

**IX Krajowa Konferencja**  
**POMIARY KOROZYJNE W OCHRONIE ELEKTROCHEMICZNEJ**  
**9-th National Conference**  
**CORROSION MEASUREMENTS IN ELECTROCHEMICAL PROTECTION**  
**7-9. 06. 2004 Zakopane, Poland**



---

**OCENA PARAMETRÓW POLARYZACJI KATODOWEJ**  
**W SPOSÓB INSTRUMENTALNY**

**INSTRUMENTAL ASSESSMENT OF CATHODIC POLARISATION PARAMETERS**

Wojciech Sokółski

SPZP CORRPOL Gdańsk

Słowa kluczowe: ochrona katodowa, elektrody symulujące, badanie polaryzacji  
Keywords: cathodic protection, coupons, assessment of polarisation

**Streszczenie**

Zaprezentowana na poprzedniej konferencji idea stosowania odłącznika magnetycznego, jako elementu umożliwiającego automatyzację pomiarów skuteczności ochrony katodowej, praktycznie stosowana jest już w kilku odmianach przez SPZP CORRPOL w instalacjach ochrony katodowej zbiorników i rurociągów. W pracy opisano zarys metodyki pomiarowej oraz konstrukcję nowego przyrządu do pomiarów rzeczywistych parametrów polaryzacji katodowej (potencjału i natężenia prądu) na elektrodach symulujących oraz w obwodach ochrony katodowej za pomocą anod galwanicznych. Zaprezentowano wyniki pomiarów laboratoryjnych i badań wykonanych w warunkach technicznych.

**Summary**

The idea, presented during the previous conference, of using a magnetic disconnecter, as an element allowing automatic measurement of cathodic protection effectiveness, is being practically used by SPZP CORRPOL in several forms in tank and pipeline cathodic protection installations. In the paper measurement methodology has been described in short and the construction of the new instrument for measurement of real cathodic protection parameters (potential and current) on simulating electrodes and in cathodic protection circuits with the use of galvanic anodes. Results have been presented of laboratory measurements, as well as tests in technical conditions.

## Wprowadzenie

Potencjał metalowej konstrukcji podziemnej lub podwodnej, określony względem elektrody odniesienia, stanowi podstawową wielkość określaną we wszelkiego rodzaju systemach ochrony katodowej jako kryterium wymaganej polaryzacji i w konsekwencji właściwej skuteczności zabezpieczenia przeciwkorozyjnego. Ten z pozoru prosty pomiar, polegający na zmierzeniu siły elektromotorycznej ogniwa zbudowanego z chronionego obiektu i elektrody odniesienia okazał się w praktyce trudny do zrealizowania. Do dnia dzisiejszego nie ma jednolitej metodyki pomiarowej, a we wszystkich normach czy przepisach zawiera się prawidłowe wykonanie tej czynności odpowiednio wykształconemu i doświadczonemu personelowi.

Znaczącym ułatwieniem w prawidłowej ocenie zjawiska polaryzacji jest wykorzystanie jej właściwości w dziedzinie czasu. Składowe polaryzacji mają różne stałe czasowe i stąd oddzielenie spadków napięć w obwodzie pomiarowym od zmian potencjału wywołanego przez reakcje elektrochemiczne stało się elementem szeregu nowych metod pomiarowych. Należą do nich tzw. techniki wyłączeniowe, w których tuż przed wykonaniem pomiaru potencjału chronionej katodowo powierzchni metalowej odłącza się od niej źródło prądu polaryzującego, pozwalając na zanik przed dokonaniem odczytu omowych spadków napięć (IR).

Do metod wyłączeniowych zalicza się także techniki z wykorzystaniem elektrod symulujących. Zasadniczą zaletą tej techniki jest możliwość pomiaru natężenia i kierunku prądu płynącego pomiędzy elektrodą symulującą o znanej powierzchni a chronioną konstrukcją oraz możliwość wykonywania pomiarów po odłączeniu elektrody od chronionego obiektu bez ingerencji w pracę całego systemu ochrony katodowej. Na elektrodzie można wykonać także inne pomiary elektryczne: zmierzyć rezystancję lub natężenie prądu przemiennego, co ma istotne znaczenie w strefach możliwych wpływów linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia. W strefach oddziaływania prądów błądzących, a także dla obiektów posiadających bardzo dobrej jakości izolacje ochronne, technika ta jest uznawana za najdogodniejszą do oceny prawidłowej pracy oraz skuteczności działania systemów ochrony katodowej. Na pomiar potencjału za pomocą elektrod symulujących powołują się normy: PN-EN 12954, PN-EN 12696, PN-EN 13509 i PN-EN 13636 [1-4].

Pomiary parametrów polaryzacji na elektrodach symulujących, w szczególności na elektrodach stalowych o stosunkowo małych powierzchniach, wymagają odpowiedniej ostrożności podczas ich wykonywania, przestrzegania określonych zasad czy procedur postępowania oraz niezbędnego doświadczenia. Zjawiska polaryzacji elektrochemicznej przebiegają stosunkowo wolno, w szczególności te, które uzależnione są od dyfuzji substancji biorących udział w procesie korozyjnym. Chcąc więc uzyskać na elektrodach symulujących warunki polaryzacji takie same jak na chronionej konstrukcji nie wolno podczas pomiarów w jakikolwiek sposób zakłócić równowagi pomiędzy zachodzącymi na powierzchni elektrod zjawiskami elektrochemicznymi. Przypadkowe zwarcie (lub w innym momencie przypadkowe rozwarcie obwodu pomiarowego) może na długi czas zniweczyć możliwość wykonania prawidłowych pomiarów na elektrodzie symulującej.

Możliwość uniknięcia błędów pomiarowych, a także automatyzacji całego cyklu pomiarowego parametrów charakteryzujących polaryzację elektrochemiczną elektrody symulującej, stwarza umieszczony na stałe i sterowany z zewnątrz odłącznik w obwodzie polaryzującym pomiędzy elektrodą symulującą a chronioną konstrukcją, np. taki, jaki został opracowany w 2003 roku przez SPZP CORRPOL w odłączniku magnetycznym OM-1 [5]. Od tego czasu, w kilku odmianach, zastosowany został w kilkuset punktach pomiarowych. Koncepcja ta umożliwia automatyzację pomiarów [6], a także wyznaczenie w sposób instrumentalny rzeczywistych parametrów polaryzacji elektrody symulującej i w innych podobnych układach.

## **Elektroda symulująca jako element ogniwa utworzonego z konstrukcją**

Elektrody symulujące wykonuje się postaci walców lub krążków blachy z takiego samego materiału, z jakiego wykonana jest konstrukcja chroniona katodowo. Zazwyczaj są to jednak elementy wykonane ze zwykłej stali węglowej, ponieważ charakter korozji w ziemi praktycznie nie zależy od rodzaju czy gatunku stali – proces korozji kontrolowany jest niemal w 100% przez procesy dyfuzyjne, a więc zależny jest on w pierwszej kolejności od stężenia tlenu w ziemi. Elektrody symulujące razem z elektrodą odniesienia tworzą sondę pomiarową.

Elektroda symulująca swoją nazwę bierze od głównej roli jaką spełnia w układach pomiarowych w systemach ochrony katodowej. Jej zadaniem jest odtwarzanie warunków jakie panują na fragmencie chronionej konstrukcji narażonej na oddziaływanie środowiska korozyjnego, a więc w defekcie izolacyjnej powłoki ochronnej. Przez to, że powierzchnia elektrody jest znana i istnieje możliwość pomiaru przepływającego prądu pomiędzy konstrukcją podziemną a elektrodą symulującą, istnieje możliwość określenia parametrów polaryzacji metalu w danym środowisku. Czasami mówi się, że elektroda „symuluje defekt” w izolacji, ale w rzeczywistości oczekuje się, że będzie ona „symulować” wartość potencjału na chronionej konstrukcji w defekcie porównywalnym co do wielkości do powierzchni elektrody symulującej, a także „symuluje” prąd polaryzujący wpływającego do takiego defektu podczas polaryzacji katodowej rurociągu.

Obie te wielkości – potencjał i natężenie prądu – stanowią podstawowe parametry polaryzacji elektrochemicznej. Prąd przepływający przez granicę faz pomiędzy środowiskiem korozyjnym a powierzchnią metalu wywołuje zjawisko polaryzacji, czyli zmianę potencjału elektrody w funkcji natężenia prądu przypadającego na jednostkę jej powierzchni (gęstości prądu). W procesach elektrochemicznych przepływający przez ww. granicę prąd i odpowiadająca mu zmiana potencjału elektrochemicznego nie są związane ze sobą zależnością liniową. Zależność ta jest co prawda monotoniczna, ale nie podlega prawu Ohma.

Elektroda symulująca zakopana obok konstrukcji metalowej zazwyczaj nie ma takiego samego jak ona potencjału. Jest to zupełnie oczywiste, ponieważ zachodzące na powierzchni obu elementów metalowych reakcje elektrochemiczne rzadko kiedy przebiegają z jednakową szybkością. Dopiero po dłuższym czasie zwarcia elektrycznego elektrody i konstrukcji może nastąpić powolne wyrównanie potencjałów. Oznacza to, że po połączeniu elektroda symulująca i konstrukcja tworzą ze sobą zwarte ogniwo, którego siłę elektromotoryczną stanowi występująca pomiędzy nimi różnica potencjałów. W wyniku działania takiego ogniwa będzie następował samoistny przepływ prądu tego ogniwa. Jeśli więc pomiędzy połączonymi elektrodami wystąpi różnica potencjałów (ogniwo nie będzie idealnie zwarte), to przepływ prądu pomiędzy elektrodami ogniwa uzależniony będzie od wielkości siły elektromotorycznej. Inaczej mówiąc, prąd w jedną stronę popłynie dopiero wtedy, gdy przyłożone z zewnątrz napięcie co najmniej zrównoważy występującą pomiędzy elektrodą a konstrukcją różnicę potencjałów, natomiast w drugą stronę płynąć będzie prąd samoistnie i zsumuje się z wymuszonym prądem z zewnątrz.

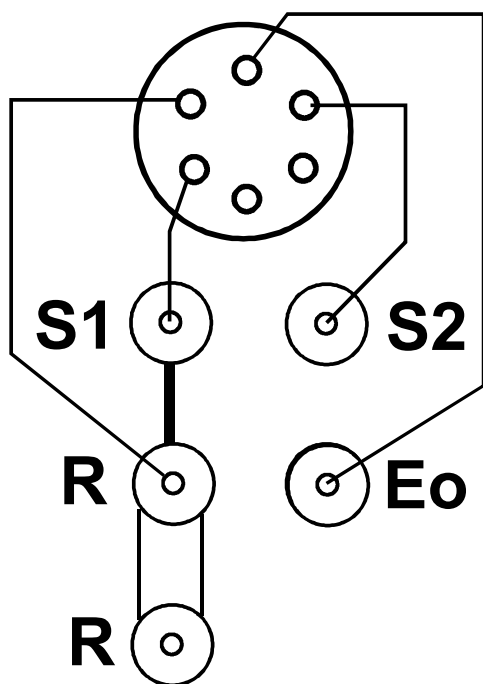
Powyższe rozumowanie ma kluczowe znaczenie w technice pomiarowej, zarówno dla metodyki jak również interpretacji uzyskanych rezultatów, ponieważ w znaczący sposób utrudnia wykonanie pomiarów natężenia prądu pomiędzy elektrodą symulującą a konstrukcją. Włączenie amperomierza w oczywisty sposób zwiększa rezystancję obwodu pomiarowego, co - jak z powyższego widać - skutkuje nie tylko potrzebą skorygowania wyniku pomiaru w drodze obliczeniowej, ale także zmienia warunki polaryzacji elektrochemicznej. Problem ten jest uciążliwy w przypadku porównywalnej rezystancji obwodu pomiarowego i amperomierza.

Jednym ze sposobów eliminowania powyższych problemów i pomiar rzeczywistego prądu podczas polaryzacji umożliwia amperomierz o zerowej rezystancji wewnętrznej.

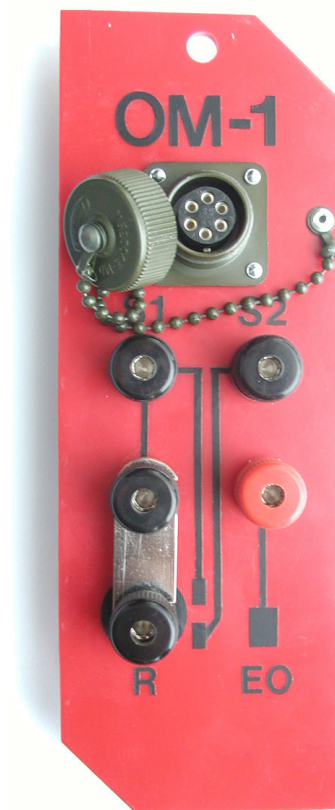
## Odłącznik magnetyczny (OM) produkcji SPZP CORRPOL

Odłącznik magnetyczny do sond pomiarowych i do elektrod symulujących typu OM służy do realizacji różnorodnych specjalistycznych pomiarów terenowych, których zadaniem jest przede wszystkim wiarygodna ocena skuteczności działania systemu ochrony katodowej chronionego obiektu za pomocą elektrod symulujących. Odłącznik typu OM przeznaczony jest do montażu na stałe w punkcie pomiarowym (słupku, studziencie lub szafce pomiarowej, stacji pomiarowej, stanowisku pomiarowym lub w stacji ochrony katodowej) w miejscu wyprowadzenia przewodów elektrycznych od elektrody lub elektrod symulujących (S) i elektrody odniesienia (EO), względnie przewodów od sondy pomiarowej potencjału z zewnętrzną próbką symulującą. Odłącznik OM-1 przystosowany jest do dwóch elektrod symulujących, jednej rozłączanej od chronionej konstrukcji i drugiej nie podłączonej do obwodu ochrony katodowej (do porównywania elektrody chronionej i nie chronionej katodowo). Odłącznik OM-2 przystosowany został do systemów z anodami galwanicznymi, zaś OM-3 do jednoczesnego odłączania dwóch elektrod symulujących o różnych powierzchniach roboczych. Opis odłącznika, jego przeznaczenie oraz parametry techniczne zostały opisane wcześniej [5].

Jednym z głównych elementów odłącznika magnetycznego jest gniazdo pomiarowe przeznaczone do włączenia tą drogą odpowiedniego przyrządu pomiarowego. Zastosowano wyjątkowo odporne na warunki atmosferyczne złącze militarne. Podłączenia do poszczególnych zacisków wykonane są wewnątrz obudowy, która jest zamknięta i zalana odpowiednią żywicą syntetyczną. Ogólny schemat połączeń poszczególnych zacisków odłącznika OM-1 z końcówkami złącza przedstawiono na rys. 1. Wygląd zewnętrzny odłącznika zamontowanego w słupku kontrolno-pomiarowym ilustruje fot. 1.



Rys.1. Schemat połączeń zacisków z końcówkami gniazda hermetycznego OM-1.



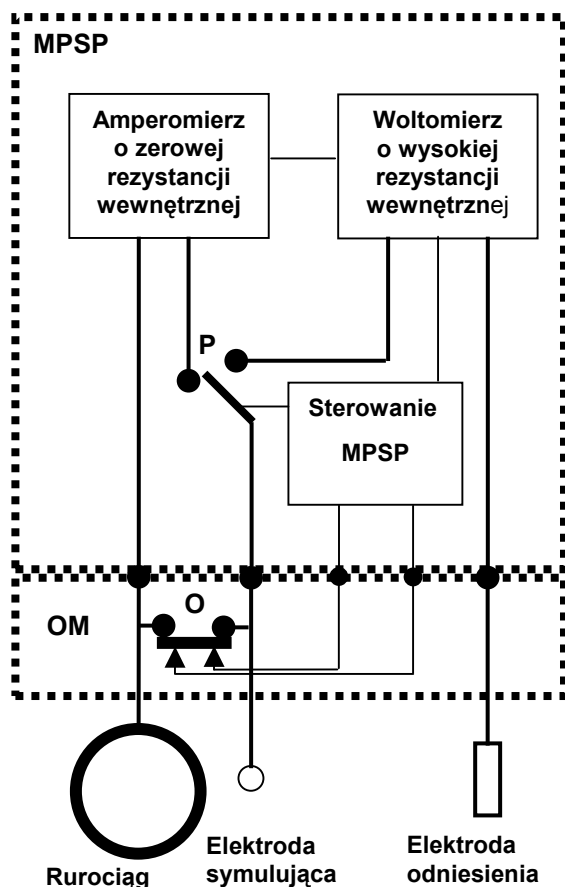
Fot.1. Widok zacisków i gniazda OM na płycie słupka kontrolno-pomiarowego.

## Miernik rzeczywistych parametrów sondy pomiarowej

Gniazdo pomiarowe docelowo przeznaczone jest do współpracy z miernikiem parametrów sondy pomiarowej (MPSP), którego zadaniem jest wykonanie pełnego cyklu pomiarowego przewidzianego dla badań z zastosowaniem elektrod symulujących, łącznie z przeprowadzeniem pomiaru natężenia prądu stałego i przemiennego z zastosowaniem amperomierza o zerowej rezystancji wewnętrznej oraz testu polaryzacji i depolaryzacji elektrody symulującej. Przy odpowiednim oprogramowaniu przyrząd taki może także zmierzyć i zapamiętać pełne charakterystyki polaryzacji i depolaryzacji próbek symulujących, co przy obecnej wiedzy umożliwi pełną ocenę ich właściwości fizykochemicznych oraz efektu działania ochrony katodowej czy szkodliwego wpływu prądów przemiennych.

Automatyczne wykonanie ww. pomiarów jest możliwe dzięki umieszczeniu w obwodzie łączącym elektrodę symulującą z chronioną konstrukcją sterowanego magnetycznie odłącznika - widoczne na rys.1 dwie końcówki nie podłączone do zacisków służą do zdalnego rozłączania zwartego obwodu pomiędzy zaciskami S1 i R. Przyłożenie do tych końcówek odpowiedniego napięcia powoduje przepływ prądu w cewce odłącznika, który rozwiera połączenie pomiędzy elektrodą symulującą a rurociągiem (chronioną konstrukcją metalową).

Schemat funkcjonalny przyrządu przedstawiony jest na rys. 2, zaś na fot. 2. wygląd zewnętrzny prototypu urządzenia MPSP-2 (przystosowany do współpracy z OM-2).



Rys.2. Uproszczony schemat funkcjonalny miernika parametrów sondy pomiarowej MPSP.



Fot.2. Prototyp MPSP-2 przystosowany do współpracy z odłącznikiem OM-2.

Głównym elementem przyrządu jest amperomierz o zerowej rezystancji wewnętrznej (ZRA), którego zadaniem jest łączenie elektrody symulującej z konstrukcją w sposób porównywalny do odłącznika z jednoczesnym pomiarem prądu zwarcia obu tych elektrod ogniwa. Wysokoomowy woltomierz służy do odczytu mierzonych wielkości. W obecnie prezentowanej wersji prototypu MPSP-2 sekwencją pomiarów steruje się ręcznie.

Po połączeniu urządzeń (odłącznika OM i przyrządu MPSP) od razu można odczytać potencjał elektrody symulującej połączonej z chronioną konstrukcją. W tym czasie amperomierz podłączony jest równolegle do styków odłącznika i następuje jego automatyczne wyzerowanie. Podczas pomiaru prądu odpowiedni sygnał z MPSP rozwiera obwód odłącznika OM („O” na rys. 2). Elektroda symulująca połączona wtedy jest z konstrukcją za pomocą amperomierza o zerowej rezystancji wewnętrznej. Operacja ta nie zakłóca polaryzacji elektrochemicznej w obwodzie badanego ogniwa (nadal jest pełne zwarcie obwodu) – odczyt prądu jest bardzo stabilny.

Po przełączeniu przyrządu na pomiar potencjału wyłączeniowego elektrody symulującej, w obwodzie zwierzanym przez amperomierz uruchamia się elektronicznie sterowany przełącznik wewnętrzny („P” na rys. 2), który na określony czas rozłącza ten obwód. W tym czasie odpowiedni zespół szybkiego przetwornika analogowo-cyfrowego całkuje kolejne odczyty w okresie 20 ms. Po dokonaniu pomiaru obwód zostaje ponownie zamknięty przez amperomierz, a wynik uwidoczniiony na wyświetlaczu. Cykl pomiarowy powtarza się w sposób ciągły co 0,5 sekundy, co sprawia wrażenie ciągłego odczytu potencjału wyłączeniowego badanej elektrody.

Przyrząd MPSP wyposażony jest w wyjście do rejestratora zewnętrznego, co umożliwi wykonywanie pomiarów w warunkach nieustalonych, np. podczas oddziaływania prądów błędzących. Układ nadaje się do automatycznego sterowania ochroną katodową.

## **Podsumowanie**

Miernik rzeczywistych parametrów sondy pomiarowej (MPSP) jest pierwszą próbą stworzenia wygodnego narzędzia, które pozwoli na zmierzenie z oczekiwaną dokładnością w warunkach terenowych wartości potencjału wyłączeniowego na symulującej elektrodzie stalowej, a także określenie rzeczywistej wielkości natężenia prądu płynącego pomiędzy próbką a chronioną konstrukcją (parametrów polaryzacji katodowej elektrody symulującej).

Cechą charakterystyczną tej metodyki pomiarowej jest to, że jest ona całkowicie instrumentalna i niezależna od prowadzącego pomiar, jego wiedzy i doświadczenia, które zazwyczaj, jeśli nie są wystarczające, prowadzą do mylnych wyników i w następstwie do błędów w eksploatacji systemów ochrony katodowej.

## **Literatura**

- [1] PN-EN 12954:2004 Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruntach lub w wodach - Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów.
- [2] PN-EN 12696:2004 Ochrona katodowa stali w betonie.
- [3] PN-EN 13509:2005 Techniki pomiarowe w ochronie katodowej.
- [4] PN-EN 13636:2006 Ochrona katodowa zakopanych zbiorników metalowych i związanych z nimi rurociągów.
- [5] M. Olejniczak, W. Sokólski: Odłącznik magnetyczny – krok w kierunku automatyzacji pomiaru potencjału, VIII Krajowa Konferencja „Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej”, SEP Jurata 2004, s. 81.
- [6] J. Číp, W. Sokólski: Automatizace měření v katodické ochraně, Konference OK’05, ATEKO Znojmo, Republika Czeska, 11-12 październik 2005.