



**METODA PRZEŁĄCZENIOWO-WYŁĄCZENIOWA OKREŚLANIA  
POTENCJAŁU WOLNEGO OD SKŁADOWEJ IR**

**THE SWITCH-OVER METHOD FOR DETERMINATION  
OF POTENTIALS FREE FROM THE IR COMPONENT**

Michał Jagiełło, Jacek Rozwadowski

Pomorski Okręgowy Zakład Gazownictwa Gdańsk  
Politechnika Gdańska  
Katedra Technologii Zabezpieczeń Przeciwkorozyjnych

Słowa kluczowe: ochrona katodowa, pomiar potencjału, technika pomiarów intensywnych  
Keywords: cathodic protection, potential measurement, close interval potential surveys

**Streszczenie**

W pracy przedstawiono metodę przełączeniowo-wyłączeniową do wyznaczania rzeczywistego potencjału polaryzowanego rurociągu. Przeprowadzono analizę matematyczną w oparciu o schematy zastępcze układów dla rurociągu z jednym oraz dwoma defektami w izolacji. Wskazano na zalety tej metody w odniesieniu do metody wyłączeniowej, polegające na minimalizacji wpływu prądów wyrównawczych oraz na możliwości wyłączenia tylko jednej stacji katodowej. Eliminuje to problemy związane z synchronizacją wyłączeń większej liczby stacji.

**Summary**

In this paper the switch-over method has been presented for determination of the real potential of a polarized pipeline. A mathematical analysis has been carried out based on equivalent circuits of systems for pipelines with one or two defects in the insulation. Advantages of this method have been pointed out in relation to the switch-off method, i.e., minimization of the effect of equalization currents and the possibility of switching off of only one cathodic protected station. This eliminates problems connected with synchronization of switching off of a larger number of stations.

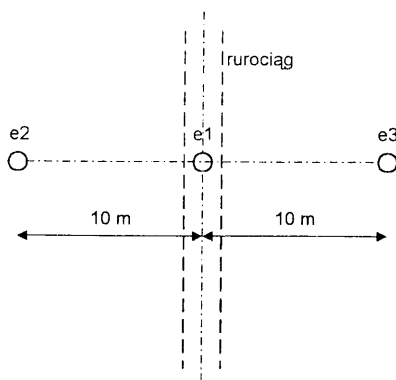
## Wprowadzenie

Ocenę skuteczności ochrony katodowej chronionej konstrukcji przeprowadza się badając, czy spełnione są określone w stosownych normach i przepisach kryteria ochrony [1,2]. W przypadku rurociągów podziemnych badania skuteczności sprowadzać się powinny do pomiaru potencjału  $E_p$  wolnego od składowej omowej  $IR$  w uprzednio zlokalizowanych miejscach defektów powłoki izolacyjnej. W niektórych przypadkach konieczne jest symulowanie defektu powłoki przy pomocy zakopanej stalowej płytki lub tzw. elektrody symulującej.

Pomiar potencjału  $E_p$  wolnego od składowej omowej powszechnie wykonuje się stosując metodę wyłączeniową, w której przyjmuje się, że potencjał  $E_{wył}$  zmierzony w czasie krótszym od  $1s$  od momentu równoczesnego wyłączenia wszystkich źródeł polaryzujących badany odcinek rurociągu odpowiada potencjałowi polaryzacji  $E_p$ . Jeśli w miejscu wykonywania pomiaru występują w ziemi spadki napięcia wywołane przez obce źródła prądu, np. przez prądy błądzące z trakcji kolejowej czy tramwajowej lub powstają spadki napięcia na skutek pojawienia się tzw. prądów wyrównawczych wówczas  $E_{wył} \neq E_p$ .

Prądy wyrównawcze powstają w chwili wyłączenia ochrony katodowej, na skutek wyrównywania potencjałów pomiędzy różnie spolaryzowanymi miejscami na rurociągu. Odległość pomiędzy takimi obszarami wynosić może od kilku centymetrów do nawet kilku kilometrów [3]. W miejscach gorzej spolaryzowanych, gdzie np. występują większe defekty powłoki lub jest większa rezystywność gruntu, prąd wyrównawczy wpływa do rurociągu (czyli ma ten sam kierunek co prąd polaryzujący) i wywołuje spadek napięcia w gruncie powodując, że mierzony na powierzchni ziemi potencjał  $E_{wył}$  jest bardziej elektrojenny od rzeczywistego potencjału  $E_p$ .

Norma DIN 50 925 „Korozja metali. Ocena skuteczności ochrony katodowej zakopanych konstrukcji” podaje metody pomiaru potencjału na rurociągach podziemnych, które „według współczesnej wiedzy określają z najlepszym przybliżeniem potencjał wolny od składowej omowej”. Uniwersalną metodą, przy pomocy której wyeliminować można zarówno wpływ prądów błądzących jak i wyrównawczych na mierzoną wartość potencjału jest metoda trzelektrodowa (rys. 1.).

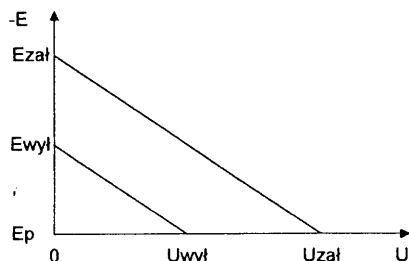


Rys. 1. Schemat ustawienia elektrod na powierzchni ziemi przy wykonywaniu pomiaru potencjału metodą trzelektrodową.

W metodzie tej wykonuje się równocześnie:

- pomiar potencjału elektrodą  $e_1$  umieszczoną nad gazociągiem w miejscu zlokalizowanego defektu powłoki,
- pomiar różnicy potencjałów  $U_{1,2}$  pomiędzy elektrodami  $e_2$  i  $e_1$  oraz  $U_{1,3}$  pomiędzy elektrodami  $e_3$  i  $e_1$ , które umieszcza się na wysokości defektu po obu stronach gazociągu w odległości ok. 10 m od jego osi (rys. 1.)

Pomiary te przeprowadza się przy załączonym prądzie ochrony oraz w ciągu 1 s od jego wyłączenia. Istota tej metody pomiaru opiera się na założeniu, że spadki napięcia  $U_{1,2}$  i  $U_{1,3}$ , wywołane przez prądy polaryzujące lub wyrównawcze, są proporcjonalne do składowej omowej IR.



Rys. 2. Ilustracja graficzna sposobu określania potencjału  $E_p$  wolnego od składowej omowej.

Wpływ obcych spadków napięcia w ziemi można wyeliminować biorąc do obliczeń średnią  $U$  z wartości  $U_{1,2}$  i  $U_{1,3}$ . Potencjał wolny od składowej omowej określa się ze wzoru:

$$E_p = E_{wyl} + \frac{E_{wyl} - E_{zal}}{\frac{U_{zal}}{U_{wyl}} - 1} \quad (1)$$

Metoda trzeielektrodowa nie może być stosowana jedynie w następujących przypadkach:

- gdy źródło prądów błądzących znajduje się blisko miejsca wykonywania pomiaru,
- oddziaływanie prądów błądzących ma charakter silnie dynamiczny,
- w pobliżu „obcej elektrody” tzn. galwanicznie połączonej z rurociągiem obcej konstrukcji metalowej - w praktyce jest to najczęściej stalowe zbrojenie betonu lub ocynkowana albo miedziana instalacja uziemiająca.

Pomiary wykonywane zgodnie z DIN 50 925 przeprowadzane wzdłuż trasy rurociągu są powszechnie wykonywane w Niemczech i noszą tam nazwę „pomiarów intensywnych” (Intensivmessungen). Przemierzając się wzdłuż trasy rurociągu wykonuje się w odstępach co kilka metrów cykl pomiarów wartości załączeniowych i wyłączeniowych, lokalizując na podstawie obserwacji zmian spadków napięcia  $U_{1,2}$  i (lub)  $U_{1,3}$  miejsca defektów powłoki izolacyjnej i określając w tych miejscach potencjały  $E_p$ .

Wyniki dotychczas wykonanych pomiarów intensywnych, dzięki którym odkryto miejsca zaatakowań korozyjnych na konstrukcjach chronionych katodowo, potwierdzają celowość ich przeprowadzania, szczególnie na gazociągach i rurociągach paliwowych, gdzie skutki wywołane awarią powstałą w wyniku uszkodzenia korozyjnego mogą być bardzo poważne.[4,5].

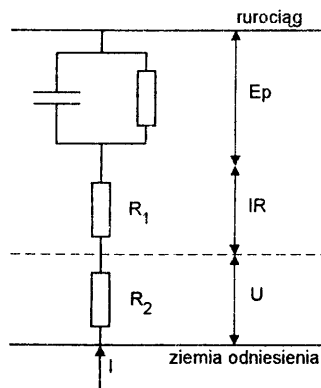
Opracowanych zostało wiele technik przeprowadzania pomiarów intensywnych [6]. Zastosowanie którejs z nich na konkretnym rurociągu zależy m.in. od rodzaju i stanu jego powłoki izolacyjnej, obecności oddziaływań prądów błądzących, warunków terenowych i dysponowania odpowiednim sprzętem pomiarowym. Zasadniczo, przy braku oddziaływań prądów błądzących, pomiary można wykonywać przy pomocy dwóch elektrod, mierząc spadki napięcia tylko z jednej strony rurociągu lub - jeśli powłoka rurociągu posiada niewiele defektów - wzdłuż jego osi. W każdej z tych metod konieczne jest synchroniczne, okresowe wyłączenie wszystkich źródeł polaryzujących rurociąg.

### Metoda przełączeniowo-wyłączeniowa

Metoda wykonywania pomiarów intensywnych, którą nazwana przełączeniowo-wyłączeniową może być w pewnym stopniu alternatywna w stosunku do współcześnie powszechnie stosowanych i opisanych w literaturze. Wykorzystuje ona ideę metody przełączeniowej [2,3]. W metodzie tej wykonuje się pomiar potencjału  $E_1$  przy prądzie ochrony równym  $I_1$  oraz potencjału  $E_2$  bezpośrednio po zmianie prądu z  $I_1$  na  $I_2$ , przy czym  $I_2 = I_1 \cdot x$ , gdzie  $0 < x < 1$ . Wartość potencjału wolnego od składowej omowej oblicza się ze wzoru.

$$E_p = \frac{E_2 - xE_1}{1 - x}$$

Przy braku oddziaływania prądów błądzących i wyrównawczych na rurociągach bitumicznych stosunek  $I_2$  do  $I_1$  można zwykle wyznaczyć wykonując pomiar spadków napięcia z jednej strony rurociągu:  $I_2:I_1 = U_{I2}:U_{I1}$ . Na rys. 3. przedstawiono uproszczony schemat zastępczy ilustrujący ideę metody przełączeniowej określania potencjału  $E_p$ .

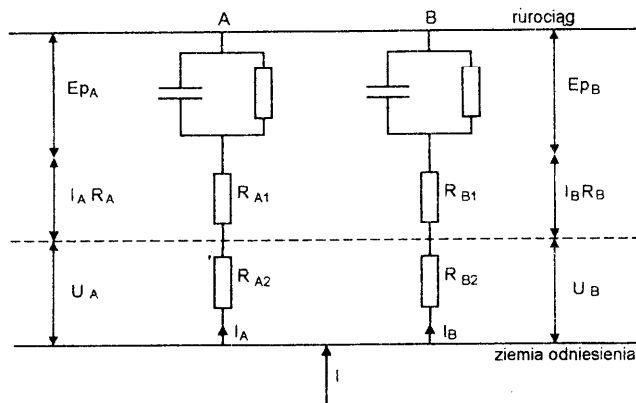


Rys. 3. Schemat zastępczy dla rurociągu z jednym defektem w izolacji.

Nieznanej wartości spadek napięcia  $I_1R_1$  wchodzący w skład mierzonego nad defektem potencjału  $E_1$  jest proporcjonalny do dającego się zmierzyć przy pomocy dwóch elektrod spadku napięcia na powierzchni ziemi  $U_1 = I_1R_2$ . Jeśli pomiar po zmianie wartości prądu z  $I_1$  na

$I_2$  zostanie wykonany dostatecznie szybko, potencjał  $E_p$  nie ulegnie zmianie, zaś spadki napięcia będą odpowiednio równe  $I_2 R_1$  oraz  $U_2 = I_2 R_2$

W metodzie przełączeniowo-wyłączeniowej [7] wykonuje się pomiary potencjału i spadków napięcia na powierzchni ziemi przy ustawieniu elektrod jak w metodzie trzelektrodowej, przy okresowym wyłączaniu **tylko jednej**, najbliższej miejscu pomiarów stacji ochrony katodowej. Na rys. 3. przedstawiono uproszczony schemat zastępczy dla dwóch różnie spolaryzowanych defektów A i B na rurociągu.



Rys. 4. Schemat zastępczy układu z dwoma defektami w izolacji rurociągu.

Potencjały wolne od składowej omowej w miejscach defektów polaryzowanego rurociągu wynoszą odpowiednio  $E_{pA}$  i  $E_{pB}$ , zaś potencjały mierzone na powierzchni ziemi  $E_{Azał} = E_{pA} + I_A R_A$  i  $E_{Bzał} = E_{pB} + I_B R_B$ ,  $I_A R_A$  i  $I_B R_B$  są niemierzalnymi omowymi spadkami napięcia w ziemi na skutek przepływu prądów polaryzujących  $I_A$  i  $I_B$ . Wartości  $U_A$  i  $U_B$  są równe spadkom napięcia wywołanym przez te same prądy, które można zmierzyć na powierzchni ziemi. Dla uproszczenia przyjęto, że elektrody umieszczone na wysokości defektów prostopadłe do osi gazociągu, przy pomocy których wykonuje się pomiar  $U_A$  i  $U_B$  znajdują się już na ziemi odniesienia, w związku z tym:

$$E_{pA} + I_A R_A + U_A = E_{pB} + I_B R_B + U_B = E_{zał_{odn}}$$

W chwili wyłączenia prądu polaryzującego ( $I = 0$ ), na skutek różnicy potencjałów  $E_{pA} - E_{pB}$  następuje przepływ prądu wyrównawczego, który jest równy:

$$I_w = \frac{E_{pA} - E_{pB}}{R_A + R_B} = \frac{\Delta E}{R} \quad \text{gdzie: } R_A = R_{A1} + R_{A2} \text{ oraz } R_B = R_{B1} + R_{B2}$$

Korzystając z praw Kirchhoffa można wyznaczyć rozpyły prądów wpływających do defektów A i B. Przy sumarycznych prądach polaryzacji równych  $I_1$  i  $I_2$  prądy wpływające do defektu A są odpowiednio równe:

$$I_{A1} = \frac{I_1 R_B + \Delta E}{R_A + R_B} \quad \text{oraz} \quad I_{A2} = \frac{I_2 R_B + \Delta E}{R_A + R_B}$$

Z sytuacją przełączania prądu z wartości  $I_1$  na  $I_2$  mamy do czynienia, gdy, tak jak w metodzie przełączeniowo-wyłączeniowej, zmieniamy prąd ochrony katodowej, np. wyłączamy jedno ze źródeł polaryzacji (stację ochrony katodowej) rurociągu. W skrajnym przypadku, gdy  $I_2=0$  wówczas  $I_{A2} = I_w$ .

Ponieważ prąd wpływający do defektu  $A$  jest proporcjonalny do dającego się zmierzyć spadku napięcia  $I_A R_{A2}$ , można wyznaczyć potencjał  $E_p$  wolny od składowej omowej wykonując pomiary przy prądzie polaryzacji  $I_1$  i krótkotrwałej jego zmianie na  $I_2$ . Potencjał wolny od składowej omowej oblicza się ze wzoru (1), w którym w miejsce wartości wyłączeniowych podstawia się wartości przełączeniowe.

### Podsumowanie

Zaproponowana metoda przełączeniowo-wyłączeniowa posiada dwie cenne zalety w stosunku do metody wyłączeniowej:

- prąd polaryzujący nie spada do zera, przez co szybkość depolaryzacji rurociągu jest mniejsza, a co za tym idzie, zwiększa się dokładność pomiarów wielkości wyłączeniowych,
- konieczne jest stosowanie tylko jednego urządzenia przerywającego prąd stacji ochrony katodowej, które nie musi, tak jak w metodzie wyłączeniowej, pracować synchronicznie z innymi podobnymi urządzeniami zamontowanymi w pozostałych stacjach.

Jedynym ograniczeniem tej metody pomiaru jest konieczność zmiany prądu z  $I_1$  na  $I_2$  o dostateczną wielkość, ze względu na możliwość popełnienia błędów pomiarowych. Zwykle w dowolnym miejscu rurociągu chronionego katodowo udział najsilniejszej stacji w wartości prądu polaryzującego to miejsce jest nie mniejszy niż 30-50%.

Metoda może być wykorzystywana przede wszystkim przy badaniu rurociągów posiadających powłoki bitumiczne z relatywnie dużą ilością defektów. Na takich właśnie rurociągach testowana jest jej przydatność z obiecującymi wynikami.

### Literatura

1. DIN 30676 Planung und Anwendung des kathodischen Korrosionsschutzes für den Außenschutz, 1985.
2. DIN 50925 Nachweis der Wirksamkeit des kathodischen Korrosionsschutzes erdverlegten Anlagen, 1992.
3. v Baeckmann W., Schwenk W., Prinz W.: Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes, Verlag Chemie, Weinheim 1989.
4. Prinz W.: Bestimmung des IR-freien Potentials bei Intensivmessungen an 10 000 km kathodisch geschützten Gashochdruckleitungen, Gas-Erdgas 133 (1992) nr 3.
5. Fleig W. Fehlstellenortung und Potentialmessung an kathodisch geschützten Rohrleitungen, Gas-Erdgas 133 (1992) nr 3.
6. Baeckmann W., Prinz W.: Kathodischer Korrosionsschutz Intensivmessungen bei kathodisch geschützten Rohrleitungen.
7. Jagiełło M.: Ocena efektywności ochrony katodowej podziemnych rurociągów techniką pomiarów intensywnych, Praca dyplomowa, Politechnika Gdańska, Gdańsk 1993.