



---

**NOWA METODA URUCHAMIANIA INSTALACJI I OCENY  
PARAMETRÓW PRACY OCHRONY KATODOWEJ DEN  
ZBIORNIKÓW PALIWOWYCH W RAFINERII  
ROPY NAFTOWEJ W ARABII SAUDYJSKIEJ**

**A NEW METHOD FOR COMMISSIONING AND ASSESSMENT  
OF CATHODIC PROTECTION OPERATING PARAMETERS  
OF ABOVE GROUND STORAGE TANKS BOTTOMS  
IN AN OIL REFINERY IN SAUDI ARABIA**

Marek Wartecki, Abdulla Fouad Impalloy Ltd. Co.

Husain Al-Mahrous, Saudi Aramco

Słowa kluczowe: ochrona katodowa, gradienty potencjału, potencjał ochrony, anody żelazokrzemowe  
Keywords: Cathodic protection, potential gradients, cathodic protection potentials, silicone iron anodes

**Streszczenie**

W rafinerii ropy naftowej w Jeddzie (Arabia Saudyjska) przeprowadzono modernizację ochrony katodowej (OK) zewnętrznej części den 80 zbiorników magazynowych posadowionych na gruncie. Dokonano wymiany wyeksploatowanego systemu z głębokimi uziomami anodowymi na anody umieszczone wokół zbiornika na głębokości do 2 metrów. W czasie uruchamiania nowej instalacji, z uwagi na brak możliwości umieszczenia elektrody kontrolnej pod dnem zbiornika, zastosowano ekstrapolacyjną metodę weryfikacji potencjału ochrony.

**Summary**

The upgrade of cathodic protection system for existing above ground storage tanks was carried out in Saudi Aramco Refinery. In low resistive soil additional measures had to be considered to provide cathodic protection to external bottom of tanks to prevent corrosion. The commissioning of tank CP system posed also problems related to verification of commissioning data. In the absence of any facilities, enabling direct potential measurements such as permanent reference cells or perforated monitoring tube a new calculation approach was utilized during commissioning.

## 1. Wprowadzenie

Rafineria ropy naftowej w Jeddzie (Arabia Saudyjska) została wybudowana w 1968 jako rafineria państwowa.

Jej początkowa zdolność przetwórcza wynosiła 12,000 baryłek dziennie (ok. 2 tys. ton). W okresie 30 lat rafineria doświadczyła szeregu przekształceń własnościowych i technologicznych w rezultacie osiągając wydajność rzędu 90,000 baryłek dziennie (około 13,5 tys. ton). Obecnie jej właścicielem w 75% jest naftowy gigant Saudi Aramco, a pozostałe 25% jest w posiadaniu kilku mniejszych inwestorów.

Rafineria dostarcza komponenty dla producentów olejów smarnych i swoje produkty do terminali przeładunkowych w pobliskim porcie Jeddah. Sama rafineria jest położona w bezpośredniej bliskości brzegów Morza Czerwonego, w rejonie, który początkowo był płaski i pusty.

Tereny te są w przeważającej części typu „subkhah”. Oznacza to piaszczyste tereny, na których z dużą częstotliwością występuje zalewanie słoną wodą zawierającą nawet do kilkunastu procent chlorków. Pomierzony w 2000 roku poziom tych wód wynosił 1,3 m. Obecnie wodę znajduje się już w wykopanych rowach nawet na głębokości 0,5 m. Wody te dostają się do gruntów, na których posadowione są zbiorniki z surową ropą i produktami rafinerii powodując korozję den i wycieki zmagazynowanych w nich produktów.

Od czasu wybudowania rafinerii nastąpił szybki rozwój miasta Jeddah. W jego rezultacie obecnie dzielnice mieszkaniowe znajdują się już tuż za płotem rafinerii, co stwarza potencjalne zagrożenie na wypadek przecieków lub awarii. Coraz poważniej myśli się o zamknięciu rafinerii lub o co najmniej ograniczeniu najbardziej uciążliwych dla środowiska linii produkcyjnych. Ponieważ obecna sytuacja z zaopatrzeniem w ropę na to nie pozwala, poszukuje się metod, które pozwolą na przedłużenie okresu eksploatacji urządzeń i zbiorników magazynowych.

## 2. Zbiorniki magazynowe w Rafinerii Jeddah

Przez dziesiątki lat w rafinerii wybudowano ponad 80 zbiorników; głównie do magazynowania surowej ropy lub ropo-pochodnych produktów. Na podstawie dokumentacji można stwierdzić, że zbiorniki wybudowane zostały w latach siedemdziesiątych i kilka lat potem.

Większość zbiorników posadowiona została na fundamentach z betonu zbrojonego uformowanego w kształt okręgu o głębokości 1m i szerokości ścianki 0,5 m. Wnętrze okrężnej ściany fundamentowej wypełnione zostało warstwami piasku o następującej charakterystyce:

- warstwa spódna do głębokości 1000 mm – specjalnie przygotowanej i nie zawierającej soli podsypce piaskowej,
- warstwa wierzchnia do 100 mm – zawiera piasek zmieszany z ropą w proporcjach 85 litrów ropy do 1 m sześciennego piasku (nie zawierającego soli). To na tej warstwie spoczywa dno zbiornika.,
- nie przewidziano membrany izolującej podsypkę piaskową od reszty gruntu.

Wokół kilku zbiorników dobudowano także żelbetowe chodniki na odległość do 1400 mm od ściany fundamentu. Do innych dodano też kanały ściekowe o szerokości 400–500 mm.

Zainstalowano systemy ochrony katodowej (OK) w celu ochrony przed korozją den będących w kontakcie z podsypką. W systemach tych wykorzystywano uziomy anodowe głębokie, które miały chronić całe grupy zbiorników.

Zastosowana OK można w opisać następująco:

### **ANODY**

Uziomy anodowe składające się z 10 anod grafitowych, każda w zasypce koksowej, zostały umieszczone na głębokości od 90 do 196 m. Średnica zastosowanych anod wynosiła 75 mm, a długość 900 mm. Każda z anod została podłączona indywidualnym kablem do skrzynki podłączeniowej.

### **PODŁĄCZENIE ZBIORNIKA DO OK**

Zastosowano podłączenie tylko jednego elementu chronionego do ujemnego bieguna stacji OK. Założono w projekcie, że podłączenie do OK pozostałych zbiorników dokona się przy pomocy sieci łączących je rurociągów. Biegun ujemny stacji OK został połączony kablem z najbliższym dostępnym rurociągiem lub zbiornikiem.

### **STACJE OCHRONY KATODOWEJ**

Zastosowano stacje OK jedno lub wiele kanałowe, z ręczną regulacją zamianą odczepów transformatorowych i chłodzeniem olejowym. Stacje podłączono do zasilania prądem 3 fazowym z napięciem 400 volt. W zależności od klasyfikacji bezpieczeństwa wybuchowego wokół obiektów, zastosowano obudowy przeciw-wybuchowe lub zwyczajne. W większości wypadków prąd ochrony dla 2/3 zbiorników dostarczany był tylko z jednego regulowanego wyjścia stacji OK.

W specyficznych geologicznych warunkach rafinerii (rezystywność gruntu bardzo mała) tak usytuowany uziom anodowy będzie generował prąd OK praktycznie w każdym kierunku. Ten sam efekt uzyskać można przy umieszczeniu anody na głębokości 6 metrów. Zatem wybór jakiego dokonali projektanci OK jest zaskakujący.

W wieloletnim okresie eksploatacji zbiorników miały miejsce poważne wielokrotne awarie korozyjne zbiorników. W ich efekcie konieczne było ich okresowe wyłączenia z eksploatacji i remonty den (5 zbiorników), złomowanie (13 zbiorników), a także wymiana den i OK (2 przypadki). Planowane jest złomowanie dalszych dwóch zbiorników.

### **3. Przeglądy stanu instalacji OK**

Uznano, że taki stan rzeczy jest niezadowolający. Zatrudniono kilka specjalistycznych firm OK w celu określenia przyczyny występowania perforacji den i sposobu polepszenia sytuacji.

Wszystkie ekspertyzy stwierdziły jednoznacznie, że przyczyna leży w niedostatecznym stopniu spolaryzowania den zbiorników. W 95% pomiarów potencjału, kryterium ochrony katodowej obowiązujące wg standardów Saudi Aramco  $-1000$  mV wg  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$  nie było spełnione.

Wydano następujące zalecenia, które miały prowadzić do polepszenia stanu pracy OK:

- zwiększenie ilości anod, połączeń kablowych do ujemnego wyjścia stacji, zwiększenia prądu ochrony,
- wymiany podsypki z piasku nasyconego ropa na podsypkę z piasku wymieszanego z cementem,

- zainstalowanie indywidualnych połączeń kablowych do każdego z chronionych obiektów,
- podłączanie tylko jednego zbiornika do jednej stacji OK.

Zalecenia te, dla kierownictwa rafinerii nie były w pełni przekonywujące a ponadto wymagałyby poważnego ograniczenia produkcji rafinerii. Nie były zatem nigdy wprowadzone w życie. Sytuacja stopniowo ulegała dalszemu pogorszeniu.

W 2005 roku przeprowadzono kolejny przegląd OK.

Zakres przeglądu był jak opisano poniżej:

- przeprowadzono pomiary rezystywności gruntu wokół zbiorników, a także na próbkach gruntu pobranych spod den,
- dokonano pomiarów gradientów potencjałowych na 2 typowych zbiornikach (T-002 i T-190),
- zmierzono rezystancje przejścia prądu zbiornik/grunt na próbce 4 zbiorników,
- pomierzono potencjały i wielkość prądu na zbiorniku będącym w stanie wyburzenia.

Pozwoliło to na określenie parametrów pracy w stanie, kiedy układ dno zbiornika/grunt był jeszcze nienaruszony (wyburzono tylko ściany boczne zbiornika)

Stwierdzono, że osiągnięty gradient potencjałowy wokół anody jest niewystarczający, aby osiągnąć potencjał ochrony w nasyconym ropą piasku. Ten efekt może być osiągnięty przez instalowanie anody bliżej zbiornika. Przy czym głębokość anody powinna być w granicach od 1 to 1,5 m. Większe głębokości można zastosować tylko w przypadku, gdy koniecznym jest zmniejszenie wymaganego napięcia prądu na wyjściu stacji. Należało również uwzględnić fakt, że anoda jest osłaniana przez ściankę fundamentową do głębokości 1 m.

Ponieważ przewidywano, że zasięg gradientu potencjałowego nie będzie duży, anody postanowiono zainstalować tak blisko krawędzi zbiornika jak to było praktycznie możliwe. Z uwagi na fakt, że większość zbiorników posiadała wokół chodniki i kanały ściekowe odległość do krawędzi wynosiła w większości przypadków 2 m.

#### 4. Projekt nowej instalacji OK

Rezultaty i wnioski z ostatniego przeglądu instalacji OK zostały zaakceptowane i dokonano przeprojektowania instalacji.

Uwzględniono następujące założenia i parametry projektowe:

- Wytworzony wokół anod gradient potencjałowy jest w stanie dokonać polaryzacji w promieniu 5 m od anody (10 m, jeśli pomierzyć względem długości krawędzi dna),
- Anody będą zainstalowane w odległości 2 metrów od krawędzi dna,
- Anody zainstalowane zostaną w pozycji poziomej,
- Założono rezystywność gruntu pod dnem zbiornika 339 ohm x cm,
- Większość anod zainstalowano na głębokości 1 ma. W pojedynczych przypadkach głębokość ta wynosiła 1,5 do 2 m,
- przypadku 63 zbiorników użyto anody żelazokrzemowej typu TA5A. Te anody zainstalowano bez systemu nawodniającego,
- W przypadku 3 zbiorników użyto anody żelazokrzemowej typu TA5A w zasypce koksowej i kanistrze. Te anody zainstalowano z systemem nawodniającym,

- Zainstalowano nowe stacje OK. Aby obniżyć koszty utrzymano zasadę, że jedna stacja może chronić kilka zbiorników. Ograniczono jednak te zasadę tylko do zbiorników o zbliżonej średnicy den,
- Istniejąca instalacja OK będzie albo zdemontowana lub w zależności od stanu, użyta do ochrony rurociągów przebiegających w granicach rafinerii.

Metodologia projektowania i obliczeń oparta została na uproszczonym wzorze na obliczenie gradientu potencjałowego dla anody umieszczonej w gruncie w pozycji poziomej w odległości X:

$$V = \frac{\rho I}{\pi L} \operatorname{Ln} \frac{\sqrt{(L/2)^2 + X^2 + H^2} + L/2}{\sqrt{(X^2 + H^2)}} \quad (1)$$

gdzie:

- $L$  – długość anody, dla żelazokrzemowej typu TA5A –213 cm,
- $\rho$  – średnia rezystywność gruntu wokół zbiornika- Ohm x cm,
- $H$  – głębokość zainstalowania anody –100 cm,
- $X$  – odległość między anodą do punktu X na dnie zbiornika,
- $I$  – prąd generowany przez anodę w amperach.

Do obliczeń skonstruowano arkusz kalkulacyjny w programie Microsoft Excel. Obliczono zsumowane gradienty dla punktów położonych na krawędzi zewnętrznej i w kierunku środka geometrycznego dna. Sumaryczne potencjały były weryfikowane wg zakładowego standardu Saudi Aramco, który zaleca utrzymywanie potencjału w granicach 3,0 do 1,0 wolta (mierzone bez przerywania przepływu prądu). Średnie wartości prądu z anody były odpowiednio dobierane, aby spełnić ten warunek. To z kolei pozwalało na obliczenie wymaganej wielkości prądu ze stacji OK. Dla układu chroniącego kilka zbiorników jedną stacją OK, wymagany prąd był sumą prądów dla każdego indywidualnego zbiornika.

Inne założenia projektowe były jak poniżej:

### **Podłączenie układu anod**

Anody zostały połączone równolegle do głównego kabla ułożonego wokół zbiornika. Podłączenie kabla anody do kabla głównego zaprojektowano w szczelne puszcze podłączeniowej umieszczone na ścianie fundamentowej. W puszcze, z nadmiaru kabla anody utworzono "pętlę", co pozwala na wygodny pomiar prądu anody z pomocą amperomierza cęgowego.

### **Skrzynka anodowa**

Kabel główny podłączony jest do dodatniego bieguna stacji OK poprzez skrzynkę anodową. Skrzynka wyposażona jest w boczniki umożliwiające dodatkowy pomiar wielkości prądu. Skrzynki wykonane są z materiałów odpowiednich dla zagrożenia wybuchowego w danym rejonie rafinerii.

### **Podłączenie zbiornika**

Podłączenie ujemnego bieguna stacji OK jest prowadzone do każdego zbiornika indywidualnie. Kabel jest przyspawany do zbiornika w co najmniej dwóch miejscach.

## Stacje OK

Zastosowano najprostsze stacje OK, jedno-kanalowe, z ręcznym sterowaniem wielkością prądu przy pomocy zmian połączeń transformatora. Prąd zasilania stacji jest 3-fazowy o napięciu 400 V i częstotliwości 50 Hz. Prąd doprowadzany jest z podstacji z możliwością odcięcia prądu wyłącznikiem.

## Monitorowanie pracy OK

Wokół zbiorników zainstalowano studzienki pomiarowe, które pozwalają na pomiar potencjałów. Studzienki te usytuowane są w środku odległości pomiędzy anodami i tak blisko krawędzi dna jak to było praktycznie możliwe. Istniały zatem dwie możliwości pomiaru potencjału dna:

- przez otwory inspekcyjne w ścianie fundamentowej, przy pomocy elektrody odniesienia umieszczonej na długim plastikowym przedłużaczu. Ten pomiar jest bardziej precyzyjny,
- przez studzienki pomiarowe. Ten pomiar posiada tę wadę, że mierzy potencjał w odległości w przybliżeniu 1–2 m od krawędzi dna.

Niestety za niemożliwe, niepraktyczne i zbyt kosztowne uznano stworzenie możliwości pomiaru potencjału innymi metodami np. przez zainstalowanie nowych elektrod pomiarowych metodą wierceń poziomych.

## 5. Instalacja nowej OK

Zainstalowanie OK wg powyższego projektu zostało przeprowadzone w latach 2005 do 2006. Uruchomienie instalacji przeprowadziła w latach 2006–2007 firma AFIC. Część prac trwa jeszcze do dzisiaj.

## 6. Uruchomienie instalacji OK

Stwierdzono, że kryterium potencjałowe  $-1000$  mV (względem nasyconej elektrody  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ ) mierzone w studzienkach jest spełnione w znakomitej większości przypadków. Jakkolwiek w kilku przypadkach powstały poważne wątpliwości, czy te kryterium będzie spełnione na całej powierzchni dna np. w jego geometrycznym środku.

Obawy te potwierdzały poniższe fakty:

- Zasięg gradientu potencjałowego z pojedynczej anody wynosi 10 m. W przypadku zbiorników o większej średnicy gradient może nie dotrzeć do środka dna, co może spowodować niepełną ochronę tej części zbiornika,
- Obliczenia projektowe przeprowadzono na uśrednionych wartościach prądu wypływających z anod. Jednak prądy te zależały od wartości rezystancji otaczającego anodę gruntu, która zmieniała się  $\pm 50\%$ ,
- Nie przewidziano elektrod pomiarowych do stałego pomiaru. Zainstalowanie tych elektrod wymagałoby podniesienia zbiornika, wierceń poziomych lub cięcia jego dna. We wszystkich tych sytuacjach zaistniałaby konieczność okresowego wyłączenia zbiornika z produkcji,
- Obliczenia projektowe zostały przeprowadzone przy założonej rezystywności gruntu pod dnem  $339 \text{ ohm} \times \text{cm}$ . Jak pomierzono później, w miejscu gdzie przeprowadzono

wyburzenie jednego ze zbiorników, wartości te były w znaczący sposób mniejsze niż założona wartość 339 ohm x cm.

Niemożliwym okazało się uruchomienie instalacji zgodnie do standardowych procedur Saudi Aramco. Opracowano zatem nową, pół eksperymentalną metodę ustalania wielkości potencjału według opisu jak poniżej:

1. Każdej z anod przyporządkowano numer (zgodnie z ruchem wskazówek zegara).
2. Pomierzono potencjały początkowe (przed włączeniem OK), prądy z poszczególnych anod oraz potencjały końcowe.
3. Pomierzone dane wprowadzono do arkuszy kalkulacyjnych i wykresów graficznych Microsoft Excel skonstruowanych jak poniżej:

Na hipotetycznej osi pomiędzy dwiema anodami i biegnącej przez środek zbiornika do jego przeciwnej strony, wybrano punkty (w zależności od rozmiaru zbiornika) w odległości 1–2 m. Punkty te reprezentują miejsca na dnie, które są najbardziej oddalone od anod, a więc potencjalnie najmniej chronione. Obliczono gradienty potencjałowe z każdej z anod w tych punktach. Gradienty te zsumowano otrzymując krzywą potencjałów od punktu krawędzi, biegnącą przez środek dna do przeciwległej krawędzi.

Do obliczenia gradientów użyto wzoru (1), a za poszczególne wartości przyjmując jak opisano poniżej:

- $p$  – Rezystywność gruntu –339 Ohm x cm,
- $I$  – Prąd jaki pomierzono dla każdej anody,
- $X$  – odległość punktu na hipotetycznej osi od anody zakładając symetryczne ułożenie anod,
- długość anody  $L = 213$  cm,
- głębokość zakopania anody  $H = 100$  cm.

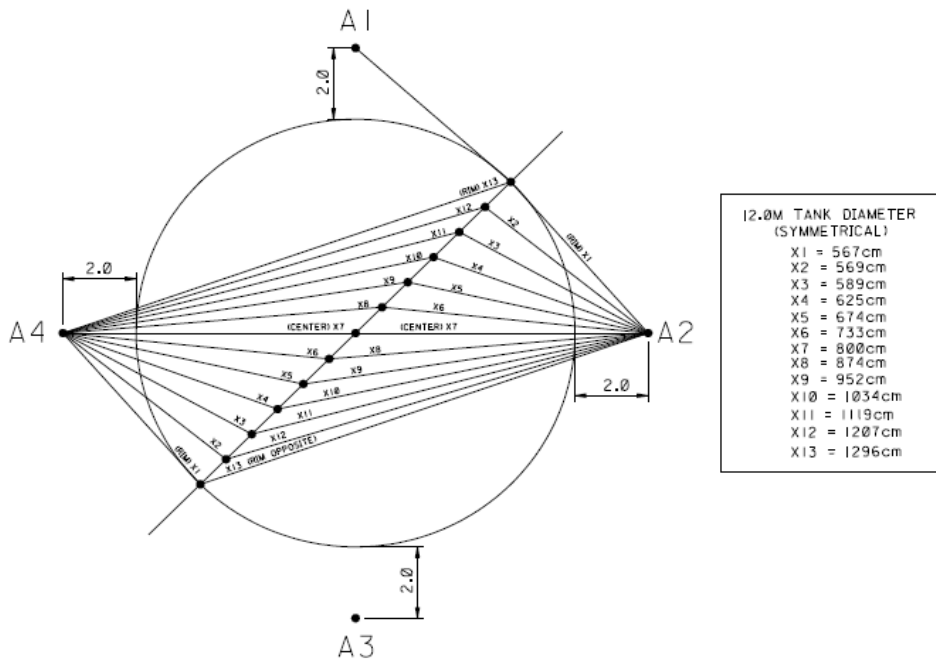
Zasadę tę ilustruje przykład dla zbiornika z czterema anodami pokazany na rys. 1 i łączniku 1.

Na przykładzie zbiornika T-180 z 6-cioma anodami pokazano wygląd krzywej potencjałów uwzględniający prądy pomierzone w czasie uruchamiania OK tego zbiornika (rys. 2).

1. Porównywano pomierzone potencjały przy włączonym prądzie OK przy krawędzi dna do potencjałów na hipotetycznej osi na wykresie. Metodą “prób i błędów” zmieniano parametr rezystywności gruntu w celu uzyskania jak najbliższego obliczonego rezultatu gradientu do wartości pomierzonej. Manewr ten powtórzono dla każdej pomierzonej pozycji pomiaru.
2. Jeśli po zakończeniu etapu (4) istnieją punkty na krzywej potencjału poniżej wymaganego kryterium potencjałowego –1000 mV to prąd OK. powinien być zwiększony.
3. Po dokonaniu ponownych pomiarów prądu i potencjału ponawiano próbę dopasowania wartości obliczonych do mierzonych. W efekcie powstała nowa krzywa potencjałowa. Po sprawdzeniu czy wszystkie punkty na krzywej są powyżej kontynuowano zwiększanie prądu OK., aż wszystkie punkty na krzywej znajdą się powyżej kryterium potencjałowego.

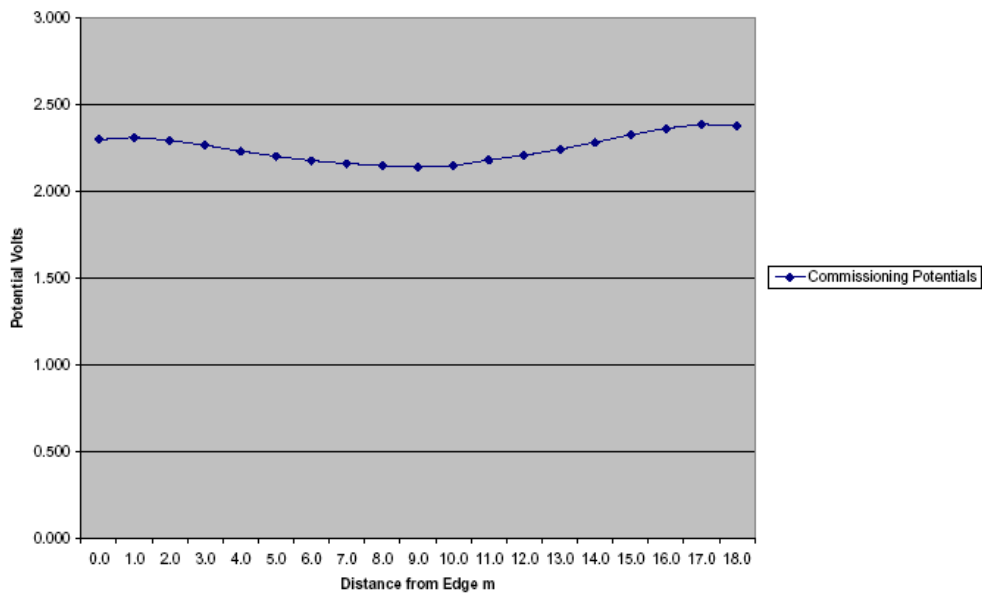
Przykład tak uzyskanego wykresu krzywej potencjałowej dla zbiornika T-284 pokazano na rys 3, a dla zbiornika T-213 na rys. 4. Oba wykresy skonstruowano na podstawie pomiarów i obliczeń jak opisano powyżej.

Wykresy te mogą być użyteczne do późniejszych pomiarów, a także w trakcie rutynowych inspekcji sprawdzających efektywność działania OK. W ten sposób utworzyć można bank danych OK z całego okresu działania systemu.



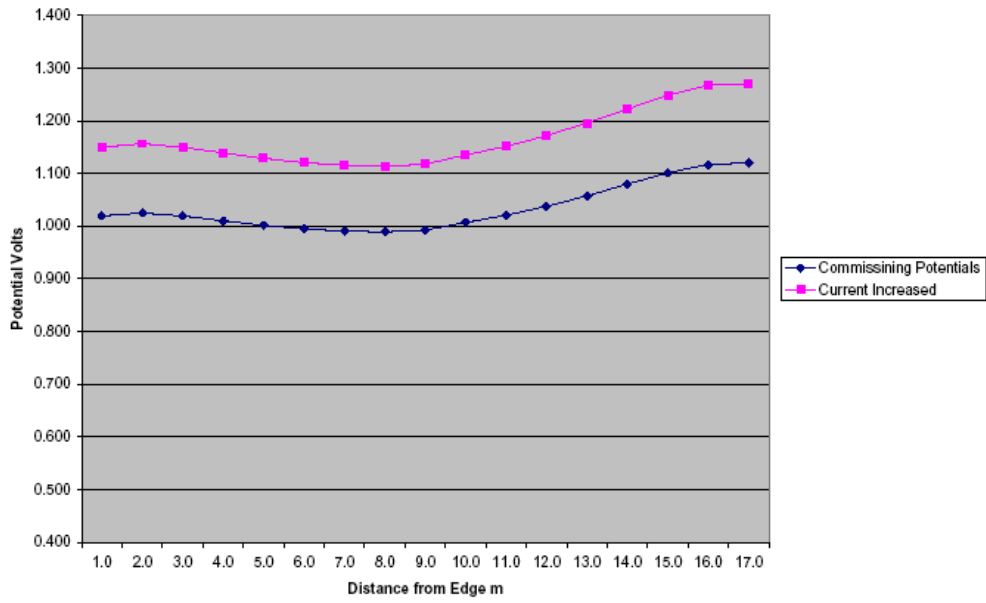
Rys. 1. Sumowanie gradientów potencjału. A1, A2, A3, A4 – pozycje anod

**Uwaga:** Dla przejrzystości nie pokazano gradientów anod A1 & A3.

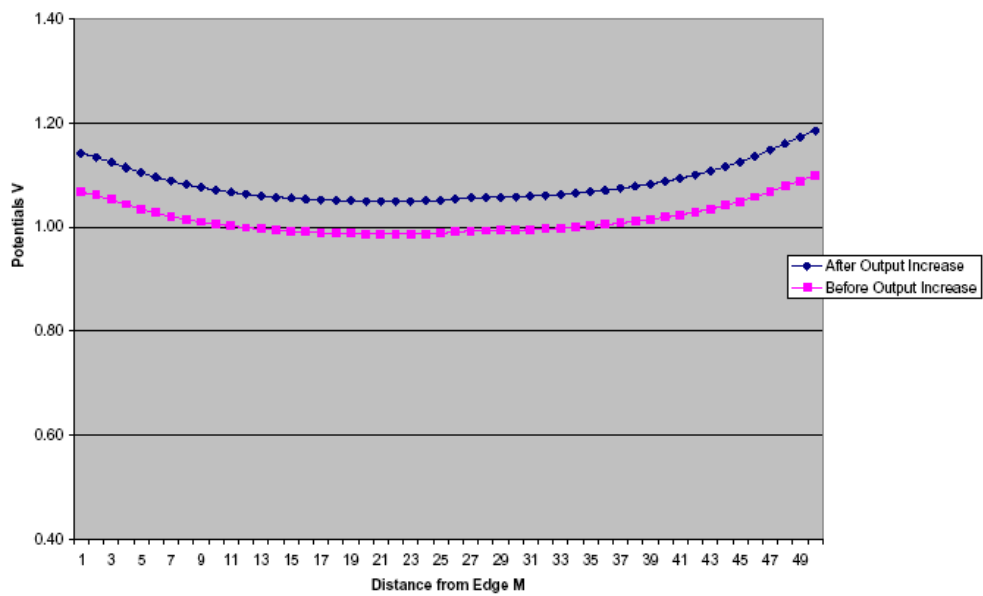


Rys. 2. Potencjały dna zbiornika T-180 o średnicy 18,9 m. Zainstalowano 6 anod





Rys 3. Potencjały dna zbiornika T-264 o średnicy 17,1 m. Zainstalowano 6 anod

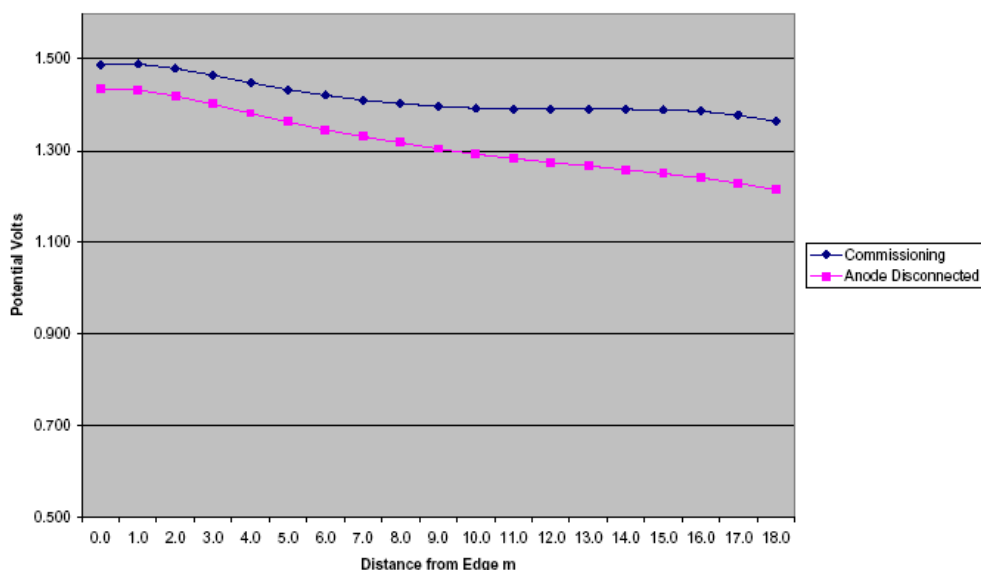


Rys 4. Potencjały dna zbiornika T-213 o średnicy 49 m. Zainstalowano 16 anod

## 7. Przykłady wykorzystania metody

Często w czasie uruchamiania OK lub w czasie normalnej pracy, zauważa się zbyt duże prądy z jednej lub kilku anod (przekraczające wartości dopuszczalne). Przyczyną tego może być zwarcie anody z sąsiednią konstrukcją lub bardzo niska rezystywność gruntu. Dłuższa praca anody w takim stanie może doprowadzić do jej przedwczesnego zużycia.

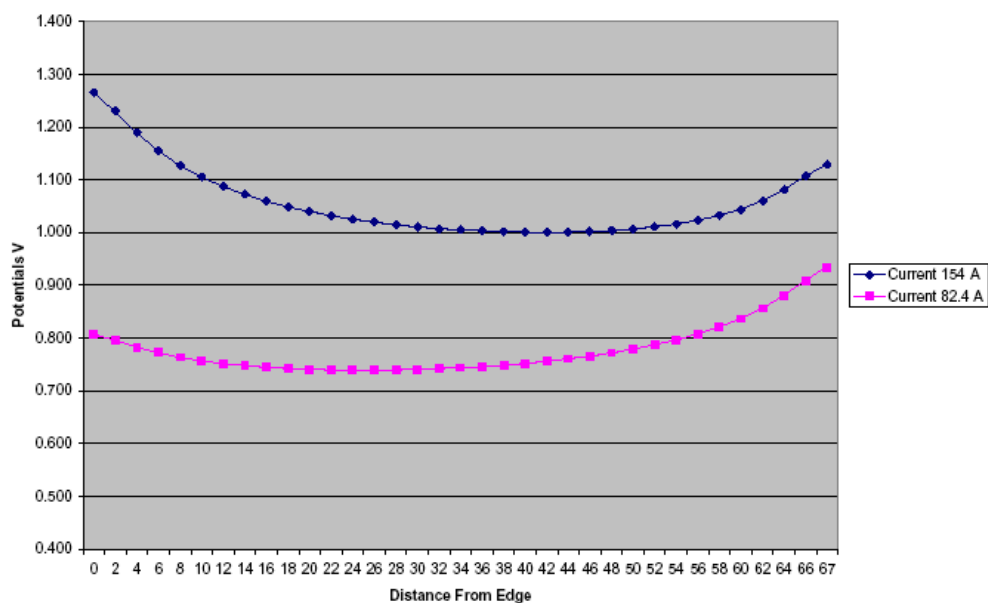
Zwykle problem ten rozwiązuje się zmieniając lokalizację anody. To nie zawsze jest jednak możliwe ze względu na brak miejsca wokół zbiornika. Wprowadzając do arkusza kalkulacyjnego wartość prądu zero dla danej anody można sprawdzić na wykresie (rys. 5), że potencjały będą nadal spełniać wymagane kryterium ochrony  $-1,0$  volt względem elektrody odniesienia  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$  (nas.) nawet przy wyłączonej anodzie.



Rys. 5. Potencjały dna zbiornika T-2 o średnicy 18,1 m. Zainstalowano 6 anod

W innym przypadku zbiornika T-106 pomimo zwiększania prądu nie było możliwe uzyskanie potencjałów ochronnych. Rezystywność gruntu wokół zbiornika i bezpośrednio pod dnem była tak mała, że wytworzony gradient potencjału był niewystarczający nawet przy przepływie maksymalnego prądu ze stacji OK. Klient zażądał wymiany stacji OK na stację o wyższej wydajności prądowej. Powstało pytanie - jaka powinna być ta wartość prądu?

Stworzono arkusz kalkulacyjny uwzględniający geometrię zbiornika, wyższe prądy i więcej anod. Aby spełnić kryterium OK wymagana byłaby gęstość prądu ochrony rzędu  $43 \text{ mA/m}^2$ . Na tej podstawie dokonano dalszych decyzji. Przypadek ten przedstawiono na wykresie rys. 6.



Rys. 6. Zbiornik T-106, Średnica 67 m. Szacowanie wymaganego prądu ochrony OK

## 8. Wnioski

Zastosowano nową metodę uruchamiania OK. istniejących zbiorników, gdzie anody umieszczane są na zewnątrz, wokół ścianki fundamentowej i braku elektrod kontrolnych pod dnem. Zastosowane metody obliczeniowe oparte na pomiarach i ekstrapolacji pozwoliły na pośrednie oszacowanie wartości potencjałów ochronnych. Metoda ta może być wykorzystywana jako „najlepsza z możliwych” w przypadku braku innych możliwości weryfikacji stanu OK.

## Dla Zbiornika o średnicy – 12,0 m      4 anody

## Potential Change from Tank Periphery to Centre from 4 anodes

## EARTH ANODE GRADIENTS

Distance between the anode and the structure      = X =    200 cms  
 Native Potential                                                   0.50 volts      ASSUMED

Tank Diameter      Diameter      1200

## Potential Change from Tank Periphery to Centre from adjacent anode 1

## Anode 1

Resistivity                                                   = r =    339 ohms.cm  
 Length of anode                                                   = L =    213 cms  
 Depth of Burial to center of anode                                                   H      100 cm  
 Distance between the anode and the structure                                                   = X =    200 cms  
 Current per each anode                                                   = I =    5.7 amps

		Potential Shift		
		(Volt)	from anode (cm)	
Edge		0.58	567	1.075
	1	0.57	569	1.072
	2	0.55	589	1.052
	3	0.52	625	1.020
	4	0.48	674	0.981
Centre	5	0.44	733	0.941
		0.40	800	0.903
	5	0.37	874	0.868
	4	0.34	952	0.836
	3	0.31	1034	0.809
Rim Opposite	2	0.28	1119	0.785
	1	0.26	1207	0.763
		0.24	1296	0.745

## Potential Change from Tank Periphery to Centre from adjacent nearest anode 2

## Anode 2

Resistivity                                                   = r =    339 ohms.cm  
 Length of anode                                                   = L =    213 cms  
 Depth of Burial to center of anode                                                   H      100 cm  
 Distance between the anode and the structure                                                   = X =    200 cms  
 Current per each anode                                                   = I =    5.7 amps

		Potential Shift		
		(Volt)	from anode (cm)	
Edge		0.58	567	1.075
	1	0.57	569	1.072
	2	0.55	589	1.052
	3	0.52	625	1.020
	4	0.48	674	0.981
Centre	5	0.44	733	0.941
		0.40	800	0.903
	5	0.37	874	0.868
	4	0.34	952	0.836
	3	0.31	1034	0.809
Rim Opposite	2	0.28	1119	0.785
	1	0.26	1207	0.763
		0.24	1296	0.745

**Potential Change from Tank Periphery to Centre from anode 3**

**Anode 3**  
 Resistivity = r = 339 ohms.cm  
 Length of anode = L = 213 cms  
 Depth of Burial to center of anode = H = 100 cm  
 Distance between the anode and the structure = X = 200 cms  
 Current per each anode = I = 5.7 amps

	Potential Shift (Volt)	from anode (cm)	
Rim	0.58	567	1.075
	1 0.57	569	1.072
	2 0.55	589	1.052
	3 0.52	625	1.020
	4 0.48	674	0.981
Centre	5 0.44	733	0.941
	0.40	800	0.903
	5 0.37	874	0.868
	4 0.34	952	0.836
	3 0.31	1034	0.809
Rim Opposite	2 0.28	1119	0.785
	1 0.26	1207	0.763
	0.24	1296	0.745

**Potential Change from Tank Periphery to Centre from anode 4**

**Anode 4**  
 Resistivity = r = 339 ohms.cm  
 Length of anode = L = 213 cms  
 Depth of Burial to center of anode = H = 100 cm  
 Distance between the anode and the structure = X = 200 cms  
 Current per each anode = I = 5.7 amps

	Potential Shift (Volt)	from anode (cm)	
Edge	0.58	567	1.075
	1 0.57	569	1.072
	2 0.55	589	1.052
	3 0.52	625	1.020
	4 0.48	674	0.981
Centre	5 0.44	733	0.941
	0.40	800	0.903
	5 0.37	874	0.868
	4 0.34	952	0.836
	3 0.31	1034	0.809
Rim Opposite	2 0.28	1119	0.785
	1 0.26	1207	0.763
	0.24	1296	0.745

**SUMMARY OF GRADIENTS**

	Potential Shift (Volt)	Final Potential from all Anodes	Distance from Edge
Edge	1.64	2.140	0
	1 1.67	2.172	1
	2 1.67	2.174	2
	3 1.66	2.157	3
	4 1.63	2.135	4
Centre	5 1.62	2.117	5
	1.61	2.110	6
	5 1.62	2.117	7
	4 1.63	2.135	8
	3 1.66	2.157	9
Rim Opposite	2 1.67	2.174	10
	1 1.67	2.172	11
	1.64	2.140	12