



**POMIARY POTENCJAŁÓW W TECHNICIE OCHRONY KATODOWEJ  
NAZIEMNYCH STALOWYCH ZBIORNIKÓW MAGAZYNOWYCH**

**POTENTIAL MEASUREMENTS IN THE CATHODIC PROTECTION  
TECHNIQUE GROUND STEEL STORAGE TANKS**

Witold Bogotko

P.U.A. KORPROTECT

słowa kluczowe: ochrona katodowa, naziemne stalowe zbiorniki magazynowe  
keywords: cathodic protection, ground steel storage tanks

**Streszczenie**

Omówiono zagadnienia ochrony elektrochemicznej dennych części stalowych zbiorników ropy i produktów finalnych oraz zbiorników gazu umieszczonych w kopcach ziemnych. Podano wymagania dotyczące zabezpieczeń przeciwkorozyjnych zbiorników. Podkreślono zagadnienia związane ze skutecznością ochrony katodowej, przytoczono typowe sposoby rozwiązania instalacji katodowej zewnętrznych i wewnętrznych powierzchni dna oraz metodykę pomiaru potencjału.

**Summary**

Problems have been discussed of electrochemical protection of the bottom parts of steel tanks for oil and final products and gas tanks placed in earth mounds. Requirements have been given concerning anticorrosion protection of tanks. Problems have been emphasised connected with the effectiveness of cathodic protection, typical solutions have been shown of cathodic installations of external and internal surfaces of the bottom and the method of measurement of potential.

## 1. Wstęp

Stosowanie właściwych metod przeciwkorozyjnego zabezpieczenia stalowych zbiorników naziemnych jest podstawowym warunkiem bezpiecznej i długotrwałej ich eksploatacji.

Powierzchnie zewnętrzne zbiorników narażone są na procesy korozji atmosferycznej niejednokrotnie stymulowanej wpływem agresywnej atmosfery przemysłowej albo morskiej.

W podobnym stopniu zagrożone są ściany stalowych zbiorników umieszczanych w podziemnych komorach, gdzie utrzymująca się stale wilgotna atmosfera sprzyja szybkiemu rozwojowi procesów korozyjnych.

Procesom korozji elektrochemicznej ulegają jednak w przeważającej mierze części denne zbiorników zarówno od strony zewnętrznej jak i od strony wewnętrznej. Procesy korozyjne wewnętrznych powierzchni zbiorników zależne są od agresywności przechowywanego medium jak i zanieczyszczeń tego medium. W magazynowych zbiornikach ropy czynnikiem korozyjnym jest woda zbierająca się pod warstwą ropy. Rozwija się tu korozja elektrochemiczna i korozja mikrobiologiczna.

Procesy korozyjne zewnętrznych powierzchni części dennej mogą być spotęgowane natomiast agresywnością gleby, wody powierzchniowej, wód gruntowych jak i obecnością prądów błądzących.

Zjawisko wystąpienia zniszczeń części dennych jest tym bardziej niebezpieczne, że zniszczenia te mają charakter wżerowy i postępują jednocześnie z obu stron blach dna. Prowadzić to może do perforacji dna i wycieku magazynowanego surowca lub produktu finalnego ze wszystkimi konsekwencjami również natury ekologicznej.

Powszechnie stosowanym zabezpieczeniem przeciwkorozyjnym jest tu ochrona elektrochemiczna zwykle ze sterowaniem automatycznym. Skuteczność tej ochrony w dużej mierze zależy od sposobu prawidłowego rozwiązania układu pomiaru potencjału.

## 2. Wymagania dotyczące zabezpieczeń przeciwkorozyjnych zbiorników

Konieczność podniesienia jakości zabezpieczenia zbiorników ropy, produktów ropopochodnych i agresywnych środków chemicznych przed awariami wywołanymi procesami korozyjnymi od szeregu lat jest postrzegana przez agendy rządowe krajów zachodnich.

Z tego powodu utworzono standardy American Petroleum Institute (APISd) dotyczące inspekcji, naprawy, przebudowy i rekonstrukcji zbiorników (API 653) [1], oraz ochrony katodowej zbiorników naziemnych (API 65) [2]

Paragraf 4.42.1 API 653 dotyczący inspekcji wewnętrznych powierzchni zbiorników uzależnia częstotliwość takich przeglądów od wcześniej stwierdzonych postępów korozji w dotychczasowej ich eksploatacji lub w oparciu o doświadczenia z eksploatacji innych zbiorników w podobnych warunkach. Zgodnie z wymaganiem tego paragrafu korozja części dennej powinna być kalkulowana a interwały inspekcji regulowane koniecznością pomiaru przewidywanych ubytków korozyjnych. Paragraf 2.4.7 tego standardu dotyczy kalkulacji minimalnej pozostałej grubości dna zbiornika. W kalkulacji przyjmuje się współczynnik dla korozji wżerowej części zewnętrznej dna. Współczynnik ten wynosi zero w przypadku zastosowania ochrony katodowej części dennej.

Wydany został również specjalny standard NACE RP-05-75 [3] dotyczący projektowania, instalacji oraz prowadzenia ochrony katodowej wewnętrznych powierzchni zbiorników eksploatowanych w procesie przetwarzania ropy. Oraz standard NACE RP 0169-83 [4]

Koszty inspekcji powierzchni wewnętrznych zbiorników są bardzo wysokie ze względu na konieczność osuszenia i oczyszczenia zbiornika. Szacuje się, że łączne koszty jednorazowej

inspekcji i naprawy dna zbiornika o średnicy 120 stóp [36,5m] wynoszą od 20 do 35 tys.\$ co jest porównywalne z kosztami zastosowania ochrony katodowej. Stosowanie ochrony katodowej wydłuża okres pomiędzy inspekcjami, przyczyniając się do obniżenia ogólnych kosztów eksploatacyjnych zbiornika [5]. Koszty wymiany blach części dennej wynoszą około 10\$/stopę (111 \$/m<sup>2</sup>) podczas gdy koszty instalacji i dwudziestoletniej eksploatacji instalacji ochrony katodowej wynoszą około 0.6\$/stopę<sup>2</sup> (6.66 \$/m<sup>2</sup>) [6].

W Polsce wymóg prawidłowego zabezpieczenia części dennej zbiornika wynika również z rozporządzenia Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 13.05.1995 klasyfikujący zbiorniki magazynowe ropy i produktów ropopochodnych jako inwestycje szczególnie szkodliwe dla środowiska i zdrowia ludzi.

### 3. Ochrona katodowa zewnętrznych powierzchni dna

Ochrona katodowa została uznana jako jedyna skuteczna metoda zabezpieczenia przed uszkodzeniami korozyjnymi zewnętrznych powierzchni dna stalowych zbiorników naziemnych. Znalazło to odbicie m.in. w cytowanych wyżej standardach API i NACE.

Ochronę katodową (elektrochemiczną) rozwiązać tu można jako ochronę anodami galwanicznymi [rys nr.1] względnie ochronę zewnętrznym źródłem prądu [rys nr.2].

Aby uzyskać stan spolaryzowania katodowego wymagane jest uzyskanie odpowiedniej gęstości prądu na powierzchni chronione przyczem gęstość ta zależy od szeregu czynników takich jak:

- stanu powłok organicznych na konstrukcji chronionej
- dostępu depolaryzatora (tlenu) do korodującej powierzchni
- agresywności gruntu / wody
- prądów błądzących
- temperatury

Ze względu duże powierzchnie podlegające ochronie oraz wymagane duże (i najczęściej zmienne w czasie) natężenia prądu, szerokie zastosowanie przy zabezpieczaniu zbiorników znalazła ochrona z zewnętrznego źródła prądu z automatycznym sterowaniem.

Pomimo że metoda ta znana jest i stosowana od szeregu lat to nadal prowadzone są prace nad jej udoskonaleniem w zastosowaniu do ochrony części dennych zbiorników. Prowadzone są liczne prace nad zapewnieniem najbardziej skutecznego i równomiernego doprowadzenia prądu do powierzchni chronionej [8],[9].

Analizowane są sposoby racjonalnego umieszczenia anod zarówno w przypadku zbiorników nowych jak i będących w eksploatacji. Prowadzone są prace nad rozwiązaniami ochrony katodowej odbudowanego dna w przypadku pozostawienia nieusuniętej starej zniszczonej konstrukcji [5][10].

Ochrona katodowa zewnętrznych powierzchni dna zbiorników coraz częściej stosowana jest i w Polsce.

Na przełomie lat 1994/95 wg opracowania Politechniki Gdańskiej ZUA KOREKO zmodernizowało instalację ochrony katodowej magazynu paliw Mar. Wojennej. Zaprojektowano i zainstalowano ochronę katodową zewnętrznym źródłem prądu zakopcowanych zbiorników rozlewni gazu płynnego dla Shell Butagas w Łodzi, zbiorników gazu LPG w Jezierzycach pod Słupskiem dla firmy Bałtykgas.

W ostatnich latach zaprojektowane i rozbudowano zostały instalację ochrony katodowej rozlewni LPG w Pleszewie. Zaprojektowano i wykonano Ochronę katodową zbiorników terminalu przeładunkowego gazu płynnego w Małaszewiczach, oraz największego w Polsce terminalu rozładunkowego LPG, na terenie Portu Północnego w Gdańsku.

Jak wyżej wspomniano podstawowym warunkiem prawidłowej ochrony (prawidłowego spolaryzowania) jest równomierne doprowadzenie prądu ochrony do wszystkich miejsc zabezpieczanej konstrukcji.

Głównym czynnikiem decydującym o sposobie rozprowadzenia prądu ochrony jest prawidłowe zaprojektowanie i wykonanie uziomu anodowego. Równie jednak ważnym jest prawidłowe rozwiązanie usytuowania elektrod pomiarowych i sterujących stacjami katodowymi.

Stosowane są różne metody rozwiązywania uziomów. Klasycznym rozwiązaniem stosowanym zwykle przy ochronie pojedynczych zbiorników naziemnych jest rozmieszczenie anod w kręgu w płytkich pionowych otworach, rys. 3. Nie zawsze przy tym rozmieszczeniu uzyskuje się jednak prawidłowe spolaryzowanie środkowej części dna. Znacznie lepsze rozprowadzenie prądu ochrony uzyskuje się przy stosowaniu uziomów głębokich rys.4, lub przy stosowaniu uziomów umieszczonych w skośnych otworach wnikających pod dno zbiornika, rys.5. Rozwiązania takie znajdują zastosowanie w instalacjach ochrony katodowej projektowanych dla zbiorników już istniejących.

W przypadku budowy zbiorników nowych zalecane jest instalowanie anod pod ich dnem, wiąże się to z koniecznością wykonania uziomu anodowego już czasie przygotowania fundamentów zbiornika.

Pewne komplikacje stwarzają stosowane niekiedy szczelne folie umieszczane pod podsypką piaskową pod dnem zbiornika względnie ławy betonowe jak w przypadku usytuowania zakopcowanych zbiorników w terminalu rozładunkowym w Porcie Północnym w Gdańsku. Szczelna folia lub ława betonowa stanowią barierę dla prądu katodowego, płynącego np. z uziomu głębokiego a jednocześnie utrudniając odprowadzenia wód opadowych podwyższają zagrożenie korozyjne dna zbiornika. W takim przypadku koniecznym jest umieszczenie anod w przestrzeni pomiędzy folią (ławą betonową) a dnem rys.6.

Dla zapewnienia sprawnej ochrony dna zbiornika koniecznym jest uzyskanie potencjału stanowiącego kryterium ochrony w miejscu do którego dopływ prądu może być utrudniony.

Uzyskuje się to w sposób najbardziej prawidłowy przez umieszczenie w takim punkcie elektrody kontrolnej, w przypadku regulacji ręcznej prądu, lub elektrody sterującej w przypadku regulacji automatycznej.

Wyniki pomiaru dokonanego przez elektrody sterujące i kontrolne umieszczone w polu elektrycznym utworzonym przez anody i dno zbiornika obarczone są błędem wynikającym ze składowej omowej. Błąd ten może być szczególnie duży w przypadku wymaganych wysokich natężeń prądu i wysokiej rezystywności podsypki piaskowej pod zbiornikiem lub kopca piaskowego w którym usytuowane są zazwyczaj zbiorniki gazu LNG.

Aby uniknąć tego typu zakłóceń stosować można stacje katodowe ze sterowaniem mikroprocesorowym i sondy pomiarowe wyposażone w próbkę, umożliwiające pomiar potencjału i automatyczną regulację prądu ochrony z eliminacją błędów składowej omowej. Stosować można np. stacje typu TB6126 10 lub 25A/60V których produkcja uruchomiona została w ZUO FAMOR w Bydgoszczy [11].

W przypadku budowy zbiorników nowych powszechną zasadą powinno być umieszczanie elektrod pomiarowych jak i sterujących pod środkiem dna zbiornika, a więc w miejscu najsilniej ekranowanym a tym samym o spodziewanych najniższych gęstościach doprowadzonego prądu katodowego. Ze względu na trudności z ewentualną wymianą elektrody np wskutek przedwczesnego jej wysuszenia w kopcu piaskowym lub piaskowej podsypce a zatem i utraty własności prawidłowego pomiaru, wskazane jest umieszczenie w tym punkcie kilku elektrod jednocześnie. Jest to szczególnie ważne przy zakładanej wieloletniej eksploatacji zbiornika.

Możliwe jest również sytuowanie elektrod pomiarowych i sterujących na końcu otwartych, zabezpieczonych jednak przed zamuleniem rur z tworzywa sztucznego, ułożonych pod dnem zbiornika w trakcie jego budowy. Elektroda tak usytuowana może być okresowo wyjmowana, regenerowana bądź wymieniana

W przypadkach gdy brak jest możliwości wymiany elektrody umieszczonej pod zbiornikiem lub w kopcu piaskowym, elektrody takie powinny być w miarę możliwości przystosowane konstrukcyjnie do zdalnego uzupełniania elektrolitu bez ich wyciągania z miejsca usytuowania. Elektrody takie zastosowano np. przy zaprojektowanej i zrealizowanej instalacji automatycznej ochrony katodowej zbiorników rozlewni gazu LNG rozlewni w Jezierzycach koło Słupska.

Jak w każdym prawidłowym rozwiązaniu ochrony elektrochemicznej tak i w przypadku ochrony dna zbiornika elektroda powinna znajdować się w bezpośredniej jego bliskości. Odległość ta jest jednak limitowana warunkami stosowanej procedury utwardzania kopca przy zbiornikach gazu jak i warunkami przesycania bitumami podsypki piaskowej pod dnami zbiorników naziemnych. W tych przypadkach jeżeli nie stosuje się rur dla wprowadzania i wymiany elektrod pod środek dna zbiornika elektrody powinny być sytuowane poniżej przesyconej bitumami warstwy piasku, licząc się nawet ze zwiększeniem wartości IR.

W przypadku ochrony zbiorników naziemnych stanowiących wysokie zagrożenie ekologiczne w przypadku awarii stawiane jest często przez inwestorów zagranicznych wymaganie zwielokrotnienia instalacji anod. Np. zgodnie z bardzo szczegółowymi wymaganiami F-my Shell Buta Gas zaistniała konieczność zainstalowania układu 12-tu elektrod pomiarowych, cynkowych i siarczano-miedziowych tylko dla kontroli rozkładu potencjału na zbiorniku o długości 31m i średnicy 5m [rys.7]. elektrody rozmieszczone są zarówno pod dnem zbiornika jak i w połowie jego tworzącej. [rys.8]. Układ taki będzie zwielokrotniony przy planowanej dalszej rozbudowie parku zbiorników [rys.9]

Pod dnem zbiornika sytuowane są pary elektrod tj siarczanomiedziana i cynkowa, a w połowie tworzącej elektrody siarczanomiedziowe.

Dodatkowo ze względu na sterowanie automatyczne zainstalowano elektrodę siarczano miedziową z próbką do sterowania stacją katodową typu TB6126.

Problem nasunął się przy uruchamianiu stacji gdyż w wyniku wysokiej jakości i szczelności pokrycia zbiornika koniecznym stało się takie dobranie wielkości próbki by przyjmowała ona potencjał zbiornika a nie odwrotnie

W ostatecznym układzie ze względu na "zdalne wyniesienie" pomiaru potencjału przy pomocy próbki, sondę sterującą umieszczono w pobliżu stacji katodowej w gruncie gliniastym o stosunkowo wysokim zawilgoceniu.

Wyniki pomiarów potencjałów spoczynkowych zbiornika jak również w stanie spolaryzowanym prądem katodowym, względem 12-tu elektrod pomiarowych usytuowanych jak na rysunku 7 i 8 przedstawiono poniżej.

Pomiary potencjału spoczynkowego zbiornika wg stałych elektrod pomiarowych

*Pomiar w punkcie SPP1*

|                            |        |                            |        |
|----------------------------|--------|----------------------------|--------|
| E1 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -0.46V | E5 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -0.57V |
| E2 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -0.59V | E6 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -0.60V |
| E3 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -0.89V | E7 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -0.63V |
| E4 (Zn/ZnO)                | +0.27V | E8 (Zn/ZnO)                | +0.51V |

*Pomiar w punkcie SPP2*

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| E1/2 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -0.52V |
| E2/2 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -0.62V |
| E3/2 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -0.61V |
| E4/2 (Zn/ZnO)                | +0.56V |

Pomiar po rozruchu instalacji ochrony katodowej

*Wartości wyjściowe stacji TB6124 w czasie pracy rozruchowej*

|     |        |                         |
|-----|--------|-------------------------|
| E = | -0.90V | wg Cu/CuSO <sub>4</sub> |
| I = | 0.6A   |                         |
| U = | 1.2V   |                         |

*Pomiar w punkcie SPP1*

|                            |         |                            |         |
|----------------------------|---------|----------------------------|---------|
| E1 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -0.987V | E5 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -1.084V |
| E2 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -1.069V | E6 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -1.082V |
| E3 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -0.880V | E7 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -1.145V |
| E4 (Zn/ZnO)                | +0.119V | E 8 (Zn/ZnO) -             | +0.044V |

*Pomiar w punkcie SPP2*

|                              |         |
|------------------------------|---------|
| E1/2 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -1.580V |
| E2/2 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -1.469V |
| E3/2 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -1.563V |
| E4/2 (Zn/ZnO)                | -0.144V |

Pomiary kontrolne instalacji ochrony katodowej

*Wartości wyjściowe stacji w czasie pomiarów kontrolnych po okresie 2 tygodni i korekcie wartości utrzymywanego potencjału.*

|     |                                |
|-----|--------------------------------|
| E = | -0.95V wg Cu/CuSO <sub>4</sub> |
| I = | 1.10A                          |
| U = | 2.6V                           |

#### *Pomiar w punkcie SPP1*

|                            |          |                            |         |
|----------------------------|----------|----------------------------|---------|
| E1 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | - 0.887V | E5 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -0.987V |
| E2 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -0.968V  | E6 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -0.858V |
| E3 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -0.811V  | E7 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -0.990V |
| E4 (Zn/ZnO)                | +0.163V  | E8 (Zn/ZnO)                | +0.167V |

#### *Pomiar w punkcie SPP2*

|                              |          |
|------------------------------|----------|
| E1/2 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -1.016V  |
| E2/2 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -0.991V  |
| E3/2 (Cu/CuSO <sub>4</sub> ) | -1.045V  |
| E4/2 (Zn/ZnO)                | +0.098 V |

Jak wynika z zestawienia wyników pomiarów uzyskano spolaryzowanie konstrukcji zbiornika obarczoną nieznacznym błędem IR w wyniku zastosowania niskiej rezystywności uziomu anodowego i niskich stąd wartości wyjściowych prądu katodowego. Prowadzone badania korelacyjne [rys.10] nie wykazały oddziaływania na zbiornik prądów błądzących pomimo bardzo bliskiego sąsiedztwa zelektryfikowanej trakcji kolejowej.

Brak oddziaływania na zbiornik prądów błądzących jest wynikiem zastosowanego systemu jego uziemiania. Zbiornik w założeniu powinien być całkowicie odizolowany od uziemienia otokowego i wyposażony w we własne uziemienie polaryzowane takie które nie zakłócałoby działania instalacji ochrony katodowej. Nie zostało to wydane się jednak spełnione w pełnym zakresie. Uzyskano wyższą wartość prądu katodowego niż przewidywano w założeniach projektowych. Wydaje się, że wynika to z doziemienia zera części elektrycznej instalacji pomiarowo-kontrolnej

## **6. Ochrona katodowa dna podwójnego**

Stosowane przy remoncie zniszczonych zbiorników odcinanie starego dna i budowa ponad nim dna nowego wymaga również jego odpowiedniego zabezpieczenia elektrochemicznego. Wypełnienie przestrzeni pomiędzy dnem starym i nowym przepłukanym piaskiem czy żwirem nie hamuje to zniszczeń korozyjnych [12]

Również i w tym przypadku zalecane jest stosowanie ochrony katodowej [1],[5],[10], anody układu ochrony katodowej powinny być instalowane w przestrzeni pomiędzy dnem starym a nowym. Dla ograniczenia upływu prądu katodowego na stare zniszczone dno zalecane jest jego pokrycie szczelną nieprzewodzącą folią. Najbardziej skutecznym sposobem rozproszania prądu katodowego jest zastosowanie anody w postaci siatki np tytanu pokrytego cienką 2-3 mikronową warstwą platyny lub warstwą przewodzących tlenków metali.

Nieco gorsze rozproszanie prądu uzyskuje się przy stosowaniu anod w postaci odlewów z żeliwa wysokokrzemowego.

Sposób rozwiązania układu ochrony podwójnego dna pokazano na rys. 8 i rys. 9.

Ochronę zewnętrznej powierzchni dna nowego rozwiązać można również przy pomocy anod galwanicznych. Sposób ten nie jest jednak spotykany często ze względu na wymagane duże prądy ochrony oraz brak możliwości wymiany anod zużytych w czasie pracy.

## 6. Ochrona katodowa wewnętrznej powierzchni i dna zbiorników

Główną przyczyną uszkodzeń i awarii zbiorników ropy i produktów ropopochodnych jest korozja wewnętrznej powierzchni dna,

W przypadku obecności elektrolitu (agresywnej wody) pod warstwą ropy lub produktu ropopochodnego skuteczną metodą ochrony jest ochrona elektrochemiczna [3]. Ze względu na wymagane wysokie gęstości prądu dochodzące do  $100\text{mA/m}^2$  dla czystej powierzchni stalowej, powinna być ona stosowana wraz z ochroną powłokową.

Ochronę powierzchni wewnętrznych rozwiązuje się zwykle przy pomocy anod galwanicznych umieszczanych na dnie zbiornika. W zasadzie stosowane mogą być wszystkie znane stopy protektorowe tj. stopy magnezu, aluminium i cynku. Dla zbiorników ropy i produktów ropopochodnych zalecane są przede wszystkim anody galwaniczne wykonane ze stopów cynku. Powodowane jest to możliwością zaiskrzenia stopu magnezu jak i aluminium w przypadku upadku wykonanych z nich anod na stalową powierzchnię z siłą 273J. Wymaganie takie, w wyniku wieloletnich doświadczeń wprowadzono na zbiornikowcach przy ochronie zbiorników do transportu ropy. Zachodziło podejrzenie, że w pustym nieodgazowanym zbiorniku urwanie się anody magnezowej lub aluminiumowej umieszczonej na ścianie zbiornika mogło być przyczyną eksplozji

Ochrona anodami galwanicznymi zbiorników ładunkowo-balistowych lub paliwowo balastowych statków, przez długie lata była podstawowym systemem ich ochrony przeciwkorozyjnej. Prawdłowo zaprojektowana ochrona z zastosowaniem odpowiednich materiałów protektorowych do wnętrza zbiorników i ochroną katodową powierzchni zewnętrznych kadłuba stanowiła podstawę do ubiegania się o zgodę Towarzystw Klasyfikacyjnych takich jak Lloyd czy DNV na obniżenie naddatków korozyjnych.

Obecnie metoda ochrony zbiorników okrętowych anodami galwanicznymi jest stosowana w mniejszym stopniu. Wynika to z wymagań konwencji o czystości morza i zakazu używania zbiorników ładunkowych do przewozu w drodze powrotnej balastu wodnego.

Przy ochronie anodami galwanicznymi stosuje się anody w postaci odlewanych bloków z wtopionymi stalowymi łapami. Przykład rozplanowania anod na ścianach zbiornika oczyszczalni ścieków przedstawiono na rys.10 a na dnie zbiornika ropy surowej na rys.11. Ilość materiału anodowego, jego powierzchnia i rozmieszczenie kalkulowane są w oparciu o wymagane natężenie prądu ochrony, rezystancję układu i wymagany czas działania między kolejnymi wymianami instalacji anod, przy założeniu stałej wartości napięcia utworzonego ogniwa galwanicznego.

Dobre efekty uzyskiwane są przy zastosowaniu anod w postaci taśm lub drutów ciągniętych ze stopu anodowego. Anody tego typu mocowane są do uchwytych przyspawanych do dna zbiornika. W tym przypadku mogą być stosowane również taśmy i druty ze stopów magnezu bądź aluminium gdyż nie grozi tu upadek z siłą przekraczającą 273J.

Do ochrony powierzchni wewnętrznych zbiorników w normie PN-86/E-05030.05 przewidziano specjalne rozwiązania konstrukcyjne anod. Sposób zamocowania anody na dnie zbiornika ropy surowej pokazano na rys.12.

Ochrona anodami galwanicznymi nie wymaga nadzoru w czasie całego swego działania przewidzianego projektem. Skuteczność jej jednak może być kontrolowana przez pomiar potencjału elektrochemicznego dna względem umieszczonych wewnątrz zbiornika elektrod odniesienia.

Produkty roztrawiania materiału anodowego nie przechodzą do ropy lub produktu ropopochodnego i nie zmieniają jego własności chemicznych i fizycznych.

## 7. Podsumowanie

Ochrona elektrochemiczna w świetle licznych badań oraz opracowanych na ich podstawie zaleceń standaryzacyjnych jest jedną z podstawowych metod zabezpieczenia powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych stalowych den zbiorników naziemnych ropy, produktów ropopochodnych jak i innych agresywnych elektrolitów.

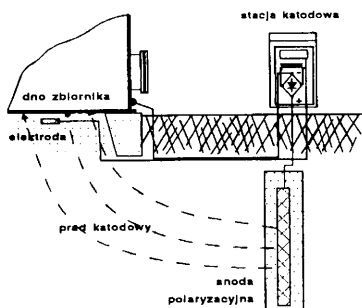
Przy pomocy tej ochrony przedłużyć można czas technicznej sprawności i bezpiecznego eksploataowania zbiorników, zgodnie ze współczesnymi wymaganiami ekologicznymi.

Opracowane i opublikowane w dokumentach standaryzacyjnych zasady rozwiązywania ochrony katodowej zarówno powierzchni zewnętrznych jak i wewnętrznych umożliwia prawidłowe opracowanie projektów ochrony.

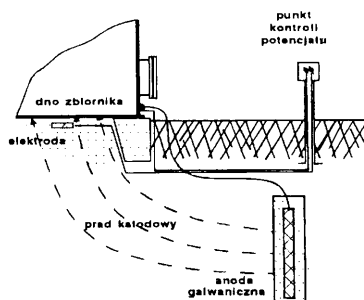
W kraju opracowano specjalne rozwiązanie stacji katodowych pracujących z eliminacją składowej omowej oraz rozwiązanie sond sterujących umożliwiające prawidłowe prowadzenie ochrony den zbiorników osadzonych na podsypkach piaskowych o wysokiej rezystywności.

## Literatura

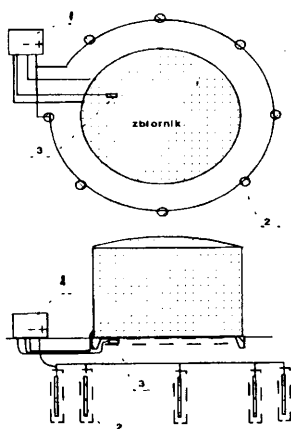
1. Cathodic Protection of Aboveground Petroleum Storage Tanks, API Standard 651 American Petroleum Institute, first Ed. Apr. 1991
2. Tank inspection, Repair, Alteration and Reconstruction, API Standard 653, American Petroleum Institute, first Ed. Jan. 1991r.
3. Design, Installation, Operation, and Maintenance of Internal Cathodic Protection Systems in Oil Treating Vessels NACE Standard RP-05-75
4. Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems, NACE Standard RP-0169-83
5. D.H. Kroon, Cathodic protection for above ground tank bottoms Pipe line Industry n.6 1992r. str. 23-26
6. J.G.Davis, Cathodic protection in refineries, chemical plants, and storage terminals, Materials Performance, n.8, 1990r, str. 16-19
7. PN-90/E-05030.01 Ochrona Katodowa. Ochrona konstrukcji podziemnych. Wymagania i badania.
8. I.Solomon, Cathodic protection of ground storage and mounded tanks, Corrosion Australasia Vol 19. n.1 1994r. str.10-12
9. P.Barham Jr., Ch. Bickford, R. W. Stephens, Improved Current Distribution Under Aboveground Tanks Using Angle-drilled Anode Groundbeds, Materials Performance n.7 1992r str. 21-26.
10. D.H.Park, Cathodic protection of Aboveground Tank Bottoms with Secondary Containment Liners. Materials Performance n.4 1991r. str. 22-25.
11. W.Bogotko, D.Jonaszek, H.Najdzicz Mat. III Krajowej Konferencji "Korozja 93"
12. S.R.Rials, J.H.Kiefer Evaluation of Corrosion Prevention Methods for Aboveground Storage Tank Bottoms Materials Performance n.1 1993r. str. 20-25.



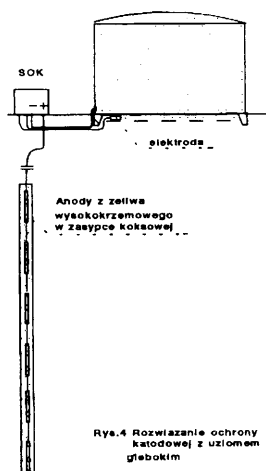
Rys.1 Ochrona katodowa prądem zewnętrznym



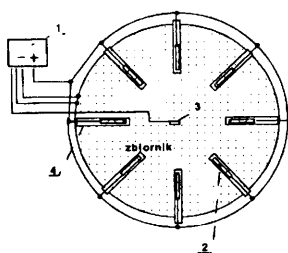
Rys.2 Ochrona katodowa anodami galwanicznymi



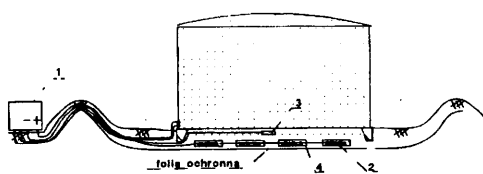
Rys.3 Typowe rozwiązanie ochrony katodowej  
1-stacja katodowa, 2-anoda  
3-elektroda pomiarowa/sterująca



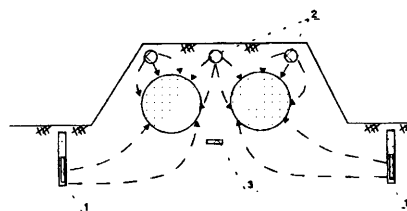
Rys.4 Rozwiązanie ochrony katodowej z użyciem głębokim



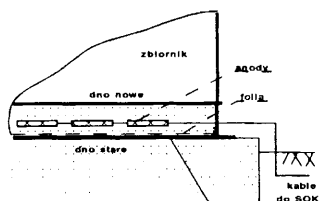
Rys.5 Instalacja anod pod dnem zbiornika  
1- Stacja katodowa, 2-anoda, 3-elektroda  
4-zasyпка коксовая



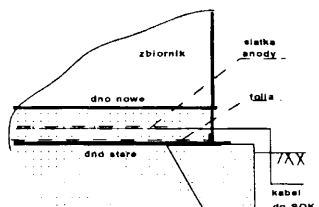
Rys.6 Rozmieszczenie anod przy stosowaniu folii ochronnej  
1- Stacja katodowa, 2-anoda, 3-elektroda  
4-zasyпка коксовая



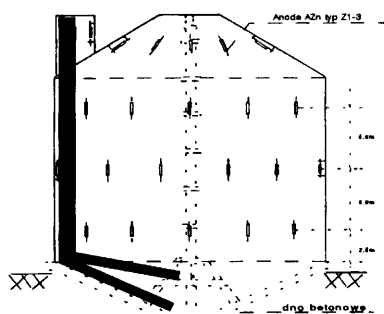
Rys.7 Rozmieszczenie anod przy ochronie katodowej zbiorników gazu płynnego umieszczonych w ziemnym kopcu  
1-anody uziomu płytkego, 2-anody pomocnicze  
3-elektroda sterująca



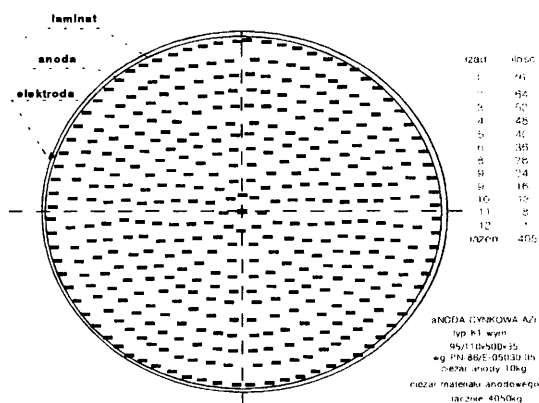
Rys.8 Rozmieszczenie anod w przestrzeni pomiędzy dnem nowym i starym



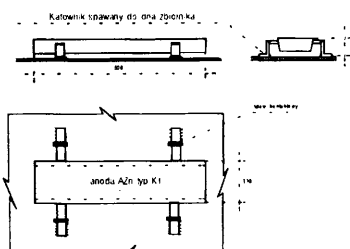
Rys.9 Anoda siatkowa w przestrzeni pomiędzy dnem nowym i starym



Rys.10 Ochrona anodami galwanicznymi stalowego zbiornika oczyszczalni ścieków



Rys.11 Plan rozmieszczenia anod cynkowych na dnie zbiornika ropy surowej. Projektowany czas ochrony 20 lat.



Rys.12 Montaż protektora cynkowego na dnie zbiornika ropy