jak i zmniejszanie agresywności korozyjnej gruntu. Czynniki zwiększającymi jego rezystywności, rozpuszczenie osadów ochronnych) są najczęściej spotykane w gruncie sole mineralne, gazy i związki organiczne. Obecność w gruncie węglanów wapnia, magnezu, sodu i potasu obniża agresywność korozyjną gruntu. Szczególne zagrożenie dla konstrukcji stalowych stwarza obecność siarkowodoru. Co więcej, w gruntach, gdzie dopływ powietrza jest ograniczony możliwe jest występowanie różnego rodzaju bakterii, które mogą stwarzać niebezpieczeństwo wystąpienia korozji wżerowej. Agresywność korozyjną gruntu określa się na podstawie fizyko-chemicznych pomiarów terenowych oraz laboratoryjnych analiz próbek gruntu. Kryteria oceny agresywności korozyjnej gruntu wg poszczególnych wskaźników przedstawiono w tab. 1. O niskiej agresywności korozyjnej gruntu decydują wartości wszystkich wskaźników, a o średniej lub dużej wartości jednego dowolnego wskaźnika.

Tabela 1. Kryteria agresywności korozyjnej gruntu

Table 1. Criteria for soil corrosion aggressiveness

| Wskaźnik | Agresywność korozyjna gruntu | | |
|---|------------------------------|-------------|---------------------|
| | mała | średnia | duża |
| Rezystywność gruntu [Ωm] | >100 | 30-100 | <30 |
| pH gruntu | 7 | 6 | <5 v >8 |
| Aktywność korozyjna wg metody Corfielda [g] | do 1 | 1-3 | powyżej 3 |
| Zawartość H_2S i siarczków wg analizy jakościowej | brak H_2S | brak H_2S | obecność H_2S |
| Zawartość siarczanów [mg/kg] | <200 | 200-1000 | >1000 |
| Zawartość chlorków [mg/kg] | <100 | 100-200 | >200 |
| Poziom wód gruntowych | - | - | dosięga konstrukcji |
| Oddziaływanie prądów błądzących | - | - | występuje |



Rys. 1. Makroogniwo korozyjne
Fig. 1. Corrosion macro cell
Źródło: opracowanie własne

3.2. Obecność makroogniw korozyjnych

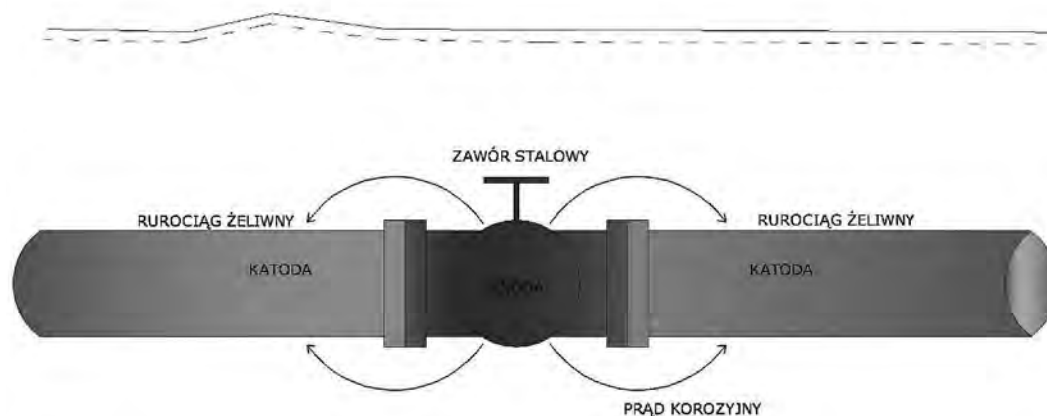
Ogniwo korozyjne na konstrukcji podziemnej powstaje, przy jednoczesnym występowaniu czterech składników, tj. obszaru katodowego, obszaru anodowego, elektrolitu oraz ciągłości elektrycznej konstrukcji (droga przepływu elektronów). Niewystępowanie chociaż jednego z wymienionych komponentów powoduje, że ogniwo korozyjne nie powstaje. Najczęstszą przyczyną powstawania korozji, w przypadku konstrukcji podziemnych, jest powstawanie makroogniw galwanicznych, zróżnicowanego natlenienia i stężeniowych. Schemat makroogniwa korozyjnego przedstawiono na rys. 1.

Ogniwa galwaniczne tworzą się w miejscu styku metali o różnych potencjałach elektrycznych, np. stal-miedź. W środowisku elektrolitycznym metal charakteryzujący się bardziej elektroujemnym potencjałem stanowi anodę, w tak utworzonym ogniwie galwanicznym i ulega korozji. Przykładowe układy metali tworzące ogniwa galwaniczne przedstawiono w tab. 2.

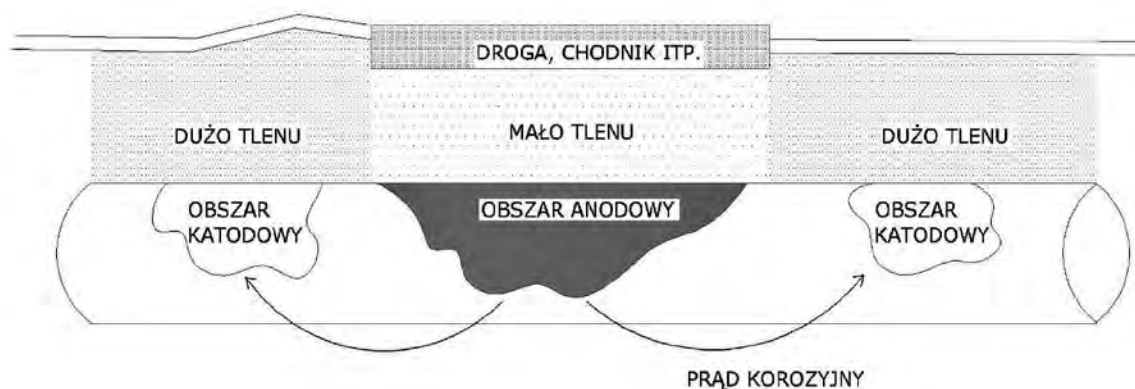
Tabela 2. Układy metali tworzące ogniwa korozyjne
Table 2. Metal systems forming corrosion cells

| Anoda | Katoda |
|-----------|---------|
| stal | żeliwo |
| stal | miedź |
| stal | mosiądz |
| żeliwo | miedź |
| żeliwo | mosiądz |
| aluminium | stal |
| cynk | stal |

Szybkość korozji materiału anody dodatkowo jest stymulowana niekorzystnym stosunkiem powierzchni (mała anoda/duża katoda). Przykład makroogniwa galwanicznego przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Makroogniwo galwaniczne stal-żeliwo
Fig. 2. Galvanic steel-cast iron macro cell
Źródło: opracowanie własne



Rys. 3. Ogniwo zróżnicowanego natlenienia
Fig. 3. Differential oxygenation cell
Źródło: opracowanie własne

Zagrożenie korozyjne stanowią również ogniwa zróżnicowanego natlenienia. Spowodowane są one przez niejednorodność gruntu, ułożenie konstrukcji na granicy wód gruntowych, ułożenie rurociągu na płycie betonowej, przejście rurociągu pod drogami itp. Miejsca konstrukcji metalowej, do których dopływ tlenu będzie ograniczony, stanowią strefy anodowe. Są one szczególnie zagrożone występowaniem korozji wżerowej. Na rys. 3 przedstawiono przykład makroogniwa zróżnicowanego natlenienia.

Ogniwa stężeniowe powstają, gdy konstrukcja metalowa ułożona jest w gruntach o różnym zasoleniu. Odcinek rurociągu, przebiegający w gruncie o niższej zawartości chlorku sodu lub wapnia, będzie

katodą, a obszar anodowy powstanie w gruncie o wyższym stężeniu rozpuszczonych soli. Przykład ogniwa stężeniowego przedstawiono na rys. 4.

4. Zasada ochrony katodowej [6]

W ogniwie korozyjnym można wyróżnić sekcję anodową i katodową. Celem ochrony katodowej jest eliminacja sekcji anodowej, poprzez dostarczenie prądu stałego z zewnętrznego źródła. Na rys. 5 przedstawiono schemat celowości zastosowania ochrony katodowej.

Prąd polaryzujący może pochodzić:

- z utworzonego ogniwa galwanicznego, który powstał poprzez połączenie konstrukcji z metalem o bardziej elektroujemnym potencjale (tzw. anoda galwaniczna/protektor) – rys. 6.
- z zewnętrznego źródła prądu – rys. 7.

Niezależnie od pochodzenia prądu polaryzującego, reakcja anodowa zostaje przeniesiona z chronionej konstrukcji na powierzchnie dołączonej anody.

Sprawne działanie ochrony katodowej jest uzależnione od ciągłości elektrycznej konstrukcji, obecności środowiska przewodzącego prąd elektryczny, jak również rozkładu prądu polaryzującego i potencjału na powierzchni konstrukcji.

5. Kryteria ochrony katodowej [2,4,5]

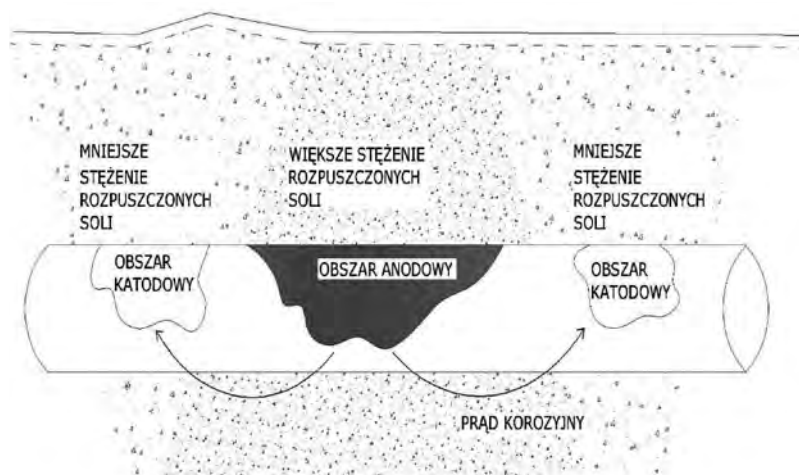
Pod pojęciem kryterium ochrony katodowej należy rozumieć pewną wartość, łatwo dającą się zmierzyć zmiennej, której osiągnięcie zapewni uzyskanie założonego stopnia zabezpieczenia przeciwkorozyjnego konstrukcji metalowej. Przyjęcie określonego kryterium ochrony katodowej ma również wpływ na opłacalność inwestycji. Dla stalowych konstrukcji podziemnych i podwodnych najczęściej stosowane kryteria potencjałowe przedstawiono w tab. 3.

Tabela 3. Potencjałowe kryteria ochrony katodowej

Table 3. Potential criteria for cathodic protection

| Lp. | Kryterium | Opis |
|-----|--|---|
| 1. | Potencjał $-0.85V$ względem elektrody $CuSO_4$ | Pomiar po wyłączeniu prądu ochrony katodowej (tzw. potencjał wyłączeniowy) |
| 2. | Potencjał $-0.85V$ względem elektrody $CuSO_4$ | Pomiar przy włączonym prądzie ochrony katodowej (tzw. potencjał załączeniowy) |
| 3. | Zmiana potencjału o -300 mV w odniesieniu do warunków bez ochrony | Pomiar potencjału przy włączonym prądzie ochrony katodowej |
| 4. | Zmiana potencjału o -100 mV w odniesieniu do warunków bez ochrony | Pomiar po wyłączeniu prądu ochrony katodowej (bez udziału składowej IR) |

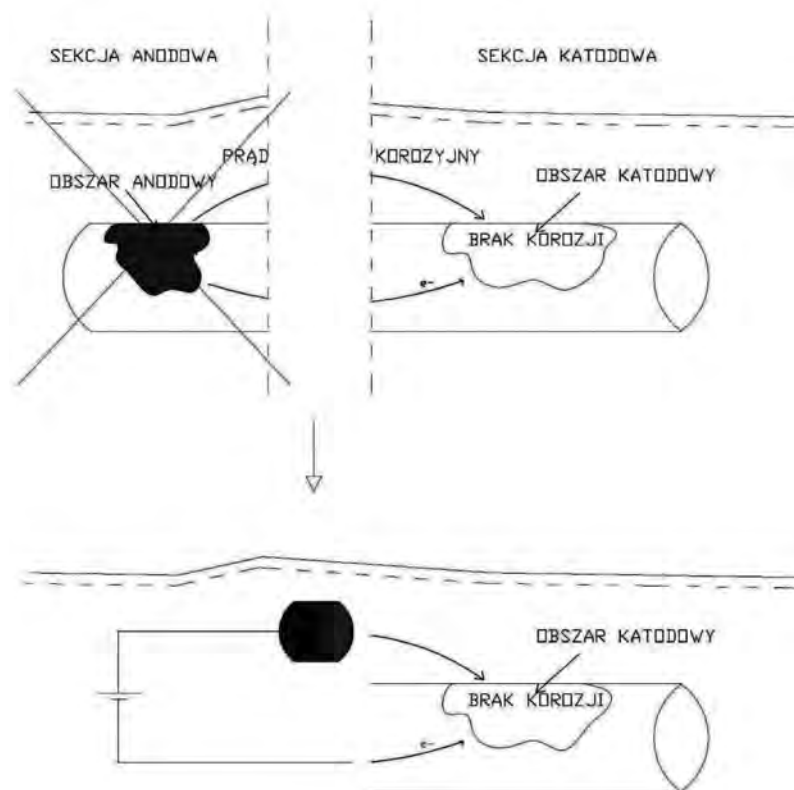
Pomiar potencjału dokonuje się względem elektrody odniesienia, którą umieszcza się w tym samym środowisku co chroniona konstrukcja. W ziemi powszechnie stosuje się elektrodę siarczano-miedziową, w wodzie stosuje się elektrodę chloro-srebrną lub cynkową.



Rys. 4. Ogniwo stężeniowe

Fig. 4. Concentration cell

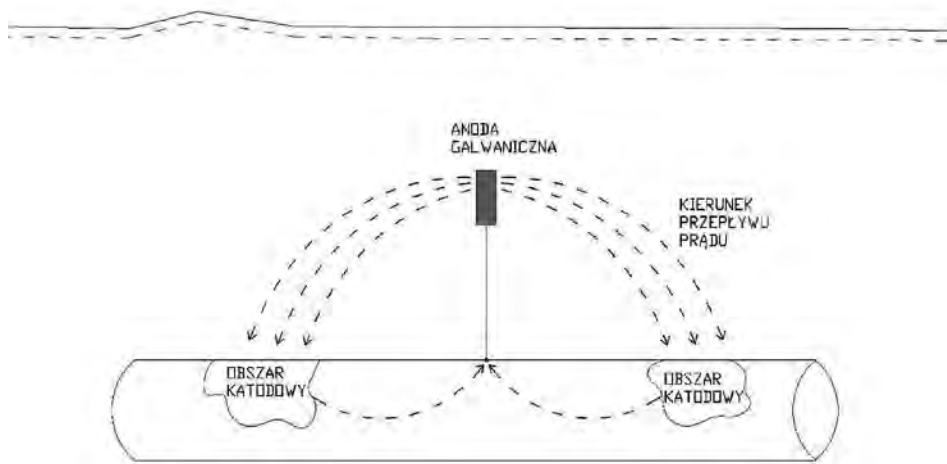
Źródło: opracowanie własne



Rys.5. Likwidacja na powierzchni metalu obszarów anodowych poprzez dostarczenie prądu z zewnętrznego źródła

Fig. 5. Elimination of anodic areas on the metal surface by providing electricity from an external source

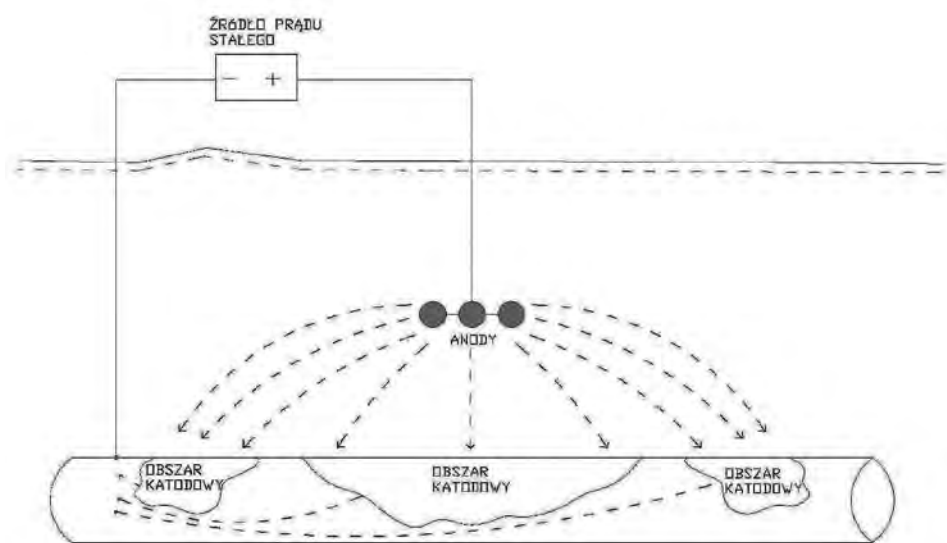
Źródło: opracowanie własne



Rys.6. Układ ochrony katodowej przy użyciu anody galwanicznej (protektora)

Fig. 6. Cathodic protection system using galvanic anode (protector)

Źródło: opracowanie własne



Rys.7. Układ ochrony katodowej z wykorzystaniem zewnętrznego źródła prądu

Fig. 7. Cathodic protection system using an external power source

Źródło: opracowanie własne

Wartość potencjału konstrukcji zawsze podaje się względem danej elektrody odniesienia. Dla rurociągów podziemnych stosowane są także prądowe kryteria ochrony katodowej, które przedstawiono w tab. 4.

Tabela 4. Prądowe kryteria ochrony katodowej dla rurociągów podziemnych

Table 4. Current cathodic protection criteria for underground pipelines

| Lp. | Zabezpieczenie powierzchni | Gęstość prądu ochronnego [mA/m ²] |
|-----|----------------------------|---|
| 1. | Taśmy z tworzyw sztucznych | 0,005-0,01 |
| 2. | Izolacja asfaltowo-szklana | 0,03-0,1 |
| 3. | Izolacja asfaltowa | 0,2-10 |
| 4. | Brak izolacji | 10-50 |

Gęstość prądu ochronnego jest uzależniona od jednostkowej rezystancji powłoki ochronnej na gazociągu. Wartość tę określa się po zakopaniu rurociągu i może ona posłużyć do oceny jakości wykonanych prac i prognozowania funkcjonowania ochrony katodowej.

Kryteria prądowe ochrony katodowej stosowane są dla konstrukcji podziemnych rzadko, ale powszechnie dla konstrukcji morskich (hydrotechnicznych). Zapotrzebowanie prądowe jest dla nich dużo większe niż dla konstrukcji podziemnych.

6. Ochrona protektorowa gazociągów [3,4,6].

Ochrona katodowa za pomocą anod galwanicznych (protektorów) jest najprostszą metodą ochrony katodowej. Stosowana jest do ochrony podziemnych lub podwodnych konstrukcji metalowych w przypadkach gdy:

- konstrukcja metalowa pokryta jest dobrą powłoką izolacyjną i wymaga niewielkiego prądu ochronnego,
- brak energetycznej sieci zasilającej uniemożliwia zastosowanie ochrony katodowej z zewnętrznym źródłem prądu,
- zastosowanie do ochrony lokalnej w miejscach szczególnego zagrożenia konstrukcji.

Schemat ideowy ochrony katodowej rurociągu za pomocą anod galwanicznych przedstawiono na rys. 8.

Zasadniczym elementem obwodu jest anoda galwaniczna, która dostarcza prąd potrzebny do spolaryzowania chronionej powierzchni. Natężenie tego prądu jest uzależnione między innymi od właściwości elektrochemicznych materiału protektorowego oraz rezystywności otaczającego środowiska. Płynący prąd (z protektora poprzez środowisko elektrolityczne do konstrukcji) powoduje katodową polaryzację powierzchni konstrukcji i jej ochronę przed korozją.

Technologia ochrony katodowej, z zastosowaniem anod galwanicznych,

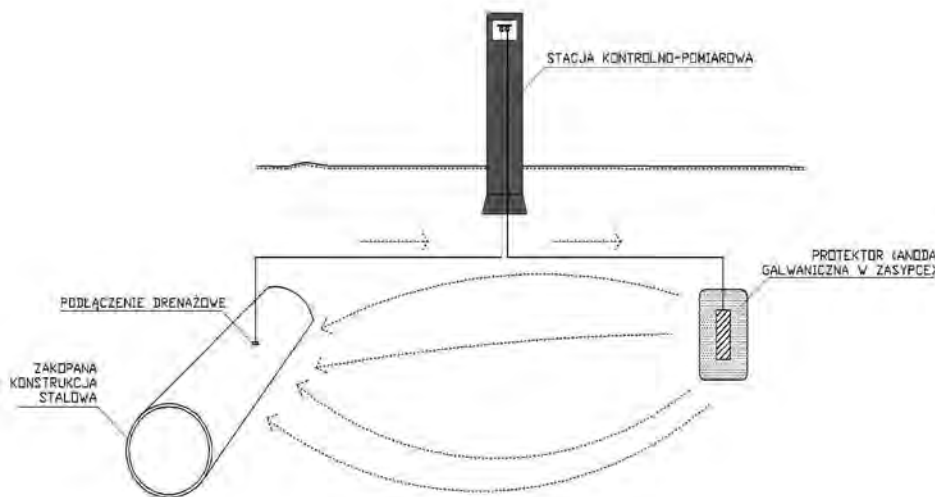
ma szerokie zastosowanie ze względu na prostotę tej formy ochrony oraz wynika z tego, iż instalacja praktycznie nie wymaga nadzoru. Anody wymienia się na nowe i ochrona działa ponownie.

Do zalet ochrony protektorowej zaliczamy m.in. łatwość uzyskania równomiernego rozkładu prądu na chronionej konstrukcji, brak konieczności źródła prądu, łatwość instalowania i utrzymania, znikomy wpływ na sąsiednie niechronione konstrukcje. Do wad ochrony protektorowej zaliczyć można nieodwracalność straty materiału (anody galwanicznej), konieczność wymiany anody galwanicznej na nową, brak możliwości regulowania różnicy potencjałów anoda-konstrukcja, która jest stała, czy wysokie koszty ochrony dla konstrukcji nieizolowanych.

Anody galwaniczne wykonuje się ze stopów, których podstawowymi składnikami są magnez, cynk i aluminium. Zakopuje się je w niewielkiej odległości od chronionej konstrukcji na głębokości ułożenia konstrukcji lub nieco głębiej.

7. Elektrolityczna ochrona katodowa [3,4,6]

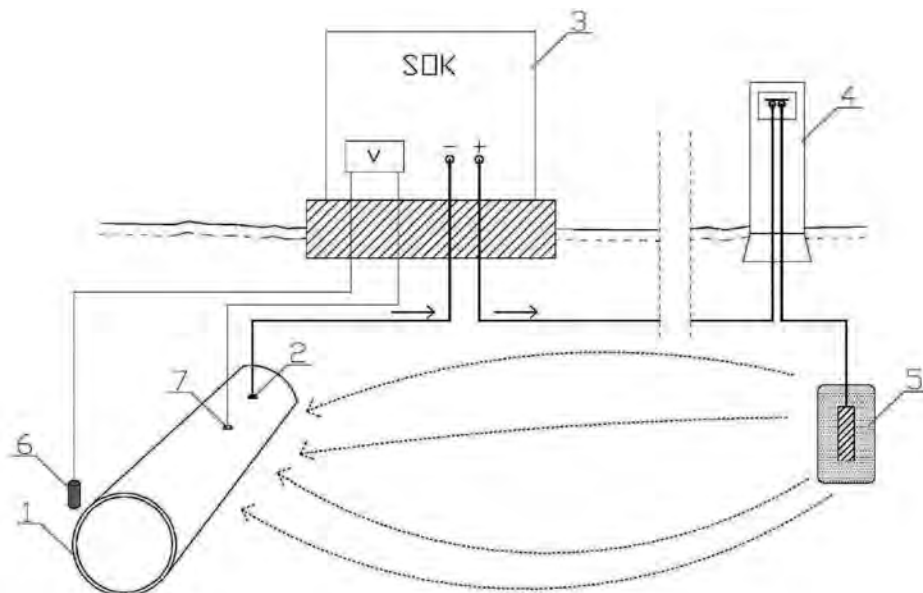
W sytuacji wysokiego zapotrzebowania na prąd ochrony katodowej, ochronę przed korozją zakopanych konstrukcji metalo-



Rys. 8. Schemat układu ochrony protektorowej

Fig. 8. Diagram of the protection system

Źródło: opracowanie własne



Rys. 9. Schemat instalacji ochrony katodowej z zewnętrznym źródłem prądu

Fig. 9. Diagram of cathodic protection installation with external power source

Źródło: opracowanie własne

wych realizuje się, z wykorzystaniem zewnętrznego źródła prądu i układu anod polaryzujących. Źródłem prądu jest zwykle sieć energetyczna prądu przemiennego, ale również wykorzystuje się inne źródła prądu, np. baterie słoneczne. Schemat instalacji przedstawia rys. 9.

Oznaczenia do schematu:

1. chroniona konstrukcja metalowa,
2. połączenie katodowe
3. źródło prądu stałego (stacja ochrony katodowej SOK)
4. słupka anodowa
5. układ anodowy
6. elektroda odniesienia
7. połączenie potencjałowe

Instalacja ochrony katodowej z zewnętrznym źródłem prądu składa się z dwóch obwodów elektrycznych:

- polaryzującego (prądowego), którego ważnymi elementami są: źródło prądu stałego, chroniona konstrukcja i anoda polaryzacyjna,

- kontrolnego (potencjałowego), zawierającego przyłączy potencjałowe, elektrodę pomiarową (elektrodę odniesienia), miernik potencjału.

W obwodzie polaryzującym o dodatniego bieguna źródła prądu przyłącza się układ anodowy, zaś do bieguna ujemnego przyłącza się chronioną konstrukcję.

Skuteczność ochrony katodowej kontroluje się za pomocą obwodu kontrolnego, określając wartość potencjału chronionej konstrukcji, względem niepolaryzowalnej elektrody odniesienia.

Do zalet zastosowania ochrony katodowej z zewnętrznym źródłem prądu można zaliczyć m.in. wysoką skuteczność, swobodną regulację natężenia prądu polaryzującego, ochronę dużych powierzchni metalowych w środowiskach o różnej rezystywności, utrzymanie określonej zadanej wartości potencjału konstrukcji poprzez automatyczną zmianę napięcia i prądu wyjściowego SOK, niskie koszty eksploatacji. Do wad ochrony katodowej z zewnętrznym źródłem prądu zaliczyć można wysokie początkowe koszty instalacji, konieczność systematycznej kontroli oraz konserwacji systemu, możliwość szkodliwego oddziaływania na sąsiednie niechronione konstrukcje metalowe.

8. Elementy instalacji ochronnej [4,5,6]

Instalacje ochrony katodowej projektowane są dla każdego obiektu indywidualnie. Dobór elementów instalacji, ich rozmieszczenie, zasięg działania ochronnego itp. zależą od właściwości danej konstrukcji, właściwości środowiska elektrolitycznego, obecności sąsiadujących konstrukcji

metalowych itd. Poszczególne instalacje tworzy się w oparciu o lokalną sytuację terenową oraz zapotrzebowanie. Dobór elementów ma kluczowy wpływ na stronę techniczną i ekonomiczną zabezpieczenia przeciwkorozyjnego.

Podstawowe elementy instalacji ochronnych z zewnętrznym źródłem prądu to: stacje ochrony katodowej, anody, elektrody odniesienia, kable, stacje pomiarowe.

Głównym elementem w instalacjach z zewnętrznym źródłem prądu są stacje ochrony katodowej – SOK, która jest źródłem prądu stałego. Zazwyczaj element ten wykonywany był w postaci prostownika o napięciu wyjściowym 50V, dla zastosowań w ziemi, natomiast 24V dla układów wodnych oraz natężeniu prądu wyjściowego od kilku do kilkunastu amperów. Regulację parametrów wyjściowych przeprowadzało się ręcznie, poprzez zmianę nastaw transformatora sieciowego. Stacje ochrony katodowej konstruowane są najczęściej w postaci wolnostojących urządzeń, przystosowanych do pracy w warunkach atmosferycznych. Na rys. 10 zilustrowano przykład stacji ochrony katodowej.



Rys. 10. Stacja SOK w Warszawie na gazociągu średniego ciśnienia
 Fig. 10. SOK station in Warsaw on medium-pressure gas pipeline
 Źródło: MSG Sp. z o. o.

Zadaniem anod jest doprowadzenie prądu polaryzującego do środowiska elektrolitycznego, tj. do gruntu bądź wód naturalnych, a następnie do chronionej powierzchni metalu, która ma kontakt z tym środowiskiem. Anody wytwarzane są z materiałów:

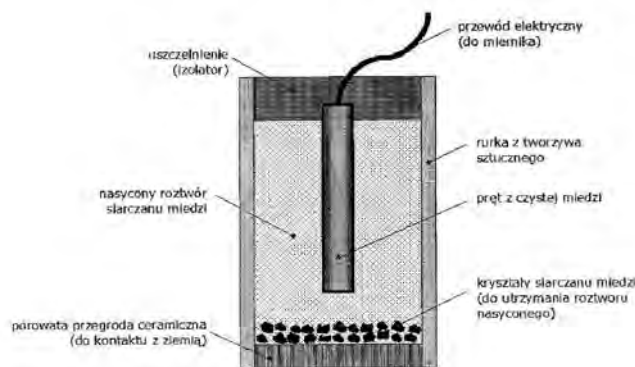
- roztwarzalnych, np. żelazo, stalowy,
- trudno roztwarzalnych, np. żeliwo, grafit,
- nieroztwarzalnych, np. platyna.

Najczęściej stosowane w instalacjach ochrony katodowej są anody z żeliwa wysokokrzemowego. Aspektami przemawiającymi za ich zastosowaniem jest ich niska cena oraz mała roztopność elektrolityczna. Anody żeliwne stosowane są stosowane zarówno w płytkich i głębokich układach anodowych do ochrony katodowej konstrukcji podziemnych.

W ochronie katodowej podziemnych konstrukcji zastosowanie znalazły również anody kablowe. Zakopuje się je w niewielkiej odległości wzdłuż konstrukcji. Zazwyczaj anody te wykonuje się w formie przewodu miedzianego, otoczonego przewodzącym prąd kompozytem na bazie polimeru.

Kolejnym elementem instalacji jest elektroda odniesienia, będąca istotnym elementem w obwodzie kontrolno-pomiarowym.

Elektrodę siarczano-miedziową wykorzystuje się zazwyczaj do pomiarów potencjału konstrukcji podziemnych, natomiast do pomiarów potencjału konstrukcji zanurzonych w wodzie morskiej elektrodę chlorosrebrną lub cynkową. Na rys. 11 przedstawiono konstrukcję typowej elektrody siarczano – miedziowej.



Rys. 11. Siarczano-miedziowa elektroda odniesienia
 Fig. 11. Sulphate-copper reference electrode.

Ze względu na agresywne środowisko elektrolityczne, kable (od wszystkich elementów instalacji ochrony katodowej) powinny mieć druty bądź linki miedziane oraz wzmocnioną izolację zewnętrzną. Każdy kabel, spełniający odrębną funkcję, wymaga niezależnego przyłącza do konstrukcji, np. jeden kabel do przewodzenia prądu

ochrony katodowej, drugi jako przyłącze do pomiaru potencjału konstrukcji. Przyłącza kabli do konstrukcji powinny być wykonane odpowiednią metodą (nie wywołującą kruchości kabla i pogorszenia parametrów jego izolacji na skutek przegrzania). Przyłącze kablowe musi być pokryte powłoką zabezpieczającą przed korozją (bezzropuszczalnikowa, aby nie zniszczyła izolacji kabla).

Wykonanie pomiarów elektrycznych i elektrochemicznych umożliwiają stacje pomiarowe (inna nazwa: punkty kontrolno-pomiarowe, słupki kontrolno-pomiarowe).

Wykonywane pomiary dot. np. potencjału konstrukcji chronionej, potencjału konstrukcji sąsiedniej, natężenia prądu płynącego gazociągami, natężenia prądu z anody, rezystancji itd.

Dla rurociągów stacje pomiarowe rozmieszcza się wzdłuż trasy rurociągu, w odstępach nie większych niż 3 km. Lokalizacja i wyposażenie stacji projektuje się indywidualnie, w zależności od potrzeb. Stacje pomiarowe zawierają zaciski pomiarowe od przewodu potencjałowego podłączonego do konstrukcji oraz przewodu od stacjonarnej elektrody odniesienia. Stacje pomiarowe wykonuje się w postaci słupków betonowych, z tworzywa sztucznego lub skrzynek. Znajdują się one na otwartej przestrzeni. Przykład stacji pomiarowej przedstawiono na rys. 12.



Rys. 12. Punkt pomiarowy w obudowie
 Fig. 12. Measuring point in housing
 Źródło: MSG Sp. z o. o.

9. Rozkład potencjału na ochronnej powierzchni [6]

Projekt instalacji ochrony katodowej wykonuje się pod kątem dostarczenia wymaganego prądu polaryzującego do chronionej konstrukcji i rozmieszczenia wszystkich elementów instalacji ochrony katodowej tak, aby otrzymać najkorzystniejszy rozkład potencjału na chronionej powierzchni konstrukcji. Rurociąg jest przykładem konstrukcji o nierównomiernym rozkładzie potencjału na jego powierzchni. Na rys. 13 przedstawiono rozkład potencjału wzdłuż rurociągu przy zastosowaniu SOK.

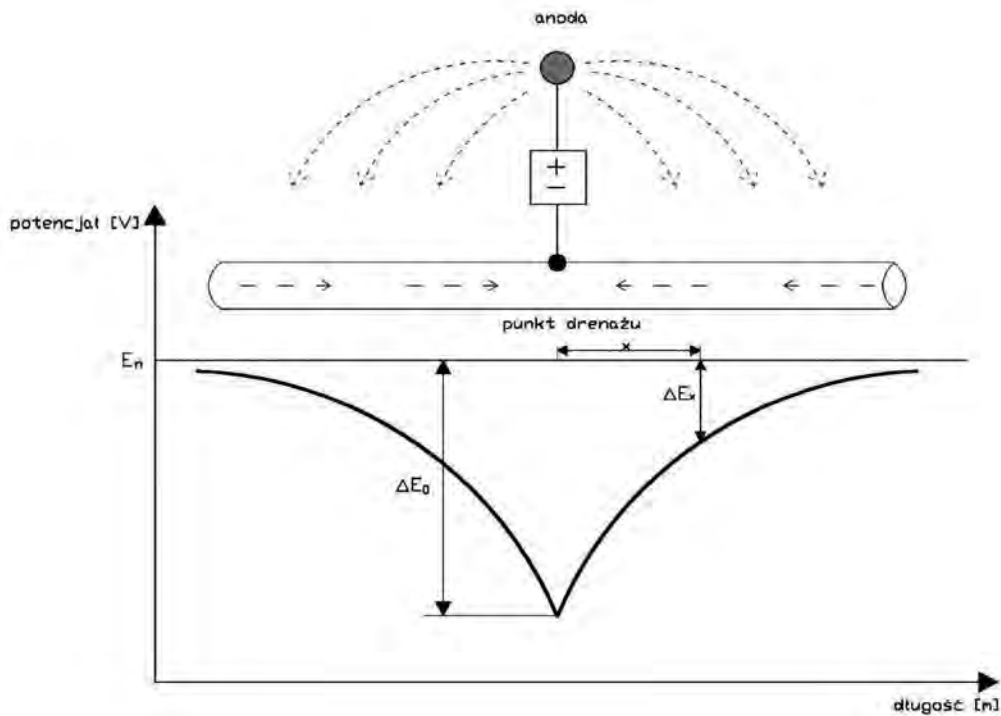
Część rurociągu znajdująca się najbliżej anody (punkt drenażu) jest polaryzowana w wyższym stopniu w stosunku do miejsc bardziej odległych, ponieważ występują tu największe gęstości prądu polaryzującego. Zmianę potencjału w punkcie drenażu ΔE_0 oraz w odległości x od tego punktu ΔE_x charakteryzuje zależność:

$$\Delta E_x = \Delta E_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (6)$$

gdzie:

α – współczynnik rozptyłu prądu (zależy przede wszystkim od stanu izolacji zewnętrznej rurociągu, od rezystancji wzdłużnej rurociągu).

Rozkład potencjału, według wyżej opisanej zależności, może ulegać zmianie w następstwie np. odgałęzień rurociągu, obecności pól prądów błądzących, obecności rur osłonowych (w przejściach pod drogami), czy sąsiedztwa innych metalowych konstrukcji podziemnych. Należy również podkreślić, iż jakość izolacji ma znaczą-



Rys. 13. Rozkład potencjału wzdłuż rurociągu chronionego katodowo.
 Fig. 13. Potential distribution along cathodically protected pipeline.
 Źródło: opracowanie własne

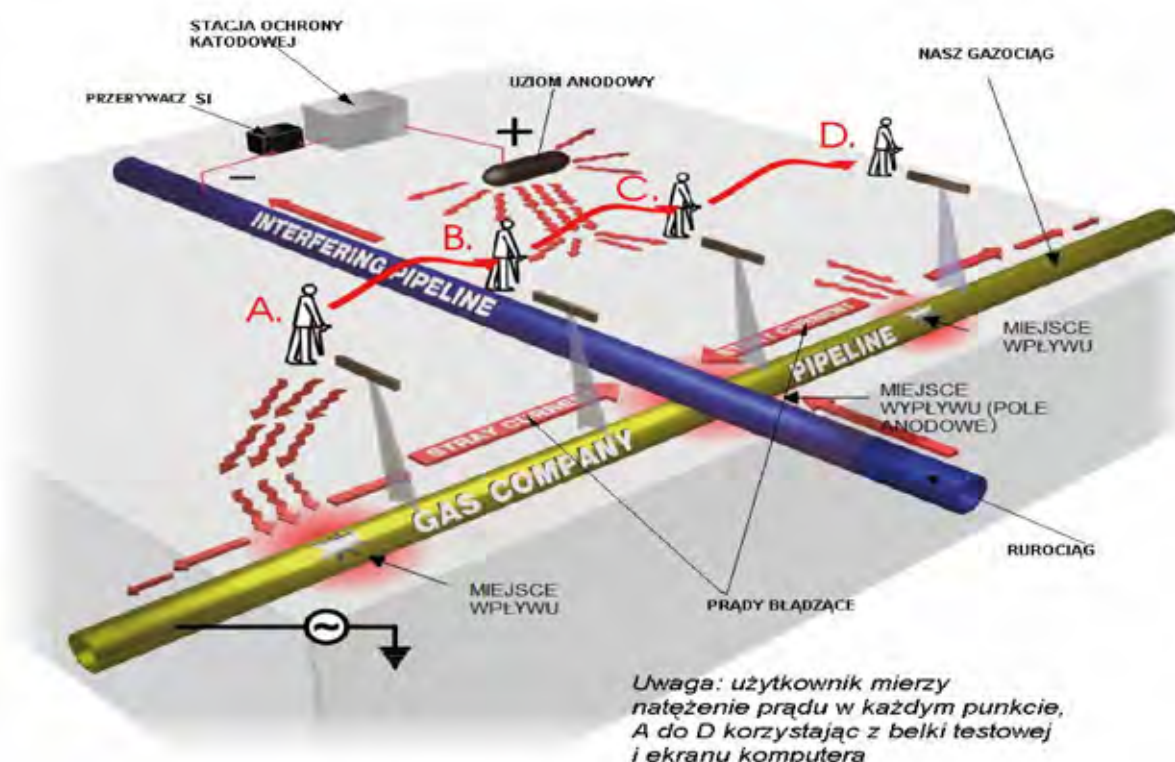
cy wpływ na rozkład potencjału wzdłuż rurociągu. Zasięg ochrony katodowej jest tym większy, im stan izolacji jest lepszy i odwrotnie.

10. Interferencja prądów błądzących [1]

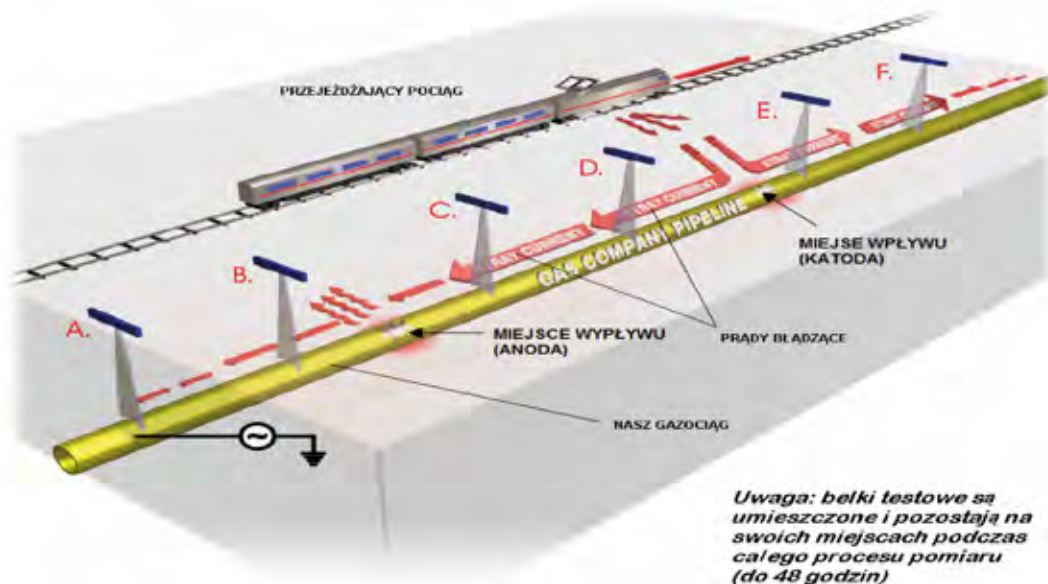
Prądy błądzące są to prądy płynące swobodnie w ziemi, poza swoimi obwodami roboczymi. Uplývają one do środowiska elektrolitycznego z obwodów elektrycznych, niedostatecznie odizolowanych od tego środowiska. Prądy te, przepływając w ziemi przez metalowe obiekty podziemne, np. sieci rurociągów, mogą w pokaźny sposób przyspieszyć przebieg korozji metalu, stąd są przyczyną prawdziwego spustoszenia w infrastrukturze podziemnej.



Rys. 14. Typowe uszkodzenie rurociągu wywołane przez prądy błądzące
 Fig. 14. Typical pipeline damage caused by stray currents
 Źródło: MSG Sp. z o. o.



Rys. 15. Przykład powstania statycznego prądu błądzącego
 Fig. 15. Example of static stray current
 Źródło: Radiodetection An Spx Company



Rys. 16. Przykład powstania dynamicznego prądu błędzającego

Fig. 16. An example of the formation of a dynamic stray current

Źródło: Radiodetection An Spx Company

Głównymi źródłami prądów błędzących są trakcje elektryczne (tramwajowa, kolejowa, metro), same układy ochrony katodowej, układy przesyłowe HVDC, czy urządzenia przemysłowe prądu stałego. Do prądów błędzących zalicza się również prądy telluryczne, które są wywołane indukcyjnie na skutek zmian pola magnetycznego ziemi w czasie burz magnetycznych.

W zależności od źródła, wyróżnia się prądy błędzące statyczne (stałe natężenie oraz jednakowe drogi przepływu w środowisku elektrolitycznym) i dynamiczne (zmiennne natężenia, drogi oraz kierunki przepływu).

W celu zminimalizowania skutków oddziaływania prądów błędzących, zalecane jest przekształcenie źródeł tych prądów, bądź modyfikacja konstrukcji podlegających ich oddziaływaniu. Wyróżnia się biernie oraz czynne metody ochrony przed prądami błędzącymi. Metody biernie dotyczą środków zapobiegawczych, np.: zmniejszenie upływu prądu z ich źródeł do środowiska elektrolitycznego, zabezpieczenie konstrukcji izolacją o wysokiej jakości, budowa konstrukcji w znacznej odległości od źródeł prądów błędzących, czy zwiększanie odległości anod od obcych konstrukcji (zmniejszenie oddziaływania systemów ochrony katodowej).

Metody czynne ochrony przed prądami błędzącymi polegają na instalowaniu urządzeń ochrony katodowej, w celu zminimalizowania bądź wyeliminowania prądu wypływającego z konstrukcji przez granicę faz metal/ elektrolit. Realizacja wyżej wymienionych celów jest możliwa poprzez zastosowanie drenaży elektrycznych, odprowadzenie prądów błędzących z konstrukcji przez elektrody uziemiające, ochronę katodową z zewnętrznym źródłem prądu oraz ochronę protektorową.

11. Powłoki w ochronie katodowej [4,5,6]

Na potrzeby ochrony katodowej podziemnych konstrukcji metalowych, powłoki można podzielić na dwie grupy:

- powłoki barierowe, które stanowią przeszkodę oddzielającą metal od środowiska elektrolitycznego,
- powłoki metalowe (elektrochemiczna ochrona metalu).

Odpowiedni rodzaj powłoki dobiera się w zależności od typu konstrukcji, właściwości otaczającego środowiska elektrolitycznego, narażenia na uszkodzenia mechaniczne, współpracy z innymi powłokami stosowanymi łącznie, temperatury eksploatacji, narażenia na promieniowanie UV, przewidywanego czasu eksploatacji rurociągu oraz współpracy z systemem ochrony katodowej.

Powłoki barierowe stanowią swoistą barierę rezystancyjną dla przepływu prądu, płynącego do metalu w miejscach nieciągłości i porów powłoki, współpracują z systemem ochrony katodowej zmniejszając zapotrzebowanie na prądowe oraz poprawiając rozkład prądu. Powłoki barierowe dla konstrukcji podziemnych to powłoki organiczne, taśmy z tworzyw sztucznych, czy izolacje asfaltowo-szklane i asfaltowe. Na rurociągach podziemnych powłoki te stanowią zazwyczaj jedną lub kilka warstw taśm nałożonych na rurę (nawiniętych spiralnie do osi rury). Przykład powłoki przedstawiono na rys.17.



Rys. 17. Przykład powłoki na rurociągu

Fig. 17. Example of a coating on a pipeline.

Źródło: MSG Sp. z o. o.

Kolejna grupa powłok tj. powłoki metalowe są to cienkie warstwy nanoszone na chronioną, metalową konstrukcję. Powłoki metalowe ochronne dzielimy na anodowe (np. cynk, kadm), katodowe (np. powłoki cynowe, miedziane), powłoki katodowe na podłożu pasywnującym się (np. platyna na tytanie). Jednym z najczęściej stosowa-

nych metali na powłoki metalowe jest cynk, który charakteryzuje się nietrwałością w środowisku kwaśnym i zasadowym, stąd stosowany jest dla konstrukcji znajdujących się w środowisku obojętnym.

12. Podsumowanie

Efektywne i ekonomiczne zabezpieczenie przeciwkorozyjne podziemnych konstrukcji metalowych, można uzyskać poprzez równoczesne zastosowanie odpowiednio dobranych powłok izolacyjnych i ochrony katodowej. Oba sposoby zabezpieczeń stosowane są zazwyczaj jednocześnie. Im wyższa jakość izolacji, tym mniejsze zapotrzebowanie inwestycyjne na eksploatację ochrony katodowej. Poprawa jakości nowoczesnych materiałów izolacyjnych, nie spowodowała rezygnacji z zastosowania instalacji ochrony katodowej – jej rola w tym przypadku ogranicza się do zabezpieczenia niewielkich defektów izolacji, których naprawa po zakopaniu rurociągu jest ekonomicznie niezasadna.

Przez ostatnie lata rozwój ochrony katodowej dotyczył przede wszystkim materiałów anodowych, stacji ochrony katodowej, kryteria ochrony katodowej, aparatury pomiarowej, jak również nowocze-

nych, specjalistycznych programów do modelowania oraz analizy skuteczności ochrony katodowej. Dzięki temu, produkowane obecnie SOK są sprawniejsze oraz wydajniejsze prądowo.

WYKAZ LITERATURY, NORM I STANDARDÓW TECHNICZNYCH

- [1] Dziuba W., Sieć powrotna i prądy błądzące, Warszawa 1995, Wydawnictwo Książkowe Instytutu Elektrotechniki.
- [2] Michałowski W., Trzop S., Rurociągi dalekiego zasięgu, Warszawa 1995, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- [3] PN-EN 13509 – Metody pomiarowe w ochronie katodowej.
- [4] PN-EN 12068 – Ochrona katodowa. Zewnętrzne powłoki organiczne stosowane łącznie z ochroną katodową do ochrony przed korozją podziemnych lub podwodnych rurociągów stalowych. Taśmy i materiały kurcziwe.
- [5] ST-IGG – 0601:2008 – Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Wymagania funkcjonalne i zalecenia.
- [6] Żakowski K., Darowicki K., Ochrona Katodowa, Gdańsk 2011, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.