



ODWIERT GAZOWY SŁUŻĄCY
DO PODZIEMNEGO MAGAZYNOWANIA GAZU ZIEMNEGO
– OCHRONA KATODOWA ODWIERTU

BOREHOLE FOR UNDERGROUND NATURAL GAS STORAGE
– CATHODIC PROTECTION

Jacek Kochanek

Biuro Projektów „Nafta -Gaz” sp. z o.o.

Artur Czekaj

Biuro Projektów „Nafta -Gaz” sp. z o.o.

Słowa kluczowe: ochrona katodowa, odwiert gazowy, korozja, pomiary
Keywords: cathodic protection, gas drilling, corrosion, measurements

Streszczenie

W referacie przedstawiono przykładowy projekt budowy systemu ochrony katodowej orurowania odwiertu służącego do magazynowania gazu ziemnego. Omówiono optymalne miejsce podłączenia instalacji ochrony katodowej do chronionego obiektu. Przedstawiono również metody pomiarów potwierdzających skuteczność zastosowanej ochrony antykorozyjnej.

Summary

The document presents construction project example of cathodic protection for the system piping in the borehole used for natural gas storage. It describes the optimal place to connect the installation of cathodic protection to the protected object. It also presents methods of measurement confirming the effectiveness of the corrosion protection.

1. Przedmiot opracowania

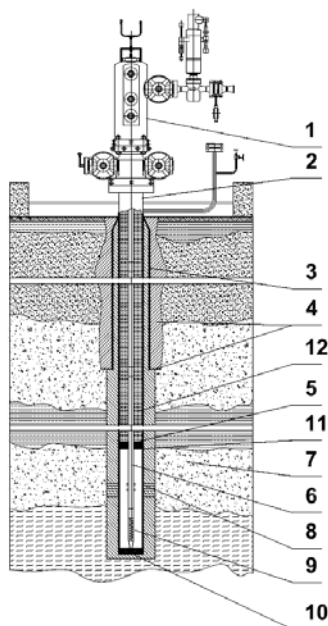
Jest to propozycja czynnej ochrony przeciwkorozyjnej odwiertu gazowego przeznaczonego do eksploatacji w podziemnym magazynie gazu ziemnego. Orurowanie odwiertu gazowego jest cementowane w celu ustabilizowania rur w otworze wiertniczym i w celu odizolowania od poszczególnych warstw geologicznych. Warstwy betonu z czasem ulegają karbonizacji. Nie pokryte cementem warstwy orurowania mogą mieć styczność z agresywnymi warstwami gruntu. W tej sytuacji mogą tworzyć się obszary anodowe na powierzchni orurowania. Doświadczenia opisane w literaturze pokazują, iż zastosowanie ochrony katodowej zewnętrznej powierzchni orurowania znacząco opóźnia procesy korozyjne.

2. Ochrona katodowa odwiertu gazowego - dane ogólne

Ochrona katodowa odwiertu gazowego została zaprojektowana i wykonana zgodnie z zasadami zawartymi w normach [1], [2], [3], [4], przy wykorzystaniu wieloletniego doświadczenia oraz najnowszej wiedzy technicznej. Ważnym elementem przy projektowaniu jest czas skutecznego działania ochrony katodowej. Okres eksploatacji magazynu gazu określa się na 50–100 lat. W związku z tak długim czasem eksploatacji Podziemnego Magazynu Gazu ochroną katodową powinno objąć się orurowania odwiertów gazowych. Rozważany temat nie dotyczy odwiertów eksploatacyjnych (kopalnia gazu ziemnego), których czas eksploatacji praktyczne wynosi około 20 lat. Należy jednak zaznaczyć, iż niektóre odwierty eksploatacyjne po wyczerpaniu złoża stają się odwiertami magazynowymi. Jednak ich przyszłe przeznaczenie na odwierty magazynowe w pierwszym etapie eksploatacji nie jest znane. O ewentualnym przyszłym wykorzystaniu odwiertu do celów magazynowych zdecydują badania geologiczne po zakończeniu eksploatacji złoża naturalnego. W niniejszym artykule przyjęto do rozważań jeden odwiert magazynowy.

3. Charakterystyka obiektów przeznaczonych do ochrony elektrochemicznej

Na terenie Ośrodka Podziemnego Magazynu Gazu, odbiorcą prądu ochrony katodowej w pierwszej kolejności będzie infrastruktura podziemna – rurociągi zbiorniki, które nie są podłączone do skutecznie uziemionej instalacji ochrony odgromowej – rezystancja uziemienia o wartości ok. 10 Ω . Orurowanie odwiertu jest odizolowane od części technologicznej nadziemnej za pośrednictwem monobloków izolacyjnych wyposażonych w iskierniki przepięciowe. Infrastruktura technologiczna jest chroniona oddzielną instalacją ochrony katodowej. Orurowanie odwiertu po zabetonowaniu ulega pasywacji, tj. pH powyżej 12 powoduje pokrycie się ochronną warstwą tlenków żelaza. Potencjały elektrochemiczne spasywowanej stali mieszczą się zwykle w zakresie $-400 \text{ mV} \div -200 \text{ mV}$ względem elektrody Cu/CuSO₄. Orurowanie w takim układzie nie koroduje, jednak warstwy pasywacyjne są narażone na zniszczenie w wyniku karbonatyzacji betonu pod wpływem dwutlenku węgla oraz działania jonów chlorku. Budowę odwiertu do eksploatacji złoża gazowego przedstawiono na rys. 1, a na rys 2 pokazano uzbrojenie części napowierzchniowej odwiertu gazowego.



OZNACZENIA:

1. Głowica eksploacyjna
2. Wieżba rurowa
3. Kolumna rur przewodnikowych
4. Płaszcz cementowy
5. Kolumna rur eksploacyjnych
6. Rury syfonowe
7. Złoże gazowe
8. Perforacja rur
9. Sito rur syfonowych
10. Korek cementowy w rurach
11. Uszczelniacz tzw. paker
12. Ciecz nad pakerem

Rys. 1. Budowa odwiertu do eksploatacji złoże gazowego



Rys. 2. Odwiert gazowy, część napowierzchniowa, bez orurowania zewnętrznego

4. Kryteria ochrony katodowej konstrukcji złożonej

Skuteczność ochrony katodowej podziemnych konstrukcji metalowych można ocenić na podstawie stopnia zahamowania szybkości procesów korozyjnych przebiegających na powierzchni metalu. W obowiązującej normie [1] przyjęte zostało, że potencjał metalu, przy którym postęp korozji jest mniejszy niż 0,01 mm/rok, jest potencjałem ochrony E_p . Dla zmierzenia potencjału konstrukcji stalowej odwiertu na większych głębokościach należałoby elektrodę pomiarową opuścić przez wnętrze orurowania. Dla otworu będącego w trakcie eksploatacji pomiar potencjału jest to niemożliwe. Dlatego bezpośrednie ustalenie aktualnej szybkości tych procesów na zakopanych konstrukcjach metalowych jest bardzo trudne do oszacowania. Do oceny skuteczności ochrony katodowej konstrukcji złożonych, wykorzystuje się kryteria zawarte w normie [3]. Dla rurociągów i technologii dla układów złożonych wykorzystuje się metodę prądową, natomiast dla oceny skuteczności ochrony katodowej orurowań odwiertów stosuje się metodę pomiaru depolaryzacji. W jednym i drugim przypadku należy pamiętać, aby przed pierwszym uruchomieniem stacji ochrony katodowej dokonać pomiarów potencjału korozyjnego E_n . Prąd polaryzujący katodę zmniejsza wartość potencjału korozyjnego na powierzchni metalu i spowalnia w ten sposób szybkość korozji stali.

5. Wybór sposobu ochrony katodowej

Na terenie odwiertu gazowego magazynowego, do ochrony katodowej zastosowana zostanie stacja ochrony katodowej z zewnętrznym źródłem prądu, pracująca w układzie jedna stacja ochrony katodowej dla jednego otworu magazynowego. Stacja będzie współpracować z głębokim uziomem anodowym. Jeden uziom anodowy głęboki, będzie przeznaczony dla jednej stacji ochrony katodowej. Obciążenie prądowe anod będzie znaczne, zatem powinny być wykonane z materiałów o dużej wytrzymałości – odpowiadają temu materiały (elektroda żeliwno-krzemowa), które mają przy wysokim obciążeniu prądem ochrony katodowej wystarczająco długi czas użytkowania. Uziom anodowy głęboki zostanie zbudowany z łańcucha połączonych ze sobą elektrod. Układ ten zostanie osadzony w niskooporowym gruncie na głębokości 30 m. Głębokość odwiertów dla anod głębokich będzie uwzględniać najkorzystniejsze warunki gruntowe – warstwy mułowe przewodowe lub mułowo-piaszczysto-gliniaste. Uziom anodowy umiejscowiony zostanie w otworze wiertniczym, w dobrze przewodzącym wypełnieniu pochodzenia węglowego. Wykonanie badań, jak i otworu wiertniczego pod głęboki uziom anodowy jest zaliczane do prac geologicznych, podlegający przepisom ustawy o prawie geologicznym. Wszelkie prace związane z badaniem, projektowaniem oraz wierceniem otworu zostanie wykonane przez firmę z odpowiednimi uprawnieniami i kwalifikacjami. Monoblok zainstalowany na rurociągu wyprowadzonym z odwiertu będzie chroniony iskiernikiem do 100 V, 100 kA, fala 10/350 μ s. Zastosowano monoblok z wbudowanym iskiernikiem. Monoblok zostanie zamontowany poza strefą zagrożenia wybuchem.

6. Zapotrzebowanie prądu ochrony katodowej

Biorąc pod uwagę ochronę katodową całości infrastruktury podziemnej, odwiertu, przewiduje się zwiększony pobór prądu polaryzacji skutecznie zabezpieczający całość orurowania odwiertu przed korozją. Norma [3] mówi o gęstości prądu stali w betonie na poziomie od 0,2 do 20 mA/m², natomiast w przypadku braku cementowania gęstość prądu wynosi od 2 do 50 mA/m². Dla orurowań odwiertów zacementowanych przyjęto zapotrzebowanie gęstości prądu 8 mA/m² dla rury bez cementowania przyjęto 20 mA/m².

Dane wstępne zapotrzebowania na prąd ochrony katodowej dla orurowania odwiertu:

Średnice orurowania odwiertu	– 244/168 mm,
Długości orurowania odwiertu	– 150/660 m,
Powierzchnia zewnętrzna orurowania	– 463 m ² ,
Przewidywane zapotrzebowanie na prąd ochronny katodowej	– $I = 4,6$ A,
Rezystancja uziomu anodowego	– $R_a = 2$ Ω,
Rezystancja orurowania odwiertu wg wielokrotnych pomiarów (pomiar względem powierzchni ziemi)	– $R_g = 0,1-0,3$ Ω,
Napięcie stacji ochrony katodowej	– $U = I \times (R_a + R_g) = 10,1$ V.

7. Stacja ochrony katodowej

W celu ochrony katodowej części podziemnej infrastruktury zastosowane będą jako źródło prądu, impulsowe urządzenie polaryzujące z automatyczną regulacją potencjału ochronnego oraz maksymalnego i minimalnego prądu ochrony katodowej. Stacja ochrony katodowej będzie posiadać parametry wyjściowe: $U = 50$ V, $I = 25$ A.

8. Wskazówki i zalecenia dotyczące montażu instalacji ochrony katodowej

Montaż instalacji ochrony katodowej powinien być przeprowadzony z uwzględnieniem wskazówek podanych w rozdziale 8 normy [1].

9. Parametry techniczne elementów instalacji

Parametry techniczne materiałów i urządzeń powinny odpowiadać wymaganiom przywołanych aktualnych norm państwowych i europejskich (w przypadku braku norm państwowych) oraz niniejszych warunków technicznych. Materiały, wyroby i urządzenia, dla których wymaga się świadectw jakości (kable, urządzenia prefabrykowane), należy dostarczać wraz ze świadectwami jakości, kartami gwarancyjnymi lub protokołami odbioru technicznego.

10. Badanie skuteczności ochrony katodowej

Aby rozpocząć badanie ochrony katodowej orurowania, niezbędne jest użycie metod i pomiarowych procedur specyficznych dla tego rodzaju konstrukcji. Metody te, podane poniżej, pozwalają na określenie prądu wymaganego do ochrony katodowej.

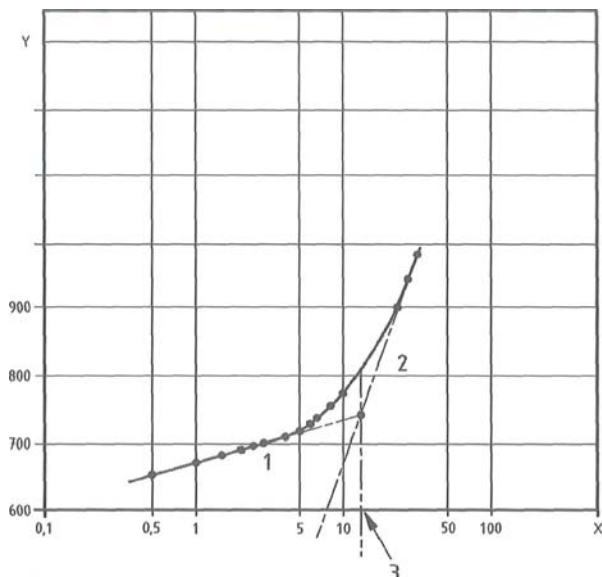
11. Metoda profilu spadku napięcia

Metoda ta, dla zastosowań w ocenie ryzyka korozji, może być użyta do określenia prądu ochronnego zapewniającego efektywną ochronę katodową. Celem metody jest upewnienie się, że wszystkie segmenty profilu spadku napięcia mają dodatnie nachylenie, co oznacza, że cała konstrukcja nie ma obszarów anodowych. Metoda ta jest trudna do realizacji dla odwiertu gazowego – przykładowe ciśnienie złoża to 30 MPa.

12. Metoda krzywych polaryzacji

Prąd ochrony katodowej jest doprowadzany instalacji ochrony katodowej. Po upływie określonego czasu, kiedy potencjał konstrukcji w elektrolicie, staje się stabilny, rejestrowana jest wartość potencjału orurowania E_{off} na powierzchni gruntu. Po tym pierwszym pomiarze

prąd jest zwiększany o wcześniej ustaloną wartość i utrzymywany na nowej wartości przez taki sam okres. Procedura ta jest powtarzana aż wystarczająca ilość razy wykonana regulacja stosowanego prądu umożliwi uzyskanie linii II na krzywej pokazanej na rys. 3. Po narysowaniu krzywej tangens pomiędzy dwoma liniowymi częściami I i II (zob. rys. 3) jest używany do określenia minimalnego prądu, który zapewnia, że orurowanie odwiertu jest uważane za chronione katodowo.



Legenda:

oś X – prąd (skala logarytmiczna) [A],

oś Y – potencjał wyłączeniowy względem elektrody odniesienia Cu/CuSO₄ [mV],

1 – liniowa część I,

2 – liniowa część II,

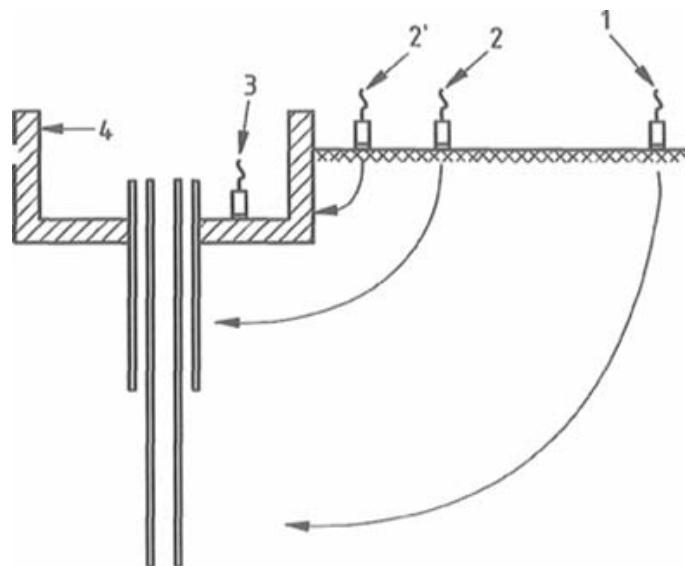
3 – prąd próbnej ochrony.

Rys. 3. Krzywa polaryzacji rurociągu – określenie prądu ochrony katodowej

13. Pomiar potencjału orurowania na głowicy odwiertu

Zwykle określenie poziomu ochrony przeprowadza się za pomocą pomiaru potencjału orurowania odwiertu na głowicy zgodnie z wymaganiami normy [1]. Jednak, jak wspomniano w rozdziale 6 normy [1], metoda profili spadku napięcia i metoda krzywych polaryzacji dają bardziej precyzyjną ocenę skuteczności ochrony katodowej. Ze względu na fakt, że orurowanie jest konstrukcją z bardzo niską wartością rezystancji względem ziemi (cementacja jest warstwą przewodzącą) i że na pomiary potencjału wpływają oddziaływania z obecnych zakopanych instalacji na powierzchni gruntu (np. szybik wiertniczy, fundamenty betonowe, różne rurociągi), potencjał należy mierzyć z zastosowaniem elektrody pomiarowej zlokalizowanej w ziemi, oddalonej od orurowania od około 50 m do 100 m (przypadek „1” na rys. 4) i z dala od jakichkolwiek innych zakopanych instalacji oraz na zewnątrz oddziaływania układu anodowego. Potencjał określony w takim punkcie pomiarowym odpowiada średniej wartości dla całego orurowania odwiertu lub jego górnej części, zależnie od całkowitej długości i warstwy

geologicznej. Jeśli elektroda umieszczona jest wewnątrz szybiku wiertniczego (przypadek „3” na rys. 4), pomiar potencjału odpowiada mieszanemu potencjałowi prętów zbrojeniowych i części orurowania wewnątrz szybiku, gdy są w kontakcie elektrycznym. Jeśli nie ma kontaktu elektrycznego pomiędzy prętami zbrojeniowymi a orurowaniem, pomiar potencjału orurowania również nie jest reprezentatywny. Jeśli elektroda jest zlokalizowana na zewnątrz w pobliżu szybiku wiertniczego (przypadek „2” i „2'” na rys. 4), pomiar potencjału nie jest reprezentatywny dla potencjału orurowania z powodu kontaktu elektrycznego pomiędzy prętami zbrojeniowymi z orurowaniem, albo zbyt bliskiego sąsiedztwa powierzchni orurowania.



Legenda:

1, 2, 2, 3 – elektroda pomiarowa połączona do orurowania produkcyjnego,

4 – szybik wiertniczy.

Rys. 4. Pomiar potencjału orurowania na głowicy odwiertu

14. Kontrola monobloków izolujących

Kontrola izolującego działania monobloku polega na porównaniu wartości potencjałów gazociągu po obydwóch stronach monobloku przy załączaniu i wyłączaniu prądu ochrony katodowej. Przy rezystancji przejścia gazociągu $10^6 \Omega m^2$, potencjał gazociągu „po drugiej stronie” monobloku nie powinien się zmieniać przy załączaniu i wyłączaniu prądu ochrony katodowej. Jeżeli obserwuje się zmiany potencjału to znaczy, że monoblok ma upływność. Uruchomienie ochrony katodowej gazociągu należy powierzyć specjalistom posiadającym doświadczenie poparte odpowiednimi referencjami.

15. Ocena skuteczności ochrony katodowej

Badanie skuteczności ochrony katodowej należy przeprowadzić po około 3 tygodniach polaryzacji katodowej konstrukcji stalowej. Należy zarejestrować w odpowiednio długim

okresie czasu potencjały załączeniowe E_{on} i wyłączeniowe E_{off} gazociągu w stacji pomiarowej. Ochronę katodową uznaje się za skuteczną, jeżeli potencjały odłączeniowe zainstalowanych potencjały wyłączeniowe gazociągu w punktach pomiarowych spełniają potencjałowe kryterium ochrony według normy [1].

16. Dodatkowe aspekty ochrony antykorozyjnej odwiertu gazowego

Wyposażenie wgłębne i napowierzchniowe odwiertów eksploatujących złoża gazu ziemnego z zawartością siarkowodoru i dwutlenku węgla, przy wysokich ciśnieniach głowicowych, narażone jest na wystąpienie zagrożenia siarczkową korozją naprężeniową, korozją wżerową wywołaną CO_2 , korozją równomierną oraz pękaniem wodorowym, dotyczy to wewnętrznej struktury orurowania odwiertu. Ze względu na obecność CO_2 w gazie, należy również rozpatrzyć możliwość wystąpienia korozji wżerowej wywołanej CO_2 . Uszkodzenia korozyjne wywołane CO_2 , wynika to z doświadczeń eksploatacyjnych, umiejscowione są w odwiertach gazowych w części górnej uzbrojenia. Proponuje się zastosowanie inhibitorów korozji. Szybkość korozji w środowisku gazowym bez zastosowania ochrony inhibitorowej wynosi 0,2892 mm/rok. Najlepszym inhibitorem do stosowania w odwiertach gazowych kopalń, w świetle przeprowadzonych badań, jest B-97, a następnie B-1063, którego dawka była jednak 8-krotnie większa. Na uwagę zasługuje fakt, iż inhibitor B-62 wykazuje niewiele mniejszą ochronę. Najlepsze inhibitory zmniejszają szybkość korozji ponad 50-krotnie, w porównaniu z próbą bez inhibitora.

Literatura

- [1] PN-EN 12954 Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruntach lub w wodach. Zasady ogólne zasady i zastosowania dotyczące rurociągów.
- [2] PN-EN 15112 Ochrona katodowa zewnętrznych powierzchni orurowań odwiertów.
- [3] PN-EN 14505 Ochrona katodowa konstrukcji złożonych.
- [4] PN-EN 13636 Ochrona katodowa metalowych zbiorników podziemnych i związanych z nimi rurociągów.
- [5] PN-EN-13509 Metody pomiarowe w ochronie katodowej.
- [6] Baeckman W., Schwenk W., *Katodowa ochrona metali*, WNT, Warszawa 1976.
- [7] Juchniewicz R., *Katodowa, protektorowa i anodowa ochrona metali w technice*, PWN, Warszawa 1960.
- [8] Żakowski K., Darowicki K., *Ochrona katodowa*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2011.
- [9] Żakowski K., Darowicki K., *Ochrona katodowa metalowych konstrukcji i podziemnych i zanurzonych. Materiały szkoleniowe*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2011.
- [10] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 26 kwietnia 2013r w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać sieci gazowe.
- [11] PN-IEC 60364-4 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa.
- [12] PN-HD 60364-5-523 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego . Obciążalność prądowa długotrwała przewodów.
- [13] Warunki w zakresie projektowania systemów ochrony przeciwkorozyjnej gazociągów przesyłowych w/c OGP GAZ SYSTEM S.A. PE-DY W-03, Warszawa 2013.