



OCENA SKUTECZNOŚCI OCHRONY KATODOWEJ ZAKOPANYCH ZBIORNIKÓW STALOWYCH

EFFECTIVENESS EVALUATION OF BURIED TANKS CATHODIC PROTECTION

Maciej Markiewicz, Ewa Rabuszko

Instytut Nafty i Gazu, Z.U.A. Koreko

Słowa kluczowe: skuteczność ochrony katodowej, obliczenia projektowe, potencjał wyłączeniowy
Keywords: cathodic protection effectiveness, design calculation, off-potential

Streszczenie

Przedstawiono zasady rozwiązań ochrony katodowej podziemnych i zakopanych zbiorników paliwowych. Podano wymagania przepisów w zakresie ochrony przeciwkorozyjnej, odgromowej i przeciwporażeniowej zbiorników. Omówiono obliczenia parametrów ochrony katodowej przy użyciu anod galwanicznych. Przedstawiono zagadnienie oceny pomiarowej skuteczności ochrony katodowej zbiorników, w tym problem wiarygodności pomiarów potencjałów wyłączeniowych. Zamieszczono zestawienie porównawcze wyników pomiarów eksploatacyjnych.

Summary

The design concept of cathodic protection of underground or mounded fuel tanks has been described. The regulations requirements concerning corrosion protection, lightning protection and protection against electric shock have been given. The rules of calculation of the cathodic protection using galvanic anodes have been presented. The problem of measurements taken for the assessment of CP effectiveness has been highlighted including the off-potential credibility. The results of maintenance measurements have been listed and compared.

Wprowadzenie

Obiektami ochrony katodowej są stalowe zbiorniki o osi poziomej umieszczone pod poziomem gruntu lub nad poziomem gruntu w kopcach ziemnych. Zbiorniki podziemne w obsypce piaskowej są typowo instalowane na stacjach paliw. Pojemności tych zbiorników wynoszą zwykle 30-60 m³. Zbiorniki zakopcowane służą do magazynowania gazu płynnego w bazach – rozlewniach. Ich pojemności wynoszą na ogół kilkaset m³. Obsypka piaskowa nie jest tutaj regułą.

Zbiorniki paliwowe są technologicznie połączone ze skrzyniami nadzbiornikowymi oraz z rurociągami ssącymi, nalewowymi i odpowietrzającymi. Skrzynie nadzbiornikowe mogą być stalowe z powłoką izolacyjną lub mogą być wykonane z tworzywa sztucznego. Skrzynie stalowe są albo galwanicznie połączone ze zbiornikami albo są od nich odizolowane. Rurociągi technologiczne mogą być polietylenowe, polietylenowe z nitką przewodzącą lub zbrojone. Zbiorniki najczęściej spoczywają bezpośrednio na łożu piaskowym pokrywanym ławą betonową.

Rurociągi technologiczne zbiorników gazu płynnego są stalowe. Zbiorniki są posadowione na ławach betonowych na stalowych podporach lub spoczywają na łożach piaskowych.

Wymagania przepisów

Sprawami ochrony zbiorników przed korozją zajmują się dwa rozporządzenia Ministra Gospodarki: z dnia 18 września 2001 r. i z dnia 20 grudnia 2002 r. (zmieniające poprzednie rozporządzenie z września 2000 r.). Pierwsze dotyczy warunków technicznych dozoru technicznego jakim powinny odpowiadać zbiorniki beztleniowe i niskociśnieniowe przeznaczone do magazynowania materiałów ciekłych zapalnych [1], drugie - warunków technicznych jakim powinny odpowiadać m.in. bazy i stacje paliw płynnych [2]. Pierwsze rozporządzenie wymaga aby podziemne stalowe zbiorniki były „wyposażone w system zabezpieczenia katodowego”, porusza też problem ochrony katodowej w warunkach występowania bakterii beztlenowych redukujących siarczyn oraz w warunkach oddziaływania prądów błędnych. Drugie rozporządzenie stwierdza, że zbiorniki na terenie baz paliw, zbiorniki gazu płynnego oraz zbiorniki na stacjach paliw zabezpiecza się przed korozją za pomocą odpowiednich pokryć ochronnych. Ponadto, zbiorniki te, jak mówi rozporządzenie, „mogą być wyposażone w systemy elektrochemicznej ochrony przed korozją”. Rozporządzenia dotyczą zbiorników nowobudowanych.

Zgodnie z [1] i [2] zbiorniki powinny być uziemione, co najłatwiej zrealizować przez połączenie z siecią uziemiającą obiektu. Wszystkie metalowe nadziemne konstrukcje na terenie bazy lub stacji paliw są połączone z siecią uziemiającą obiektu ze względu na wymagania ochrony odgromowej.

Urządzenia elektryczne zainstalowane na stałe przy zbiornikach są zasilane z sieci niskiego napięcia 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. Konstrukcja chroniona katodowo powinna być bowiem nie tylko ciągła elektrycznie ale także odizolowana elektrycznie od konstrukcji nie objętych ochroną katodową, w tym sieci uziemień [3], [4].

Rozwiązaniem powyższej sprzeczności jest zastosowanie odrębnego, lokalnego systemu uziemienia zbiorników przy równoczesnym ich odizolowaniu od rurociągów technologicznych wykonanych z rur przewodzących, galwanicznie połączonych z obudowami urządzeń elektrycznych. Złącza izolujące (monobloki) na przewodzących rurociągach technologicznych nie są potrzebne jeżeli rurociągi te nie są uziemione ze względu na wymagania ochrony odgromowej a urządzenia elektryczne są na przykład zasilane przez transformatory separacyjne lub są wykonane w II klasie ochronności, albo też ich obudowy są połączone z przewodem ochronnym poprzez urządzenia odgraniczające prądu stałego [4]. Lokalny uziom zbiorników może być wykonany z anod galwanicznych magnezowych, które równocześnie zapewniają ochronę katodową zbiorników, może także być konwencjonalnym uziomem z taśmy ocynkowanej połączonym ze zbiornikami przez ochronniki przeciwprzepięciowe.

Instalacje ochrony katodowej zbiorników

Można powiedzieć, że generalnie ochrona katodowa zbiorników winna być realizowana przy użyciu anod galwanicznych, z oczywistych powszechnie znanych powodów technicznych i ekonomicznych. Ograniczenia w stosowaniu anod galwanicznych wynikają z następujących względów:

- duża rezystywność gruntu przy równoczesnej niskiej jakości powłoki izolacyjnej,
- galwaniczne połączenie zbiorników z konstrukcjami nieizolowanymi,
- wymóg objęcia ochroną katodową nie tylko zbiorników lecz także związanych z nimi rurociągów.

W przypadku nowych zbiorników względnie 1 praktycznie nie występuje; powłoki izolacyjne są wysokiej jakości, zapotrzebowanie prądu ochrony katodowej jest na tyle niskie, 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 połączone ze zbiornikami elementy nieizolowanych konstrukcji i urządzeń. Prąd anod galwanicznych wzrasta wówczas na ogół o rząd wielkości, ale nie przekracza możliwości zainstalowanych anod galwanicznych i nie grozi to ograniczeniem wymaganego czasu ich pracy.

Wymóg objęcia ochroną katodową rurociągów technologicznych dotyczy baz zbiorników 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 stałoby się możliwe.

Praktycznie stosuje się wyłącznie anody galwaniczne magnezowe. Ich potencjały sięgają $-1.5 \div -1.7$ V względem elektrody Cu/CuSO_4 , dzięki czemu w obwodzie ochrony katodowej łatwo osiąga się napięcie 0,6 a nawet 0,8V. Wadą anod magnezowych jest ich niska sprawność wynosząca zaledwie 55%, spowodowana znaczną wewnętrzną korozją towarzyszącą anodowemu roztwarzaniu. Anody cynkowe mają sprawność 92%, ale z uwagi na potencjały nie przekraczające $-1-1\text{V}$, napięcie w obwodzie ochrony wynosi tylko około 0-2 V. Uzyskanie wymaganego prądu ochrony katodowej może być w tych warunkach utrudnione.

Obliczenia parametrów ochrony katodowej przy użyciu anod galwanicznych

Przedmiotem obliczeń są:

- wymagana wypadkowa rezystancja grupy anod R_{aw} ,
- rezystancja jednej anody galwanicznej R_a ,
- wymagana liczba anod N .

Dane wyjściowe do obliczeń:

- wymiary zbiorników L, D ,
- rezystywność gruntu (piasku) ρ ,
- dane techniczne anod i zasypki: wymiary, masa, potencjał anody.

Dane wyjściowe przyjęte na podstawie praktyki projektowej i eksploatacyjnej:

- gęstość prądu ochrony katodowej zbiorników j_{zb} ,
- składowa omowa polaryzacji katodowej zbiorników ΔU_{IR} ,
- napięcie w obwodzie ochrony katodowej U .

W obliczeniach korzysta się z następujących relacji:

$$U = I_{zb}(R_{zb} + R_{aw}), \text{ V} \quad (1)$$

$$I_{zb} = j_{zb} \cdot S_{zb}, \text{ A} \quad (2)$$

$$R_{zb} = \frac{r_{pzb}}{S_{zb}}, \Omega \quad (3)$$

$$r_{pzb} = \frac{\Delta U_{IR}}{j_{zb}}, \Omega\text{m}^2 \quad (4)$$

$$R_a = \frac{\rho}{2\pi l} \left[\ln \frac{2l}{d} + \ln \frac{1 + \sqrt{1 + 16h^2}}{4h} \right], \Omega \quad (5)$$

$$N = \frac{R_a \times k}{R_{aw} \times \eta}, \text{ szt.} \quad (6)$$

$$L = \frac{m \times N}{Z_m \times I}, \text{ lat} \quad (7)$$

gdzie:

- I_{zb} - wymagany prąd ochrony katodowej, A
- S_{zb} - zewnętrzna powierzchnia zbiorników, m²
- R_{zb} - rezystancja uziemienia zbiorników, Ω
- r_{pzb} - rezystancja przejścia zbiorników, Ωm^2
- l - długość worka z anodą, m
- d - średnica worka z anodą, m
- h - głębokość umieszczenia anody pod powierzchnią gruntu, m
- k - współczynnik bezpieczeństwa = 1,2
- H - współczynnik wzrostu rezystancji wskutek wzajemnego oddziaływania anod
- m - masa anody, kg
- Z_m - zużycie materiału anody, kg/A/rok

Pomiary i ocena wyników

Wyniki pomiarów rozruchowych wybudowanej instalacji weryfikują obliczenia projektowe ochrony katodowej zbiorników. Należy przede wszystkim sprawdzić czy potencjały zbiorników spełniają kryterium ochrony katodowej i jakiego to wymaga prądu ochrony. Potencjały mierzy się względem stałych elektrod odniesienia Cu/CuSO₄ zainstalowanych przy powierzchni zbiornika. Wskazówki co do liczby elektrod na zbiornik można znaleźć w [4]. Potencjałem porównywanym z wartością kryterium ochrony jest potencjał 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 niez izolowanymi elementami konstrukcyjnymi, ocena skuteczności ochrony katodowej na podstawie wartości potencjału wyłączeniowego jest w pełni miarodajna. Jeżeli zbiornik jest połączony z niez izolowanymi konstrukcjami a 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 zakłócą mierzone wartości potencjałów wyłączeniowych. Miarodajnym pomiarem potencjału byłby w tych warunkach pomiar potencjału powierzchni (płytki) symulującej długotrwale 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 izola-

cję, 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.

W tabeli 1 zestawiono wyniki obliczeń i pomiarów ochrony katodowej zakopczanych zbiorników zainstalowanych na dwóch bazach paliw gazu płynnego. W obydwóch przypadkach anody galwaniczne pełnią rolę uziomów instalacji ochrony odgromowej zbiorników. Sieć uziemiająca zbiorników nie jest połączona z siecią uziemiającą bazy. Na rurociągach technologicznych są zainstalowane złącza i monobloki izolujące. Napędy elektryczne pomp i kompresorów są odizolowane od uziemiennych konstrukcji za pomocą przekładek izolacyjnych. Rezystancje uziemienia zbiorników wynoszą: Baza D 0-8 Ω , Baza K 1-7 Ω .

Tabela 1. Wyniki obliczeń projektowych i pomiarów eksploatacyjnych ochrony katodowej zbiorników gazu płynnego

Parametr	Baza D 3 zbiorniki, S = 411 m ² powłoka z farb epoksydowych gr. 1000 μ m	Baza K 3 zbiorniki, S = 380 m ² powłoka z farb epoksydowych gr. 600 μ m
$j_{początk.obl.}$ mA/m ²	0,1	0,2
$j_{końc.obl.}$ mA/m ²	0,5	0,5
$I_{początk.obl.}$ mA	41	76
$I_{końc.obl.}$ mA	206	190
Parametry rozruchowe		
E _{śr} mV	-719	-607
E _{Mg śr.} mV	-1574	-1555
E _{on śr.} mV	-1097	-1241
E _{off śr.} mV	- 805	- 893
R _{aw} Ω	0,86	1,20
I mA	124	25
j mA/m ²	0,33	0,065
Parametry po 5 latach		
E _{Mg śr.} mV	-1617	-1571
E _{on śr.} mV	-1134	-551
E _{off śr.} mV	-899	-
I mA	80	258
j mA/m ²	0.19	0.68

Jak widać z tabeli 1, rezultaty pomiarów rozruchowych ochrony katodowej zbiorników na terenie Bazy D, są niesatysfakcjonujące. Wartość prądu w obwodzie ochrony świadczy o doziemieniu zbiorników, a potencjały wyłączeniowe sięgające -900 mV, nie koniecznie są potencjałami ochrony, ponieważ elektrody odniesienia „widzą” nie tylko defekty powłoki zbiorników, lecz także ocynkowaną taśmę uziemiającą.

W ciągu 5 lat eksploatacji ochrony katodowej zbiorników prąd w obwodzie ochrony ulegał zmianom, zdarzało się, że jego wartość okresowo sięgała 300 mA. Kilkakrotnie podejmowano akcje lokalizacji i usuwania doziemień. Nigdy nie udało się jednak w pełni odizolować zbiorników od sieci uziemiającej. Podczas kontroli po 5 latach eksploatacji zbiorników stwierdzono, że ich powłoka izolacyjna nie jest w złym stanie, nie może więc ona być przyczyną poboru prądu o wartości przekraczającej co najmniej dwukrotnie spodziewana wartość obliczeniową.

Zbiorniki na terenie Bazy K zostały początkowo skutecznie odizolowane od sieci uziemiającej. Po pewnym czasie jednak, w ramach rozbudowy bazy zainstalowano dodatkowe naziemne zbiorniki, które połączono rurociągami ze zbiornikami istniejącymi. Nie zainstalowano złączy izolujących, w wyniku czego prąd anod galwanicznych wzrósł 10-krotnie.

W tabeli 2 zestawiono wyniki obliczeń i pomiarów ochrony katodowej zbiorników paliwowych na 9 stacjach. Zwiększone w stosunku do obliczonych prądy ochrony katodowej zbiorników stacji 3 i 4 świadczą o połączeniach zbiorników z raczej niewielkimi nieizolowanymi powierzchniami. Mogą też świadczyć o defektach w powłoce izolacyjnej. Zmierzone potencjały wyłączeniowe nie wydają się jednak niewiarygodne, podobnie jak potencjały zbiorników na obiekcie 5. W przypadku stacji 1, elektrody odniesienia najwyraźniej „widzą” odcinki taśmy Fe/Zn. W wartości potencjału wyłączeniowego $E_{\text{off}} = -1175 \text{ mV}$, z pewnością mieści się spadek napięcia wywołany prądem ogniwa: taśma Fe/Zn – zbiornik, polaryzującym powierzchnię zbiornika. Całkowicie wiarygodne są wyniki pomiarów potencjałów zbiorników na obiektach 6, 7, 8, 9.

Wnioski

1. Realizacja ochrony katodowej zbiorników podziemnych lub zakopcowanych przy użyciu anod galwanicznych jest właściwym rozwiązaniem jeżeli zbiorniki są skutecznie odizolowane od sieci uziemiającej i połączonych z nią urządzeń i konstrukcji.
2. Jeżeli obiektem ochrony katodowej są również podziemne rurociągi technologiczne, to ochrona prądem z zewnętrznego źródła jest rozwiązaniem preferowanym.
3. Skuteczność ochrony katodowej zbiorników w pełni odizolowanych od uziemionych konstrukcji może być wiarygodnie oceniana na podstawie wartości potencjałów wyłączeniowych.
4. Jeżeli zbiorników nie można dobrze odizolować od konstrukcji uziemionych, to dla oceny skuteczności ich ochrony katodowej trzeba się posłużyć sondami pomiarowymi.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 18 września 2001 r. w sprawie warunków technicznych dozoru technicznego jakim powinny odpowiadać zbiorniki bezciśnieniowe i niskociśnieniowe przeznaczone do magazynowania materiałów ciekłych zapalnych (Dz.U. nr 113, poz.1211).

- [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 20 grudnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać bazy i stacje paliw płynnych, rurociągi daleko-
siężne do transportu ropy naftowej i produktów naftowych i ich usytuowanie (Dz.U.
z 2003 r. nr 1, poz.8).
- [3] PN-EN 12954 *Ochrona katodowa zakopanych lub zanurzonych konstrukcji metalowych –
Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów.*
- [4] prEN 13636 *Cathodic protection of buried metallic tanks and related piping.*