



KOROZYMETRIA REZYSTANCYJNA
JAKO DOGODNY SPOSÓB OCENY SKUTECZNOŚCI
OCHRONY KATODOWEJ

ELECTRIC RESISTANCE CORROSIMETRY
AS A CONVENIENT WAY FOR ASSESSMENT
OF CATHODIC PROTECTION EFFECTIVENESS

Jezmar Jankowski, Wojciech Sokółski

SPZP CORRPOL Gdańsk

Słowa kluczowe: ochrona katodowa, monitorowanie korozji, korozymetria rezystancyjna
Keywords: cathodic protection, corrosion monitoring, electric resistance corrosimetry

Streszczenie

Opisano technikę korozymetrii rezystancyjnej i możliwości jej wykorzystania do monitorowania skuteczności ochrony katodowej. Zaprezentowano przykładowe wyniki 13-letnich pomiarów szybkości korozji chronionych katodowo rurociągów uzyskane na terenie jednej z polskich elektrowni. Przedstawiono nowe krajowe rozwiązania w zakresie korozymetrii rezystancyjnej.

Summary

The electric resistance corrosimetry technique and possibilities of its using for cathodic protection effectiveness monitoring have been described. As an example, the results of 13 years measurements of the corrosion rate of cathodically protected steel pipelines in one of the Polish power plants have been presented. The new domestic solutions in the scope of electric resistance corrosimetry have been presented.

1. Wprowadzenie

Elektrody symulujące, sondy korozyjne i czujniki korozymetryczne rezystancyjne znajdują w ostatnich latach coraz szersze zastosowanie jako precyzyjne i wiarygodne narzędzia do monitorowania skuteczności ochrony katodowej w zróżnicowanych warunkach środowiskowych. Odzwierciedleniem tego trendu może być rosnąca liczba publikacji zagranicznych (np. 1–4) i krajowych [5–9] poświęconych zagadnieniom monitorowania ochrony katodowej z wykorzystaniem różnego rodzaju tego rodzaju elementów. Ich wspólną cechą jest to, że posiadając zdefiniowane wymiary geometryczne i lokalizację w bezpośrednim sąsiedztwie chronionej konstrukcji, połączone są z nią za pomocą kontrolowanego złącza elektrycznego, co z jednej strony zapewnia analogiczne warunki eksploatacji, a z drugiej umożliwia wykonanie różnego rodzaju badań elektrochemicznych i elektrycznych jak na wydzielonej gołej powierzchni metalowej tej konstrukcji. Milczącym założeniem wszystkich tych technik jest to, że – wskutek połączenia elektrycznego elektrody z konstrukcją - zjawiska elektrochemiczne przebiegające na powierzchniach metalowych w kontakcie z otaczającym środowiskiem są identyczne.

Szczególną pozycję zajmują rezystancyjne czujniki korozymetryczne, które jako jedne z nielicznych pozwalają monitorować bezpośrednio ubytki korozyjne metalu w warunkach ochrony elektrochemicznej, a zatem kontrolować ilościowo szybkość korozji zabezpieczanych konstrukcji. Aktualny stan techniki korozymetrii rezystancyjnej został ujęty m.in. w opracowywanym raporcie NACE International [10], zaś niektóre zalecenia i uwarunkowania w normie [11]. W literaturze anglojęzycznej czujniki tego typu określane są najczęściej jako *Electrical Resistance Soil Corrosion Probes (ER SCP)*.

Współczesne normy europejskie PN-EN 12954 i PN-EN 13636 [12, 13] oraz międzynarodowa ISO 15589-1 [14] wyraźnie sugerują wykorzystanie technik korozymetrycznych w ocenie skuteczności ochrony katodowej. Normy te ustanawiają, że zadawalającym stopniem ochrony katodowej konstrukcji podziemnych i podwodnych jest ograniczenie ich szybkości korozji do wartości dopuszczalnej, którą przyjęto umownie jako mniejszą niż 0,01 mm/rok. Być może już w niedalekiej przyszłości użytkownicy instalacji ochrony katodowej będą zobligowani do wykazania, oprócz wykonania typowych pomiarów potencjału zabezpieczanej konstrukcji, iż osiągnięty stopień polaryzacji konstrukcji jest faktycznie wystarczający do obniżenia szybkości korozji poniżej dopuszczalnego poziomu, a możliwości takie zapewnia właśnie w dogodny sposób korozymetria rezystancyjna.

Ponieważ podstawowym celem ochrony katodowej jest zabezpieczenie przeciwkorozyjne podziemnych lub podwodnych konstrukcji metalowych, rola korozymetrii powoli staje się pierwszoplanowa. Wykorzystywane dotychczas różnego rodzaju kryteria ochrony katodowej, oparte na technikach pomiarów elektrycznych, które upowszechniły się ze względu na brak możliwości technicznych bezpośredniego śledzenia postępu procesu korozyjnego, będą ulegały stopniowo zanikowi i ustąpią miejsce metodom korozymetrycznym (obecnie technice rezystometrycznej).

2. Uwarunkowania techniki pomiarowej

W technice ochrony katodowej mogą być obecnie wykorzystywane zasadniczo dwie techniki monitorowania szybkości korozji:

- korozymetria kuponowa,
- korozymetria rezystancyjna.

Inne, bardziej nowoczesne techniki elektrochemiczne, jak np. spektroskopia impedancyjna, analiza harmoniczna, czy techniki szumowe – znajdują się jeszcze w fazie badań i nie mogą być stosowane rutynowo do kontroli szybkości korozji konstrukcji polaryzowanych w warunkach technicznych.

Zasada monitorowania skuteczności ochrony katodowej techniką korozymetryczną polega na ekspozycji w środowisku korozyjnym (ziemi, wodzie, betonie) próbki metalowej połączonej elektrycznie z chronioną katodowo konstrukcją (umieszczonej możliwie blisko chronionej katodowo powierzchni), a następnie po ustalonym czasie określenie ubytków masy tej próbki. Zamiast ważenia wygodniej jest określać zmniejszenie wymiarów próbki za pomocą czułych pomiarów elektrycznych. Ubytek korozyjny metalu wiąże się ze wzrostem rezystancji elektrycznej próbki, którą można mierzyć zdalnie bez konieczności wydobywania próbki ze środowiska korozyjnego. W celu wyeliminowania wpływu temperatury mierzy się najczęściej przyrost rezystancji elementu podlegającego korozji w stosunku do takiego samego elementu osłoniętego przed działaniem czynników korozyjnych. Przy znajomości geometrii próbki i założeniu korozji równomiernej zmierzony przyrost rezystancji jest jednoznacznie związany ze zmniejszeniem jej grubości. Dokonując pomiarów przyrostów rezystancji w określonych odstępach czasu, wyznacza się narastające ubytki korozyjne, a te z kolei można przeliczać na liniowe szybkości korozji (np. w $\mu\text{m}/\text{rok}$) sprawdzając w ten sposób, czy spełnione jest kinetyczne kryterium ochrony katodowej (0,01 mm/rok).

Pomimo prostej teorii w praktyce konstrukcja omawianych czujników korozymetrycznych jest znacznie bardziej skomplikowana, a zależności pomiędzy rezystancją a ubytkami korozyjnymi nieliniowe. Wynika to z samej konstrukcji czujnika, braku możliwości wykonania w jednakowy sposób połączeń elektrycznych do obu części czujnika – pomiarowej i wzorcowej. W efekcie, w zależności od konstrukcji czujnika, każdy z nich posiada własną charakterystykę, która przy precyzyjnych pomiarach (a z takimi mamy do czynienia przy ocenie szybkości korozji konstrukcji chronionej w warunkach ochrony katodowej) musi być uwzględniana. Niestety producenci typowych korozymetrów traktują omawiane zależności jako liniowe, tak więc do pomiarów precyzyjnych w ochronie katodowej celowe jest posługiwanie się odpowiednimi algorytmami obliczeniowymi.

Ogólne zasady stosowania czujników korozymetrycznych są analogiczne jak elektrod symulujących. W celu uzyskania miarodajnych wyników powinny być spełnione następujące warunki:

- elementy pomiarowe czujników powinny być wykonane z tego samego lub zbliżonego materiału, co zabezpieczana przed korozją konstrukcja, najczęściej stali węglowej konstrukcyjnej,
- sposób wykończenia powierzchni stali powinien odpowiadać monitorowanej konstrukcji,
- czujnik powinien być spolaryzowany do takiej samej wartości potencjału, jak chroniona katodowo konstrukcja,
- umieszczenie czujnika powinno w jak najmniejszym stopniu zmieniać warunki polaryzacji katodowej konstrukcji (pobór prądu, rozkład prądu i potencjału na powierzchni chronionej),
- cała powierzchnia czujnika ekspozowana na wpływy środowiska powinna być spolaryzowana możliwie równomiernie; ogranicza to kształt elementów pomiarowych do prostych geometrycznie, najczęściej płaskich powierzchni.

Spełnienie powyższych warunków nie powinno napotykać większych trudności w przypadku monitorowania skuteczności ochrony katodowej stalowych rurociągów i zbiorników umieszczonych w gruncie. Zakres zastosowania czujników szybkości korozji musi być jednak starannie dobrany. Wytypowane czujniki należy umieszczać przynajmniej w miejscach skrajnie zróżnicowanych (najbardziej zbliżonych i oddalonych od punktów drenażu instalacji ochrony katodowej), jak również w miejscach kolizji z innymi konstrukcjami podziemnymi, które mogłyby wpływać na obniżenie skuteczności ochrony. Jako zasadę przyjmuje się obecnie stosowanie czujników rezystancyjnych w takich warunkach i lokalizacjach, w których zawodzą klasyczne techniki pomiarowe, a więc przede wszystkim pomiary potencjału. Są to, na przykład, grunty o wysokiej rezystywności, miejsca ekranowania (np. w rurach osłonowych na rurociągach), jak również w strefach oddziaływania prądów błędzących oraz indukcji prądów przemiennych.

Jak już wspomniano należy oczekiwać rozwoju zastosowań techniki korozymetrycznej do oceny skuteczności ochrony katodowej. Istniejąca już dzisiaj możliwość wykonywania takich pomiarów zdalnie pozwoli na zastosowanie monitorowania nie tylko parametrów pracy instalacji ochrony katodowej, ale także skuteczności ochrony przeciwkorozyjnej.

3. Nowe opracowania

Prace nad rozwojem korozymetrii rezystancyjnej i jej zastosowań w technologii ochrony katodowej prowadzone są w SPZP CORRPOL od szeregu lat. Opanowana została wielkoseryjna produkcja czujników przemysłowych i ich wykorzystanie rośnie. Stale trwają badania zmierzające do udoskonalenia tej techniki pomiarowej (prace nad nowymi typami czujników, opracowaniem korozymetru do badań terenowych ochrony katodowej, zdalnymi pomiarami ubytków korozyjnych, zastosowaniem korozymetrii do stref wybuchowych).

W 2006 r. wdrożono do produkcji w SPZP CORRPOL nowy typoszereg czujników rezystancyjnych o płaskim elemencie pomiarowym w kształcie podwójnej pętli. Czujniki te posiadają w stosunku do poprzednich opracowań wydłużoną ścieżkę rezystancyjną, a zatem charakteryzują się większą dokładnością, zwłaszcza przy grubszych elementach pomiarowych. Dostępne są czujniki o powierzchniach elementu stalowego od 1 do 10 cm² i grubościach od 0,5 do 1,5 mm, co sprawia, że można je dobierać w szerszym zakresie w zależności od rodzaju zabezpieczanej konstrukcji, przewidywanej agresywności środowiska korozyjnego i założonego czasu pracy. Widok przykładowych czujników przedstawia rys. 1.

SPZP CORRPOL pracuje również nad opracowaniem i wdrożeniem własnego przyrządu pomiarowego dostosowanego do pomiarów szybkości korozji w zakresie umożliwiającym ocenę skuteczności ochrony katodowej. Obecnie dostępny jest prosty i ekonomiczny korozymetr KR-106 do pomiarów ręcznych w formie przystawki do multimetru (patrz rys. 2).

Od 2006 r. za pośrednictwem sieci komputerowej dla użytkowników korozymetrii rezystancyjnej udostępniony jest system CORRPOL-ER [9], który stanowi internetową bazę danych do gromadzenia i przetwarzania danych z pomiarów rezystancyjnych szybkości korozji. System ten pozwala w sposób przejrzysty zorganizowany logować nowych użytkowników i rejestrować czujniki korozyjne, wprowadzać do bazy sukcesywnie pozyskiwane wyniki pomiarów rezystancyjnych, przeliczać je automatycznie na ubytki metalu i szybkość korozji, jak również prezentować je w postaci tabelarycznej i graficznej łącznie z wydrukiem raportu.



Rys. 1. Czujniki korozymetryczne rezystancyjne typu ER-10/1,0-FC prod. SPZP CORRPOL



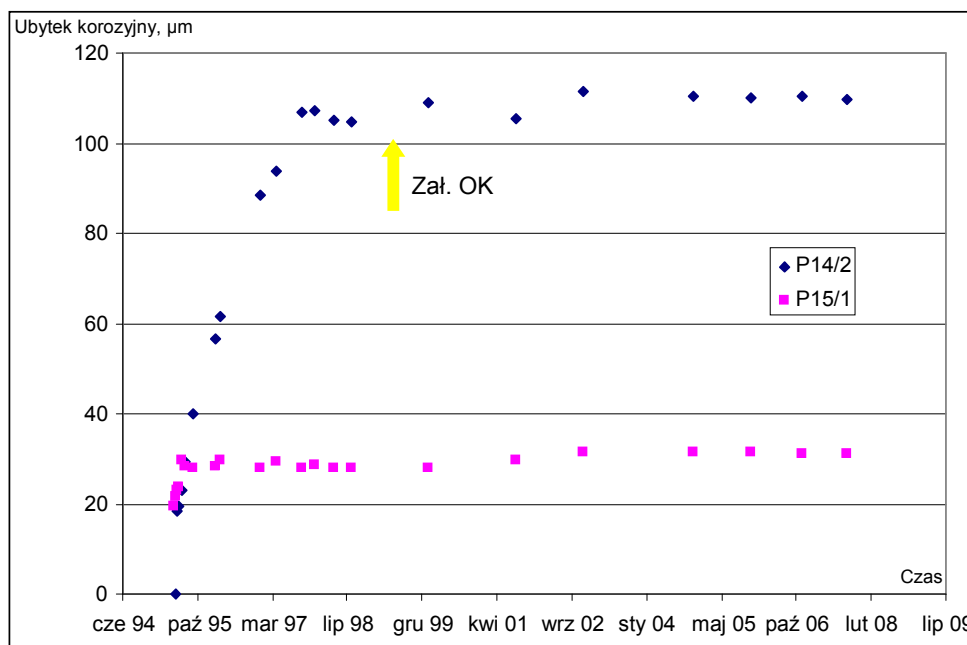
Rys. 2. Przenośny korozymetr KR-106 w formie przystawki do multimetru

4. Przykłady stosowania

W kraju korozymetria rezystancyjna jest stosowana z powodzeniem do monitorowania skuteczności ochrony katodowej już od 1995 r. Początkowo bazowano na aparaturze i czujnikach produkcji zagranicznej, a od 2002 r. SPZP CORRPOL uruchomił produkcję własnych czujników rezystancyjnych, których obecnie jest wytwarzanych kilka typów do różnych zastosowań: do gruntu i betonu, do środowisk wodnych, do instalacji wysokociśnieniowych.

Do chwili obecnej wyprodukowano ogółem kilkaset czujników, z których korzysta głównie gazownictwo (Gaz-System Gdańsk, Gaz-System Wrocław), przetwórstwo ropy i gazu (PKN ORLEN Płock), przemysł chemiczny (ZCh Police) oraz energetyka (Elektrownia Opolo, EC Wybrzeże). Kilkanaście czujników znalazło nabywców zagranicznych (KPTech Ostrava, JEKU Praha).

Przykładowe wyniki pomiarów rezystancyjnych dla czujników zamontowanych na rurociągach podziemnych jednej z krajowych elektrowni przedstawiono w formie wykresu na rys. 3 (zastosowano tam rozbudowany system ochrony katodowej całej infrastruktury podziemnej). Prześledzenie tych danych zarejestrowanych w okresie od maja 1995 do lutego 2008 r. daje obraz przydatności omawianej techniki pomiarowej.



Rys. 3. Wyniki monitorowania korozji rurociągów chronionych katodowo techniką rezystometryczną.

Czujnik umiejscowiony w punkcie P15/1 mierzył ubytki korozyjne stali na rurociągu objętym ochroną katodową od maja 1995 r. Jak wynika z uzyskanych danych, zmierzony ubytek korozyjny od kilkunastu lat utrzymuje się na stałym poziomie (ok. 30 µm) wskazując na pełną

skuteczność utrzymywanej ochrony (oznacza to, że szybkość korozji jest bliska zeru). Czujnik w punkcie P14/2 wskazywał początkowo systematyczne ubytki korozyjne (ok. 110 μm w ciągu 2 lat, tj. szybkość korozji $>50 \mu\text{m}/\text{rok}$) na rurociągu niechronionym przed korozją, po czym został on włączony w system ochrony katodowej. Od tego czasu (wrzesień 1997) praktycznie nie zaobserwowano na nim zwiększania ubytków korozyjnych (w tym przypadku również za pomocą pomiarów rezystometrycznych wykazano bliską zeru szybkość korozji chronionego katodowo rurociągu).

5. Podsumowanie

Prowadzone przez SPZP CORRPOL od kilkunastu lat badania i obserwacje oraz zdobyte doświadczenia w zakresie korozymetrii rezystancyjnej w pełni potwierdzają wysoką użyteczność tej techniki do monitorowania skuteczności ochrony katodowej. Opinię tę wyrażają nie tylko zagraniczne doniesienia literaturowe, czy też producenci i dostawcy tej techniki, ale nade wszystko użytkownicy stosujący ją na swoich obiektach.

Z satysfakcją można stwierdzić, że w SPZP CORRPOL opanowane zostały nie tylko tajniki tej techniki, ale także wdrożona została produkcja czujników i przyrządów, które gwarantują możliwość szerokiego upowszechnienia tej metody w Polsce.

Literatura

- [1] Khan N.A.: *Using Coupons and ER Soil Corrosion Probes in Applying Pipeline CP Criteria*, „Materials Performance”, vol. 46, no. 4, 2007, pp. 26–30.
- [2] Welsh R.A., Benefield J.: *Environmental Protection Through Automated Remote Monitoring of Fuel Storage Tank Bottoms Using Electrical Resistance Probes*, „Materials Performance”, vol. 45, no. 3, 2006, pp. 38–40.
- [3] Khan N.A.: *Using Electrical Resistance Soil Corrosion Probes to Determine Cathodic Protection Effectiveness in High-Resistivity Soils*, „Materials Performance”, vol. 43, no. 6, 2004, pp. 20–25.
- [4] Fitzgerald J.H., Nichols P.R., Niebling R.: *Measuring the Effectiveness of Cathodic Protection on the Exterior Bottoms of New Aboveground Asphalt Storage Tanks Using Corrosion Monitoring Probes*, CORROSION/99, Paper no. 519, Houston, NACE, 1999.
- [5] Jankowski J., Sokólski W.: *Sonda korozyjna – stara koncepcja, nowe wykonania*, Materiały VIII Krajowej Konferencji „Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej”, Jurata 2004, s. 99–107.
- [6] Jankowski J., Szukalski J.: *Zastosowanie korozymetrii rezystancyjnej do pomiarów skuteczności ochrony katodowej konstrukcji podziemnych*, Materiały IV Krajowej Konferencji „Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej”, Jurata 1996, s. 51–58.
- [7] Jankowski J., Sokólski W.: *Monitorowanie skuteczności ochrony katodowej techniką rezystometryczną*, „Ochrona przed Korozją”, 46, nr 8, 2003, s. 218–221.
- [8] Jankowski J.: *Korozymetria jako wiarygodna technika pomiaru skuteczności ochrony katodowej*, Materiały VIII Krajowej Konferencji „Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej”, Jurata 2004, s. 29–39.
- [9] Jankowski J., Sokólski W.: *System „CORRPOL-ER” – internetowa baza danych rezystometrycznych wraz z kalkulatorem ubytków korozyjnych*, Materiały IX Krajowej Konferencji „Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej”, Zakopane 2006, s. 177–184.
- [10] NACE Technical Committee TG-321 Proposed „Report on Soil Corrosion Probes”, Houston 2006.
- [11] NACE Recommended Practice RP-0104-2004 „The Use of Coupons for Cathodic Protection Monitoring Applications.

- [12] PN-EN 12954:2004 *Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruntach lub w wodach – Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów.*
- [13] PN-EN 13636:2006 *Ochrona katodowa metalowych zbiorników podziemnych i związanych z nimi rurociągów.*
- [14] ISO 15589-1:2003 *Petroleum and natural gas industries – Cathodic protection of pipeline transportation systems – Part 1: On-land pipelines.*