



OBLICZENIA I POMIARY
GALWANICZNEJ OCHRONY KATODOWEJ
CALCULATION AND MEASUREMENT
OF GALVANIC CATHODIC PROTECTION

Maciej Markiewicz

Instytut Nafty I Gazu, Kraków

Słowa kluczowe: anody galwaniczne, polaryzacja anod, ograniczenia ochrony galwanicznej
Keywords: galvanic anodes, polarization of anodes, limitations of galvanic CP

Streszczenie

Omówiono materiały i zastosowania anod galwanicznych, ze szczególnym uwzględnieniem anod magnezowych w instalacjach ochrony katodowej podziemnych konstrukcji takich jak zbiorniki. Przedstawiony został proces obliczeń ochrony galwanicznej uwzględniający polaryzację anod. Przedyskutowano zachowanie się układu ochrony galwanicznej w zależności od rezystancji przejścia chronionej konstrukcji. Przedstawiono przykład obliczeniowo - pomiarowy ochrony galwanicznej zbiorników o złej powłoce izolacyjnej. Objąsniiono przyczyny niepowodzenia tego przedsięwzięcia. Podano zasady kontroli pomiarowej ochrony galwanicznej zbiornika.

Summary

The materials and application areas of galvanic anodes have been described, with an emphasis given to magnesium anodes in CP installations of underground structures like tanks. The calculation sequence of galvanic CP including polarization of the anodes has been presented. The behaviour of the CP system depending on the coating resistance of the structure to be protected has been discussed. The example of the calculation and measurement of the galvanic CP of the tanks having poor quality coating has been given. The failure of this task has been explained. The rules of the control survey of galvanic CP of tanks have been presented.

1. Materiały anod galwanicznych

Stosowanie ochrony galwanicznej konstrukcji podziemnych jest generalnie ograniczone do konstrukcji o małej powierzchni i/albo dobrze izolowanych, a przy tym umieszczonych w środowisku elektrolitycznym o niewielkiej rezystywności. Ten ostatni wymóg traci na znaczeniu w przypadku nowych konstrukcji, z reguły wyposażonych w bardzo dobre powłoki izolacyjne, dzięki czemu nawet w gruncie o wysokiej rezystywności ($100 \div 200 \Omega\text{m}$) nie potrzeba instalować wielu anod galwanicznych, aby uzyskać prąd ochrony o wymaganym natężeniu. Zakres zastosowań ochrony galwanicznej rośnie, ponieważ nowe konstrukcje z reguły posiadają bardzo dobre powłoki izolacyjne.

Na anody galwaniczne wykorzystuje się metale o potencjałach elektrochemicznych bardziej elektroujemnych od potencjału chronionej stalowej konstrukcji. Im większa jest różnica potencjałów anoda – konstrukcja, tym większy prąd polaryzacji katodowej można uzyskać.

Anody galwaniczne powinny też spełniać wymagania w zakresie pasywacji, polaryzacji i korozji własnej.

Anoda galwaniczna nie powinna ulegać pasywacji, czyli na jej powierzchni nie powinny się tworzyć trudno przewodzące warstewki tlenków [1,2].

Anody galwaniczne powinny ulegać jak najmniejszej polaryzacji podczas pracy, tj. potencjał anody nie powinien się istotnie podwyższać pod wpływem płynącego prądu, ponieważ prowadzi to do ograniczenia napięcia anoda – konstrukcja i w konsekwencji do ograniczenia prądu ochrony katodowej.

Anody powinny się charakteryzować jak najmniejszą korozją własną.

Powyższe wymagania spełniają, w różnym stopniu, anody galwaniczne magnezowe, cynkowe i aluminiowe. Do czystych metali dodaje się dodatki stopowe celem ograniczenia pasywacji i korozji własnej, a także celem poprawy struktury krystalicznej anody, co sprzyja równomiernemu jej roztwarzaniu.

Sprawność anody galwanicznej jest to stosunek masy materiału anody zużytego na wytworzenie prądu w ogniwie anoda – konstrukcja do całkowitej masy roztworzonego materiału anody. Gdyby sprawność anody wynosiła 100%, to praktyczna wydajność prądowa anody byłaby równa teoretycznej.

W ochronie katodowej konstrukcji podziemnych stosuje się prawie wyłącznie anody galwaniczne magnezowe. Ich potencjały korozyjne (naturalne) sięgają $-1.5 \div -1.7\text{V}$ względem elektrody Cu/nas.CuSO₄. Wysokie elektroujemne potencjały anody magnezowe uzyskują w wyniku dodania manganu. Wadą anod magnezowych jest ich niska sprawność wynosząca zaledwie 55%, spowodowana znaczną wewnętrzną korozją towarzyszącą anodowemu roztwarzaniu. Przez to praktyczna wydajność prądowa anod magnezowych wynosi 1160 Ah/kg, podczas gdy teoretyczna sięga 2200 Ah/kg. Wydajności 1160 Ah/kg odpowiada zużycie materiału anody 7,55 kg/A/rok.

Anody galwaniczne w instalacjach ochrony katodowej konstrukcji podziemnych umieszcza się w jutowych workach wypełnionych aktywatorem składającym się zwykle z 20% objętościowych bentonitu, 75% gipsu, 5% siarczanu sodu. Zadaniem aktywatora jest przeciwdziałanie powstawaniu warstw pasywacyjnych na powierzchni anody, utrzymanie wilgoci wokół anody (bentonit), zmniejszenie rezystancji przejścia anody (gabaryt worka, bentonit), zapewnienie równomiernego roztwarzania anody (gips). Siarczan sodu obniża rezystywność aktywatora.

Anody cynkowe mają sprawność 92% i zużycie materiału 11,4 kg/A/rok, ale z uwagi na potencjały korozyjne nieprzekraczające $-1,1V$ względem elektrody Cu/nas.CuSO₄, nie są praktycznie stosowane w ochronie katodowej konstrukcji podziemnych. Ponadto w wodzie słodkiej i w glebie cynk ma skłonność do pasywacji. Typowym środowiskiem, w którym stosuje się anody cynkowe jest woda morska.

Anody aluminiowe mają sprawność około 80 %, zużycie materiału 3 – 4 kg/A/rok. Czyste aluminium łatwo pasywuje się, dlatego anody aluminiowe zawierają dodatki stopowe przeciwdziałające pasywacji, głównie cynk i magnez. Potencjały korozyjne anod aluminiowych zawierają się w granicach od $-1,1$ do $-1,3 V$ względem elektrody Cu/nas.CuSO₄ i mają tendencję do niestabilności. Anody aluminiowe stosuje się w środowisku wody morskiej, np. do ochrony podmorskich dalekosiężnych rurociągów. Anody mają wówczas postać obrczy zakładanych na rurociąg w określonych odstępach.

2. Zastosowanie anod galwanicznych w ochronie katodowej konstrukcji podziemnych

Obiekty, na których realizuje się ochronę katodową przy użyciu anod galwanicznych to:

- zbiorniki o osi poziomej umieszczone w gruncie lub nad poziomem gruntu w kopcach ziemnych,
- rurociągi zabezpieczone powłokami o bardzo dobrej jakości i odizolowane od innych konstrukcji przewodzących.

Sprawy ochrony zbiorników przed korozją są ujęte w dwóch rozporządzeniach Ministra Gospodarki: z dnia 21 listopada 2005 r. [3] i z dnia 18 września 2001 r. [4] ze zmianami z dnia 31 marca 2008 r. [5]. Pierwsze dotyczy warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać m.in. bazy i stacje paliw płynnych, drugie – warunków technicznych dozoru technicznego, jakim powinny odpowiadać zbiorniki beztęśniowe i niskociśnieniowe przeznaczone do magazynowania materiałów ciekłych zapalnych. Pierwsze rozporządzenie wymaga, aby nowobudowane podziemne stalowe zbiorniki były „wyposażone w zabezpieczenie przeciwkorozyjne zewnętrznych powierzchni stykających się z gruntem za pomocą ochrony katodowej”. Drugie rozporządzenie stwierdza, że zbiorniki „zabezpiecza się przed działaniem korozji poprzez stosowanie ochrony katodowej”.

Zgodnie z [3] i [5] zbiorniki powinny być uziemione, co najprościej zrealizować przez połączenie z siecią uziemiającą obiektu. Ponadto wszystkie metalowe nadziemne konstrukcje na terenie bazy lub stacji paliw są połączone z siecią uziemiającą obiektu ze względu na wymagania ochrony odgromowej.

Napędy elektryczne i urządzenia AKP zainstalowane na stałe przy zbiornikach są zasilane z sieci niskiego napięcia prądu przemiennego w systemie TN. Części przewodzące dostępne tych urządzeń, połączone galwanicznie ze zbiornikami wymagają połączenia z siecią uziemiającą za pośrednictwem przewodu ochronnego PE lub ochronno – neutralnego PEN.

Powyższe rozwiązania ochrony odgromowej i przeciwporażeniowej powodują, że wymóg uziemienia zbiorników jest łatwo spełniony, ale równocześnie wymóg skutecznej ochrony katodowej zbiorników jest trudny do spełnienia, ponieważ konstrukcja chroniona katodowo powinna być nie tylko ciągła elektrycznie, ale także odizolowana elektrycznie od konstrukcji nie objętych ochroną katodową, w tym sieci uziemień [6,7].

Rozwiązaniem powyższej sprzeczności jest uziemienie zbiorników przez ochronniki przeciwprzepięciowe oraz odizolowanie zbiorników od konstrukcji uziemionych, albo narażonych na kontakt z siecią uziemiającą. Konstrukcjami tymi są stalowe skrzynie (studnie) nazbiornikowe, rurociągi technologiczne oraz żelbetowe płyty fundamentowe, na których spoczywają zbiorniki. Urządzenia elektryczne (napędy pomp oraz AKP), do których jest doprowadzone zasilanie 220 V AC winny być zasilane przez transformatory separacyjne lub wykonane w II klasie ochronności, albo też ich obudowy winny być połączone z przewodem ochronnym poprzez urządzenia odgraniczające prądu stałego [7].

Ograniczenia w stosowaniu anod galwanicznych w ochronie katodowej zbiorników wynikają z następujących względów:

1. Duża rezystywność gruntu przy równoczesnej niskiej jakości powłoki izolacyjnej
2. Galwaniczne połączenie zbiorników z konstrukcjami nieizolowanymi
3. Wymóg objęcia ochroną katodową nie tylko zbiorników, lecz także związanych z nimi rurociągów

W przypadku nowych zbiorników względ 1 praktycznie nie występuje; powłoki izolacyjne są wysokiej jakości, zapotrzebowanie prądu ochrony katodowej jest na tyle małe, że anody galwaniczne umieszczone nawet w piasku o rezystywności rzędu $10^2 \div 10^3 \Omega\text{m}$ bez trudu dostarczają wymagany prąd ochrony.

Zdarza się, w przypadku nowych zbiorników, że z różnych powodów pozostają one połączone z nieizolowanymi konstrukcjami i urządzeniami. Wymagany prąd ochrony katodowej wzrasta wówczas zwykle o rząd wielkości i trudno jest, w fazie projektowania, określić czy ochrona przy użyciu anod galwanicznych będzie skuteczna. Bezpiecznie jest zaprojektować ochronę katodową prądem z zewnętrznego źródła.

Wymóg objęcia ochroną katodową rurociągów technologicznych dotyczy baz zbiorników paliwowych i gazu płynnego i raczej oznacza konieczność zastosowania ochrony katodowej prądem z zewnętrznego źródła. Powłoki izolacyjne rurociągów są wprawdzie wysokiej jakości, ale zwykle trudno jest, na terenie rozległej bazy, uniknąć wszystkich połączeń rurociągów z siecią uziemiającą za pośrednictwem przewodu ochronnego.

W przypadku istniejących zbiorników gazu płynnego skojarzonych z rurociągami należy wykluczyć możliwość ochrony przy użyciu anod galwanicznych. Podobnie problematyczna byłaby ochrona katodowa przy użyciu anod galwanicznych istniejących zbiorników na stacji paliw – nie tyle z uwagi na niskiej jakości powłoki ochronne, lecz raczej z uwagi na istniejące i trudne do usunięcia połączenia z siecią uziemiającą stacji. Jeżeli jednak ochrona katodowa jest instalowana w związku z remontem stacji obejmującym odkrycie zbiorników, to gdyby się udało wówczas zlikwidować połączenia z siecią uziemiającą oraz zainstalować złącza izolujące na rurociągach technologicznych lub wymienić rurociągi na nieprzewodzące, to zastosowanie anod galwanicznych do ochrony katodowej zbiorników byłoby możliwe.

Ochronę katodową przy użyciu anod galwanicznych stosuje się dla obiektów, które mogą być skutecznie chronione niewielkim prądem rzędu od 10^{-1} do 10 mA. Oznacza to, że zewnętrzna powierzchnia obiektu ochrony musi być niewielka, albo, że obiekt jest bardzo dobrze izolowany od ziemi.

Przykładem obiektu o małej powierzchni jest podziemny zbiornik paliwowy – powierzchnia typowego zbiornika o pojemności 50 m^3 wynosi około 100 m^2 . Jeżeli powłoka izolacyjna zbiornika jest dobrej jakości (rezystancja przejścia rzędu 10^4 lub $10^5 \Omega\text{m}^2$), to zbiornik będzie chroniony prądem odpowiednio rzędu 1 lub 0,1 mA.

Przykładem obiektu o dużej powierzchni, ale równocześnie o bardzo dobrej powłoce izolacyjnej (rezystancja przejścia rzędu 10^6 lub $10^7 \Omega m^2$) jest podziemny rurociąg. Powierzchnia rurociągu DN 300 o długości 50 km wynosi około 50 000 m². Powinien on być chroniony odpowiednio prądem około 15 lub około 1,5 mA.

3. Obliczenia galwanicznej ochrony katodowej

Napięcie U (ang. driving voltage) wytworzone pomiędzy podziemną lub podwodną konstrukcją metalową, a połączoną z nią anodą galwaniczną określa zależność:

$$U = E_k - E_{Ag} \quad (1)$$

gdzie:

E_k – potencjał konstrukcji, V

E_{Ag} – potencjał anody galwanicznej, V

W obwodzie otwartym ochrony galwanicznej (bez przepływu prądu ochrony), zależność (1) przyjmuje postać:

$$U = E_{nk} - E_{nAg} \quad (2)$$

gdzie:

E_{nk} – potencjał korozyjny konstrukcji, V

E_{nAg} – potencjał korozyjny (naturalny) anody galwanicznej, V

W warunkach pracującej ochrony, potencjał E_{nAg} ulega zwiększeniu (czyli staje się mniej elektroujemny) wskutek polaryzacji anody galwanicznej prądem obciążenia układu I [1]:

$$E_{Ag} = E_{nAg} + I \cdot r_p \quad (3)$$

gdzie:

r_p – rezystancja polaryzacji anody, Ω

Jak widać, polaryzacja anody jest tym większa im większy prąd płynie w obwodzie ochrony.

Zależność (1) przyjmuje postać:

$$U = E_k - E_{nAg} - I \cdot r_p \quad (4)$$

gdzie:

E_k – potencjał załączeniowy konstrukcji

Napięcie U wytworzone w układzie anoda – konstrukcja rozkłada się proporcjonalnie do rezystancji w obwodzie obciążenia, zgodnie z poniższą zależnością liniową:

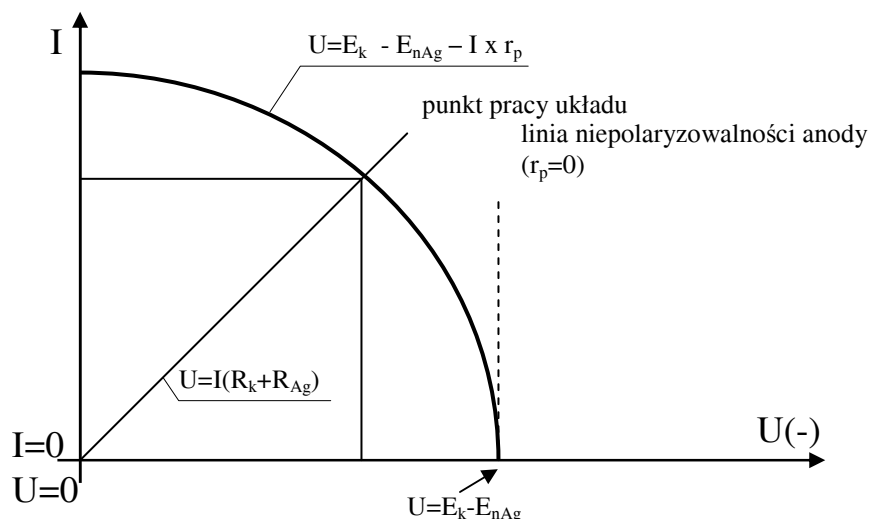
$$U = I (R_{Ag} + R_k) \quad (5)$$

gdzie:

R_{Ag} – rezystancja przejścia anody galwanicznej, Ω

R_k – rezystancja przejścia konstrukcji, Ω

Na rys. 1 przedstawiono graficznie zależności (4) i (5). Punkt przecięcia krzywej $I = f(U)$ przedstawiającej zależność (4) z prostą przedstawiającą zależność (5), jest punktem pracy układu ochrony. Dla danego układu ochrony galwanicznej (obiekt ochrony o określonej rezystancji przejścia, zainstalowana anoda lub anody o określonej rezystancji przejścia), punkt pracy jest jeden, bo prąd ochrony galwanicznej przyjmuje jedną ustaloną wartość. Może ona ulec zmianie, jeżeli pogorszy się z czasem szczelność powłoki izolacyjnej konstrukcji, przez co obniży się jej rezystancja przejścia R_k , albo wzrośnie rezystancja przejścia anody R_{Ag} , albo w obwodzie zostanie zainstalowany rezystor ograniczający prąd.



Rys. 1. Ilustracja graficzna pracy układu ochrony katodowej konstrukcji przy użyciu anody galwanicznej

Punkt pracy układu znajduje się blisko osi x (mały kąt nachylenia prostej $U = I(R_{Ag} + R_k)$), jeżeli konstrukcja jest dobrze izolowana, tj. jej rezystancja przejścia jest duża. Napięcie U jest duże, ale z powodu małej polaryzacji anody, potencjał konstrukcji spełnia kryterium ochrony. Punkt pracy układu znajdzie się bliżej osi y (duży kąt nachylenia prostej $U = I(R_{Ag} + R_k)$), jeżeli konstrukcja jest źle izolowana, tj. jej rezystancja przejścia jest mała. Napięcie U jest małe wskutek polaryzacji anody, a prąd płynący w obwodzie, o dużym natężeniu, może być niewystarczający dla spolaryzowania źle izolowanej konstrukcji do wymaganego potencjału ochrony katodowej.

Gdyby anoda galwaniczna nie ulegała żadnej polaryzacji, to zamiast krzywej zmierzającej do przecięcia z osią y, mielibyśmy prostą równoległą do osi y, co oznaczałoby, że napięcie U pozostawałoby stałe, a nie malałoby wraz ze wzrostem prądu I . Punkt pracy układu znalazłby się na prostej $U = \text{const}$ i byłby określony zależnością:

$$I = \frac{E_k - E_{n_{Ag}}}{R_k + R_{Ag}} \quad (6)$$

Jeżeli polaryzowalność anody jest mała, to napięcie U pozostaje mniej więcej stałe w dość szerokim zakresie prądu. Możliwa jest wówczas ochrona katodowa konstrukcji żel izolowanej, relatywnie dużym prądem.

Jeżeli polaryzowalność anody jest istotna, to zależność (6) przybiera postać:

$$I = \frac{E_k - En_{Ag}}{R_k + R_{Ag} + r_p} \quad (7)$$

Natężenie prądu jest za małe do skutecznego spolaryzowania konstrukcji. Niepożądana polaryzacja anody jest przyczyną niewydolności układu ochrony galwanicznej konstrukcji żel izolowanej.

4. Przykład obliczeniowo-pomiarowy dotyczący instalacji ochrony katodowej zbiorników gazu płynnego (LPG) przy użyciu galwanicznych anod magnezowych

Obiektem ochrony katodowej są dwa zbiorniki LPG o pojemności 300 m³, długości 30 m i średnicy 3,6 m, umieszczone obok siebie na betonowych ławach we wspólnym kopcu ziemnym. Zbiorniki nie są bezpośrednio uziemione i są odizolowane od rurociągów za pomocą łączny izolujących. Zbiorniki są pokryte powłoką izolacyjną z dwuskładnikowej farby Bergolin.

Zbiorniki są obsypane gruntem piaszczystym, który również zalega u podnóża skarpy kopca. Rezystywność pozorną gruntu waha się w granicach od 130 do 400 Ωm.

Rezystancja przejścia zbiorników zmierzona względem sieci uziemiającej wynosi:

Zbiornik 1 – 14,9 Ω

Zbiornik 2 – 18,4 Ω

Wypadkowa rezystancja przejścia dwóch zbiorników:

$R_{zb} = 8,23 \Omega$

Średnia jednostkowa rezystancja przejścia dwóch zbiorników o łącznej powierzchni zewnętrznej 734 m² wynosi:

$R_{pzb} = 8,23 \times 734 = 6\,040 \Omega m^2$

Jest to wartość rezystancji przejścia charakteryzująca powłokę raczej niskiej jakości. Można przyjąć, że powłoce takiej odpowiada średnia gęstość prądu ochrony katodowej j około 0,05 mA/m². Stąd wymagany prąd ochrony katodowej zbiorników:

$I_{zb} = 0,05 \times 734 = 36,7 \text{ mA}$

Liczbę anod magnezowych wymaganych dla dostarczenia prądu $I_{zb} = 36,7 \text{ mA}$ do powierzchni o rezystancji przejścia $R_{zb} = 8,23 \Omega$ określono szacunkowo, bez uwzględnienia polaryzacji anod, przyjmując, że kryterium ochrony zbiorników $E_{zbp} = E_{zboff} = -0,75 \text{ V}$ będzie spełnione, jeżeli potencjał E_{zbon} nie będzie mniej ujemny niż $-1,05 \text{ V}$ względem elektrody Cu/nas. CuSO₄.

Z zależności (5):

$$R_{Mg} = \frac{U}{I_{zb}} - R_{zb} = \frac{1,57 - 1,05}{0,0367} - 8,23 = 5,94 \Omega \quad (8)$$

Rezystancja jednej anody:

$$R_{IMg} = \frac{\rho}{2\pi l_w} \ln \frac{2l_w}{d_w} \quad (9)$$

gdzie:

długość worka z anodą $l_w = 0,8$ m

średnica worka z anodą $d_w = 0,25$ m

$\rho = 250 \Omega\text{m}$ (wartość średnia)

$R_{IMg} = 92,3 \Omega$

Wymagana liczba anod N, przy współczynniku rezerwy 1,2:

$$N = \frac{R_{IMg} \cdot 1,2}{R_{Mg}} = 18,65 \Omega \quad (10)$$

Wartość polaryzacji anod nie jest znana. Jednak przy stosunkowo dużym prądzie około 37 mA, można się spodziewać, że będzie ona na tyle duża, że jak widać z zależności (4), potencjał E_{onzb} nie zbliży się do $-1,05$ V i kryterium ochrony $E_{zbp} = E_{zboff} = -0,75$ V nie będzie spełnione.

Mimo to instalacja składająca się z 18 anod została wybudowana. Po połączeniu anod ze zbiornikami okazało się, że uzyskanie prądu 37 mA jest niemożliwe. W obwodzie ustalił się prąd ochrony katodowej $I_{zb} = 11$ mA, ponad trzykrotnie mniejszy od prądu obliczeniowego.

Po 2 tygodniach pracy instalacji zmierzono potencjały zbiorników względem stałych elektrod odniesienia Cu/nas.CuSO₄ podczas chwilowego odłączenia anod od zbiorników. Średnia wartość potencjału $E_{zboffsr}$ wyniosła $-0,67$ V, przy bardzo małym rozrzucie mierzonych wartości. Ponieważ potencjał ochrony zbiorników E_{pzb} wynosi $-0,75$ V względem elektrody odniesienia Cu/nas.CuSO₄, kryterium ochrony katodowej nie jest spełnione.

Zgodnie z (5), napięcie U wytworzone w układzie anody – zbiorniki wynosi:

$$U = I (R_{zb} + R_{Mg}) = 0,011(8,23 + 5,94) = 0,16 \text{ V}$$

Równocześnie, zgodnie z (4):

$$E_{zb} - I r_p = 0,16 - 1,57 = -1,41 \text{ V}$$

Skoro zmierzono potencjał $E_{zboffsr} = -0,67$ V, to potencjał załączeniowy zbiorników $E_{on sr}$ nie jest raczej niższy niż np. $-0,80$ V, co świadczyłoby o dużej polaryzacji anod, która, mimo małego prądu wyniosłaby:

$$1,41 - 0,80 = 0,61 \text{ V}$$

i ochrona jest nieskuteczna – bo prąd polaryzacji jest za mały, a równocześnie polaryzacja anod jest znaczna.

Zwiększenie liczby anod, a tym samym uzyskanie większego prądu nie przyniosłoby pożądanego efektu w postaci wystarczająco ujemnego potencjału zbiorników spełniającego kryterium ochrony $E_{zbp} = E_{zboff} = -0,75$ V względem elektrody Cu/nas. CuSO₄. Zwiększyłyby się przede wszystkim polaryzacja anod, przez co napięcie U wzrosłoby nieznacznie, a potencjał zbiorników uległby jedynie niewielkiemu obniżeniu.

Skuteczna ochrona galwaniczna zbiorników nie jest możliwa.

Dlatego zaprojektowano i zrealizowano ochronę katodową zbiorników prądem z zewnętrznego źródła w postaci zasilacza prądu stałego o parametrach wyjściowych 2,5 A, 30 V. Jako uziom anodowy zastosowano rurę stalową Φ 100, długości 1 m.

Napięcie wyjściowe SOK:

$$U = I \cdot (R_{zb} + R_{kb} + R_{ua}) \quad V \quad (11)$$

gdzie:

R_{zb} – wypadkowa rezystancja przejścia zbiorników, Ω

R_{kb} – rezystancja kabli anodowych i katodowych, Ω

R_{ua} – rezystancja uziomu anodowego, Ω

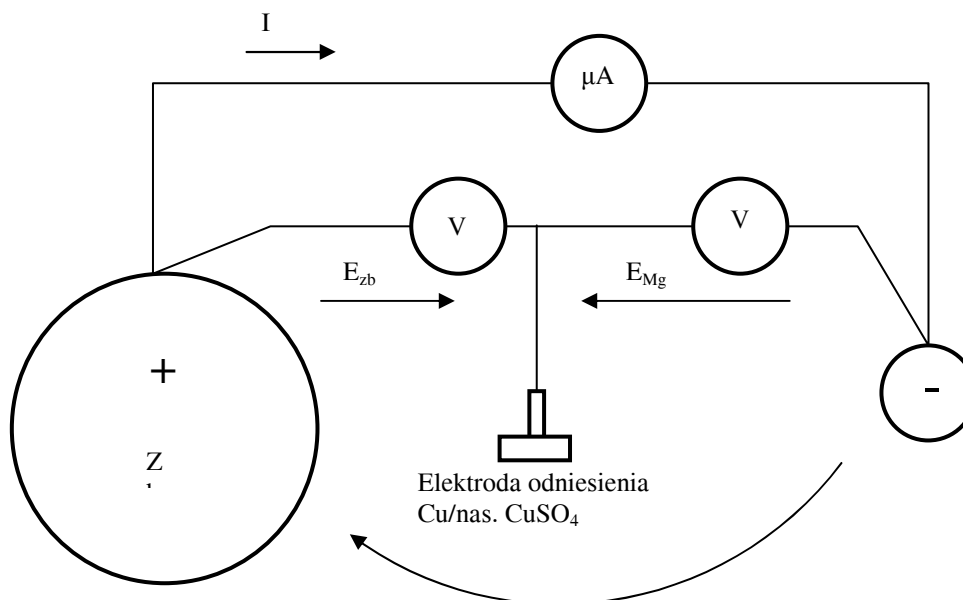
Rezystancja uziomu anodowego wyniosła 73 Ω . Rezystancja kabli jest do pominięcia.

Napięcie wyjściowe SOK:

$$U = 0,037 \times (73 + 8,23) = 3,0 \text{ V}$$

Okazało się, że kryterium ochrony katodowej $E_p = E_{\text{off}} = -750 \text{ mV}$ jest spełnione przy prądzie 20 mA, a więc znacznie mniejszym od obliczonego prądu anod galwanicznych 37 mA, ale blisko dwukrotnie większym od prądu 11 mA możliwego do dostarczenia przez anody galwaniczne. Napięcie wyjściowe SOK wyniosło 2,7 V.

5. Kontrola pomiarowa skuteczności galwanicznej ochrony katodowej zbiornika



Rys. 2. Schemat ideowy ochrony katodowej zbiornika przy użyciu galwanicznej anody magnezowej

Potencjały zbiornika mierzy się względem stałych elektrod odniesienia Cu/nas. CuSO₄ zainstalowanych przy powierzchni zbiornika. Wskazówki co do liczby elektrod na zbiornik można znaleźć w [6]. Potencjałem porównywanym z wartością kryterium ochrony jest poten-

cjał wyłączeniowy zbiornika mierzony podczas chwilowego odłączenia anod galwanicznych od zbiornika. W sytuacji, gdy zbiornik nie jest połączony z katodami (żelbet) i anodami (taśma uziemiająca) obiektu, względnie z innymi nieizolowanymi elementami konstrukcyjnymi, ocena skuteczności ochrony katodowej na podstawie wartości potencjału wyłączeniowego jest w pełni miarodajna. Jeżeli zbiornik jest połączony z nieizolowanymi konstrukcjami, zwłaszcza z żelbetem i ocynkowaną taśmą uziemiającą, to po odłączeniu anod galwanicznych, wskutek różnic potencjałów pomiędzy połączonymi galwanicznie eksponowanymi powierzchniami, powstaną ogniwa elektrochemiczne i w ziemi popłyną prądy. Wywołają one spadki napięcia, które zakłócać będą mierzone wartości potencjałów wyłączeniowych. Miarodajnym pomiarem potencjału byłby w tych warunkach pomiar potencjału elektrody symulującej długostrawnie polaryzowanej prądem ochrony katodowej a następnie chwilowo odłączonej od zbiornika na czas pomiaru.

Pomiar potencjału zbiornika o idealnej pozbawionej defektów powłoce izolacyjnej jest niemożliwy. Umieszczenie przy zbiorniku symulowanych defektów pozwoliłoby zmierzyć ich potencjały i na tej podstawie wnioskować o skuteczności ochrony defektów o określonej powierzchni. Jeżeli więc zbiornik ma doskonałą bezdefektową izolację, o czym nie wiemy, natomiast ma połączenia z konstrukcjami nieizolowanymi, np. z rurą nalewową, o czym świadczy wartość prądu anod galwanicznych, to mierzone wartości potencjałów wyłączeniowych są potencjałami rury nalewowej a nie zbiornika. Jeżeli zaś prąd anod galwanicznych odpowiada prądowi przyjętemu do obliczeń ochrony katodowej dla danej powłoki izolacyjnej, to mierzone wartości potencjałów wyłączeniowych są potencjałami defektów w powłoce izolacyjnej. Tak więc, aby wiarygodnie móc ocenić skuteczność ochrony katodowej zbiornika, należy go bardzo dobrze odizolować nie tylko od sieci uziemiającej, ale także od jakichkolwiek nieizolowanych elementów konstrukcyjnych.

6. Podsumowanie

Duże zbiorniki o osi poziomej, o pojemności 300 m³ i większej, nie zawsze mają dobre powłoki izolacyjne. Dotyczy to również zbiorników nowych. Próba ochrony galwanicznej takich zbiorników jest skazana na niepowodzenie, ponieważ zastosowanie wieloanodowego uziomu nie skutkuje uzyskaniem wymaganego prądu ochrony katodowej. Przyczyną jest polaryzacja anod galwanicznych. Jeżeli ocenia się, że dla ochrony zbiornika (ów) potrzeba prądu rzędu 10¹ mA, to należy realizować ochronę prądem z zewnętrznego źródła.

Literatura

- [1] W. von Baeckmann, W. Schwenk, W. Prinz: *Handbook of Cathodic Corrosion Protection*, Gulf Publishing Company, Houston 1997.
- [2] Praca zbiorowa, *Ochrona elektrochemiczna przed korozją*, WN-T Warszawa 1991.
- [3] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 listopada 2005 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać bazy i stacje paliw płynnych, rurociągi przesyłowe dalekosiężne do transportu ropy naftowej i produktów naftowych i ich usytuowanie (Dz.U. nr 243, poz. 2063 z dnia 14 grudnia 2005).
- [4] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18 września 2001r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego, jakim powinny odpowiadać zbiorniki bezciśnieniowe i niskociśnieniowe przeznaczone do magazynowania materiałów ciekłych zapalnych (Dz. U. z 2001 r. Nr 113 poz. 1211).

- [5] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 31 marca 2008 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego, jakim powinny odpowiadać zbiorniki bezciśnieniowe i niskociśnieniowe przeznaczone do magazynowania materiałów ciekłych zapalnych (Dz. U. z 2008 r. nr 60 poz. 371).
- [6] PN-EN 12954 Ochrona katodowa zakopanych lub zanurzonych konstrukcji metalowych – Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów.
- [7] PN-EN 13636 Ochrona katodowa metalowych zbiorników podziemnych i związanych z nimi rurociągów.
- [8] PN-86/E-05030/05 Ochrona przed korozją. Ochrona katodowa. Anody galwaniczne. Wymagania i badania.