

Norma EN 12954 – nowe kryterium ochrony katodowej?

Od kilkudziesięciu lat jako jedyne skuteczne zabezpieczenie przeciwkorozyjne metalowych konstrukcji podziemnych uważa się elektrochemiczną ochronę katodową. Wykorzystuje ona niskonapięciowy prąd stały do eliminowania korozji lokalnej i ogólnej na obiektach eksploatowanych w ziemi i w wodach naturalnych.

Zabezpieczane powierzchnie nie są widoczne i stopień ich ochrony przeciwkorozyjnej nie może być obserwowany gołym okiem, nie ma także sposobu takiej oceny na całej chronionej powierzchni. Dlatego od szeregu lat w technologii tej stosuje się jako kryterium ochrony wartość potencjału obiektu mierzoną względem pomiarowej elektrody odniesienia umieszczonej zazwyczaj w pobliżu zabezpieczanej powierzchni metalowej. Jako kryterium stosuje się więc pewną wartość potencjału konstrukcji stalowej (zazwyczaj $-0,85$ V wzgl. elektrody siarczanomiedziowej) i obiekt jest chroniony, jeśli zmierzony potencjał konstrukcji jest bardziej ujemny od tej wartości.

Niestety ta z pozoru prosta czynność, jaką jest pomiar napięcia prądu stałego, w rzeczywistych warunkach terenowych staje się bardzo uciążliwa. Przede wszystkim odczytywana wartość z przyrządów zależy od miejsca lokalizacji elektrody pomiarowej, ponieważ elektroda ta znajduje się w polu elektrycznym wywołanym przepływającym prądem ochronnym. Aby uniknąć tego rodzaju niejednoznaczności opracowanych zostało szereg technik pomiarowych, które minimalizują niebezpieczeństwo popełnienia błędów w ocenie skuteczności ochrony katodowej. Jednak stosowanie ich wymaga bardzo specjalistycznej wiedzy, a także dużej odpowiedzialności personelu wykonującego pomiary w terenie.

Na tym tle zapis w nowej normie dot. ochrony katodowej rurociągów PN-EN 12954 w rozdziale pt. Kryteria ochrony katodowej - „Potencjał metalu, przy którym szybkość korozji jest $< 0,01$ mm na rok, jest potencjałem ochrony. Taka szybkość korozji jest dostatecznie mała, żeby nie dochodziło do uszkodzeń korozyjnych”, prezentuje nieco inne podejście do oceny skuteczności ochrony katodowej. Można z niego wywnioskować, że jeśli w efekcie działania systemu ochrony katodowej szybkość korozji obiektu zostanie zahamowana poniżej uzasadnionej technicznie granicy - ochronę przeciwkorozyjną będzie można uznać za spełniającą wymagania normy.

W pracy omówiono powyższy punkt widzenia wynikający z omawianej Normy Europejskiej na tle poglądów ogólnych związanych z zagadnieniami współczesnych zabezpieczeń przeciwkorozyjnych, a także możliwości technicznych pomiarów korozyjnych, w których jako kryterium ochrony katodowej mogłaby być wykorzystywana zmierzona w warunkach rzeczywistych szybkość korozji chronionego obiektu. Wskazano na techniczne możliwości postępowania się korozymetrią kuponową i rezystancyjną w ochronie katodowej. Podano przykłady wykorzystania nowego podejścia w zastosowaniach technicznych. Omówiono zasadnicze zalety takiego kryterium ochrony oraz perspektywy szerokiego zastosowania.

Standard EN 12954 - a new cathodic protection criterion?

For many years electrochemical cathodic protection has been known to be the only effective anticorrosion protection method of underground metal structures. It utilises a low voltage DC current for elimination of local and general corrosion on objects operated in the ground and in natural waters.

Protection of surfaces is not visible and the degree of anticorrosion protection cannot be observed with the naked eye; also there is no method of such evaluation on the whole protected surface. For a number of years in this technology the object potential value has been used as protection criterion, measured versus a reference electrode, usually placed near the protected metal surface. Hence, some steel construction potential value is used (usually -0.85 V vs. the copper sulphate electrode) and the object is protected if the measured structure potential is more negative than this value.

Unfortunately, this what appears to be a simple operation of measuring a DC voltage, in real field conditions is very troublesome. First of all, the value read from measuring devices depends on the location of measuring electrode, as the electrode is placed in an electric field generated by the flowing protective current. In order to avoid such an ambiguity a number of techniques have been elaborated, minimising the danger of error in evaluation of cathodic protection effectiveness. However, their application requires very specialist knowledge, and also great responsibility of personnel performing field measurements.

Hence, the entry in new standard PN-EN 12954 concerning cathodic protection of pipelines in the volume entitled Cathodic Protection Criteria - „The metal to electrolyte potential at which the corrosion rate is < 0.01 mm per year is the protection potential. This a corrosion rate is sufficiently low so that during the design life time corrosion damage cannot occur”, presents a somewhat different approach to effectiveness of cathodic protection. One may conclude from it that if in the effect of functioning of a cathodic protection system the corrosion rate of an object is hindered below a technically justified limit - anticorrosion protection can be assumed to fulfil requirements of the standard.

In the paper the above point of view resulting from the mentioned European Standard has been discussed. It has been compared with general views connected with modern anticorrosion problems. Also technical possibilities of corrosion measurements have been discussed in which the corrosion rate of protected object measured in real conditions could be used as a cathodic protection criterion. Technical possibilities have been indicated of using coupon and resistance corrosion measurement in cathodic protection. Examples have been given of using the new approach in technical applications. Main advantages have been described of such a protection criterion and perspectives of its wide application.

Wprowadzenie

Ochrona katodowa jest jedną z nielicznych metod ochrony przeciwkorozyjnej, której działanie związane jest z bezpośrednim hamującym oddziaływaniem na przebieg elektrochemicznych procesów korozyjnych. W technologii ochrony przeciwkorozyjnej zalicza się ją do tzw. metod czynnych, w odróżnieniu od metod biernych, których zadaniem jest tworzenie bariery pomiędzy chronionym metalem a środowiskiem korozyjnym.

Procesem odpowiedzialnym za ograniczenie szybkości procesów korozyjnych jest w ochronie katodowej zjawisko polaryzacji elektrochemicznej. Związane jest ono ze zmianą potencjału na granicy faz metal/środowisko elektrolityczne pod wpływem przepływającego przez tę granicę stałego prądu elektrycznego. Szybkość procesów korozyjnych, a także ich rodzaj, zależą od wielkości potencjału. Zależność ta jest bardzo złożona.

Na podstawie licznych badań i obserwacji w warunkach technicznych ustalono, że procesy korozyjne w warunkach naturalnych mogą być całkowicie zahamowane, jeśli wartość potencjału zabezpieczanego obiektu będzie bardziej ujemna od określonej wartości potencjału. Wartość tę przyjęto jako kryterium ochrony katodowej.

Posługiwanie się kryterium ochrony jest w przypadku omawianej technologii niezbędne, ponieważ chroniona powierzchnia metalowa nie jest widoczna i zazwyczaj nie jest także dostępna i w takiej sytuacji trudno byłoby stosować techniki pomiarowe, które wykorzystuje się do oceny skuteczności zabezpieczeń przeciwkorozyjnych w warunkach atmosferycznych. W odróżnieniu także od innych metod ochrony przeciwkorozyjnej stosuje się w przypadku ochrony katodowej pojedyncze kryterium - określoną wartość potencjału, która powinna być osiągnięta na całej zabezpieczanej powierzchni. Na przykład w przypadku powłok ochronnych do oceny ich własności ochronnych wykorzystywanych jest cały szereg wskaźników, począwszy od oceny aplikacji powłoki, tj. rodzaju powłoki, jej grubości, przyczepności do podłoża itd., a na informacjach o odporności na procesy starzenia skończywszy.

Chcąc zatem zapewnić zahamowanie procesów korozyjnych na konstrukcji podziemnej należy ją spolaryzować w kierunku katodowym za pomocą stałego prądu elektrycznego o takim natężeniu prądu, który zapewni na całej zabezpieczanej powierzchni przesunięcie potencjału w kierunku ujemnym do wartości co najmniej odpowiadającej kryterium ochrony. Ponieważ rozptył prądu elektrycznego w środowisku korozyjnym zależy od szeregu czynników i praw rządzących przepływem prądu w środowisku elektrolitycznym, podstawowym problemem inżynierskim w technologii ochrony katodowej jest takie rozmieszczenie elektrod doprowadzających prąd elektryczny, aby rozkład natężenia prądu na całej zabez-

pieczanej powierzchni był możliwie równomierny.

Niestety pomiar potencjału na chronionej powierzchni konstrukcji podziemnej nie jest wcale taki prosty jak w warunkach laboratoryjnych. Występowanie na powierzchni ziemi omowych spadków napięć powoduje, że zmierzona wartość potencjału zależy od położenia elektrody odniesienia względem chronionej powierzchni konstrukcji podziemnej. Oznacza to, że pomiar ten nie jest jednoznaczny, co powoduje, że do jego interpretacji niezbędne są specjalne procedury i specjalistyczna wiedza. Fakt ten rodzi szereg trudności w praktyce.

Nowa norma europejska EN 12954, dotycząca ochrony katodowej konstrukcji podziemnych i zanurzonych w wodzie, wskazuje także potencjał konstrukcji jako kryterium ochrony, ale także określa szybkość korozyjną równą 0,01 mm/rok jako wartość, przy której można uznać, że zabezpieczany przed korozją obiekt nie jest narażony na uszkodzenia korozyjne. Zatem wskazówka jest jednoznaczna - szybkość korozyjnej jest miarą wg której należy oceniać stopień ochrony przeciwkorozyjnej. Pozostaje do rozwiązania tylko jeden problem - jak zmierzyć szybkość korozyjną w warunkach polaryzacji katodowej?

Potencjałowe kryterium ochrony katodowej - krytyka

Analiza doniesień literaturowych dotyczących potencjałowych kryteriów ochrony katodowej wskazuje, że pomimo znacznego rozwoju wiedzy, jaki nastąpił w ostatnich kilkudziesięciu latach w zakresie kryteriów ochrony katodowej, nadal wiele zagadnień pozostaje nierozwiązanych i nieuporządkowanych. Stosowane kryteria potencjałowe są między sobą niespójne, zaś niektóre z nich (przyjęte intuicyjnie) są w sprzeczności z podstawami współczesnej nauki. Ich dalsze stosowanie budzi coraz większe wątpliwości.

Podstawowym mankamentem obecnie stosowanych kryteriów jest to, że potencjał - jako wielkość termodynamiczna - nie wnosi bezpośredniej informacji o szybkości procesu korozyjnego. Ponadto pomiar potencjału realizowany w warunkach terenowych, pomimo pozornej prostoty, może być obarczony znacznymi błędami, z których na czoło wysuwa się nieuwzględnienie spadku napięcia IR. Z uzyskanych danych wynika, że potencjał pełnej ochrony katodowej zależy od układu korozyjnego i jest różnicowany w zależności od zastosowanych materiałów oraz środowisk korozyjnych. Wartość potencjału jako kryterium ochrony katodowej może być wykorzystywana jedynie dla dobrze znanego układu korozyjnego.

Z analizy przedstawionego materiału jednoznacznie wynika potrzeba opracowania nowych kryteriów umożliwiających rzeczy-

wistą kontrolę szybkości procesów elektrodowych przebiegających na katodowo polaryzowanych konstrukcjach stalowych.

Trudności z posługiwaniem się potencjałowym kryterium ochrony katodowej powodują ponadto, że ocena skuteczności ochrony katodowej może być wykonywana i jednoznacznie interpretowana przez wąskie grono specjalistów. Wykonanie pomiarów potencjału powierzchni może być wyłącznie personelowi po gruntownym przeszkoleniu i zaznajomieniu z tajnikami tego rodzaju pomiarów w terenie. Stanowi to istotne ograniczenie w przypadku szerszego zakresu wykorzystywania ochrony katodowej w technice.

Norma Europejska EN 12954 - nowe podejście i stare kryterium

Ustalenie właściwego kryterium ochrony katodowej stanowi zagadnienie kluczowe dla tej technologii zabezpieczeń przeciwkorozyjnych. Przyjęcie określonego kryterium ochrony katodowej jest podstawowym elementem każdego projektu tego typu zabezpieczenia i ma decydujący wpływ na jego eksploatację. Oprócz znaczenia technicznego, tj. wymogu spełnienia pożądanego stopnia zahamowania procesów korozyjnych, ma również bardzo istotny wpływ na jego stronę ekonomiczną. Od prawidłowego sformułowania kryterium zależy w głównej mierze efektywność ochrony katodowej, gdyż na tej podstawie ustalane są parametry pracy instalacji ochronnych.

Właściwy stopień spolaryzowania konstrukcji stalowej rzutuje zarówno na skuteczność uzyskanego zabezpieczenia, jak i na jego opłacalność. Zbyt niska polaryzacja katodowa wiąże się bowiem z tzw. niedochronieniem konstrukcji, natomiast zbyt wysoka oprócz niepożądanych skutków ubocznych, jak np. nawodorowanie stali lub odwarstwianie powłok ochronnych, pociąga za sobą nadmiernie wysokie wydatki na energię elektryczną, przewymiarowane stacje ochrony katodowej, anody, kable elektryczne itp.

Nowa Norma Europejska EN 12954 „Ochrona katodowa zakopanych lub zanurzonych konstrukcji metalowych - Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów” uwzględniła w wystarczającym stopniu wszystkie wyżej przedstawione uwarunkowania. Jako główne kryterium ochrony katodowej w normie tej przyjęto „potencjał konstrukcji”, którego wartość dla różnych materiałów i warunków zamieszczona została w szerokiej tabeli. Jednak w samej definicji kryterium ochrony, w normie w rozdziale pt. „Kryteria ochrony katodowej” znalazł się znaczący zapis: „Potencjał metalu, przy którym szybkość korozyjnej jest < 0,01 mm na rok, jest potencjałem ochrony. Taka szybkość korozyjnej jest dostatecznie mała, żeby nie dochodziło do uszkodzeń korozyjnych.” Zapis ten prezentuje nieco inne podejście do oceny sku-

teczności ochrony katodowej. Można z niego wywnioskować, że jeśli w efekcie działania systemu ochrony katodowej szybkość korozji obiektu zostanie zahamowana poniżej uzasadnionej technicznie granicy - ochronę przeciwkorozyjną będzie można uznać za spełniającą wymagania normy. Jak zatem z tego widać nowa norma wychodzi naprzeciw wcześniej zgłaszanym postulatam - poszukiwania kryterium ochrony katodowej, które związane będzie w sposób jednoznaczny z kinetyką procesów korozyjnych.

Jako kryterium ochrony przed korozją przyjęto więc dla konstrukcji podziemnych i podwodnych szybkość korozji równą 0,01 mm/rok, tj. 10 μm/rok, a więc w granicach ustalonych podczas licznych prac nad potencjałowymi kryteriami ochrony. Rodzi się więc w oczywisty sposób koncepcja oceny skuteczności ochrony katodowej na podstawie bezpośredniego pomiaru szybkości korozji.

Korozymetria rezystancyjna – terenowy pomiar szybkość korozji

Monitorowanie korozji z wykorzystaniem pomiarów rezystancji elektrycznej stanowi jedną z najszerzej stosowanych metod określania szybkości korozji metali bez potrzeby usuwania próbek ze środowiska korozyjnego. Metoda ta jest dobrze udokumentowana [1-4] i jest w niektórych krajach przedmiotem normalizacji [5]. Technika ta jest podobna do grawimetrycznej, z tym, że zamiast ważenia próbek w celu określenia ubytków korozyjnych, oblicza się je na podstawie wyznaczonych przyrostów rezystancji elektrycznej. W przeciwieństwie do metody wagowej, pomiary rezystancji można prowadzić dowolnie często, co praktycznie zapewnia możliwość monitorowania korozji w sposób ciągły. Rezystancja korodującej próbki (elementu pomiarowego czujnika) jest wyrażona wzorem:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

gdzie:

R - rezystancja elektryczna,

ρ - rezystywność metalu,

L - długość elementu pomiarowego,

S - pole przekroju poprzecznego.

W wyniku procesu korozji następuje stopniowe zmniejszanie przekroju próbki, natomiast jej długość pozostaje nie zmieniona. Zgodnie z podaną wyżej zależnością, powoduje to wzrost rezystancji próbki w miarę upływu czasu ekspozycji. Śledzenie wielkości zmian rezystancji w czasie



Czujniki wykorzystywane w korozymetrii rezystancyjnej do pomiaru szybkości korozji podziemnych konstrukcji stalowych - nowa metoda oceny skuteczności ochrony katodowej

umożliwia wnioskowanie o szybkości korozji. Należy zwrócić uwagę, że pojedynczy pomiar rezystancji czujnika nie określa jednoznacznie szybkości korozji. Jedynie z różnicy dwóch kolejnych odczytów można określić ubytek metalu i przeliczyć go na średnią szybkość korozji w danym okresie.

W celu kompensacji wpływu temperatury na rezystancję korodującej próbki metalowej, mierzy się stosunek rezystancji próbki ekspozowanej na wpływy środowiska do rezystancji umieszczonej w obudowie czujnika tzw. próbki odniesienia, która pozostaje w tej samej temperaturze, ale nie ulega korozji (jest dokładnie odizolowana od środowiska korozyjnego). Mierzone zmiany rezystancji są bardzo małe, rzędu $10^{-5} - 10^{-4} \Omega$ i wymagają stosowania czułych metod pomiarowych. Najczęściej stosuje się metody mostkowe z wykorzystaniem prądu zmiennego.

Metoda korozymetrii rezystancyjnej jako jedna z nielicznych pozwala oceniać ilościowo skuteczność ochrony elektrochemicznej. Np. w celu kontroli skuteczności ochrony katodowej rurociągów podziemnych umieszcza się w ich pobliżu specjalnie przystosowane do środowiska gruntu czujniki rezystancyjne, które zwiera się elektrycznie z konstrukcją chronioną i wprowadza końcówki kabli z gniazdami pomiarowymi do słupków kontrolno-pomiarowych. Systematycznie dokonywane przenośnym miernikiem pomiary rezystancji umożliwiają ocenę stopnia zabezpieczenia konstrukcji przed korozją.

Konieczne należy wspomnieć także o tym, że w dłuższych okresach czasu do podobnych rezultatów można dojść przy

stosowaniu tzw. korozymetrii kuponowej, w której po określonym czasie dokonuje się oceny szybkości korozji na podstawie ubytków masy próbek. Technika ta doskonale nadaje się do celów porównawczych i powinna być stosowana we wszystkich miejscach, co do których nie ma pewności, że innego rodzaju kryteria będą mogły być jednoznacznie zinterpretowane.

Ocena skuteczności ochrony katodowej za pomocą korozymetrii rezystancyjnej znalazła zastosowanie praktyczne w instalacjach przemysłowych. Przegląd opisanych w literaturze zastosowań oraz wyniki przedstawione zostały w [6].

Podsumowanie

Norma Europejska EN 12954, poprzez nowatorskie zdefiniowanie kryterium ochrony katodowej, otworzyła nowe możliwości oceny skuteczności zabezpieczeń przeciwkorozyjnych realizowanych za pomocą tej technologii. Stwierdzenie, że ochrona przed korozją jest osiągnięta, jeśli szybkość korozji zmniejszona została poniżej wartości 0,01 mm/rok, pozwala na wykorzystanie techniki bezpośredniego pomiaru szybkości korozji jako kryterium poprawnego działania instalacji ochrony katodowej.

Dotychczasowe doświadczenia wykazały, że obecnie jedyną dobrą metodą, którą można wykorzystać do powyższego celu jest korozymetria rezystancyjna. Uzyskane rezultaty na obiektach przemysłowych całkowicie potwierdziły przydatność tego rozwiązania.

Takie podejście posiada zasadniczą zaletę:

• zmierzona za pomocą odpowiednio wzorcowanej aparatury wielkość jednoznacznie określa ubytek materiału w jednostce czasu i jest automatycznie przeliczana na szybkość korozji - nie ma żadnej niejednoznaczności w interpretacji wyniku, badanie wykonywane jest automatycznie przez przyrząd pomiarowy i może być powierzona niewykwalifikowanej obsłudze.

Interpretacja wyniku jest także jednoznaczna - jeśli wynik jest mniejszy od 0,01 mm/rok oznacza, że ochrona katodowa spełnia kryteria ochrony i działa prawidłowo.

Do wad tej techniki należy zaliczyć:

- długi okres umożliwiający określenie ubytku korozyjnego (np. miesiąc),
- potrzebą stosowania specjalnego, dość drogiego przyrządu pomiarowego.

Pozostałe wady są typowe dla elektrod symulujących, które stosuje się do prawidłowych pomiarów potencjałów konstrukcji podziemnych celem wyeliminowania szkodliwego spadku napięcia IR. Są one związane z odmiennymi warunkami pracy takich elektrod i odkrytych powierzchni chronionego obiektu.

Inne, znane techniki określania szybkości korozji, głównie w warunkach laboratoryjnych nie nadają się jeszcze do wykorzystania w instalacjach przemysłowych. Dotyczy to przede wszystkim metod elektrochemicznych, takich jak impedancja elektrodowa, analiza/synteza harmoniczna czy techniki szumowe, które nie doczekały się jeszcze jednoznacznej oceny ich przydatności w warunkach technicznych.

W ślad za możliwościami, które stworzyła obecnie norma EN 12954, należy oczekiwać wzrostu zainteresowania techniką korozymetrii w zastosowaniu do przemysłowych

obiektów stalowych eksploatowanych w ziemi i konstrukcji stalowych zanurzonych w wodzie. Nie ulega wątpliwości, że technika ta znajdzie zastosowanie do oceny skuteczności ochrony katodowej, przynajmniej w miejscach o szczególnym zagrożeniu korozyjnym.

Literatura

- [1]. Freedman, R. C. Canapary: „Corrosion Monitoring by the Electrical Resistance Method”, Oil in Canada, August 24, 1959.
- [2]. Cooper M, A: „Sensing Probes and Instruments for Electrochemical and Electrical Resistance Corrosion Monitoring”, ASTM STP 908, ASTM, 237-250.
- [3]. NACE Publication 3D170: „Electrical and Electrochemical Methods for Corrosion Rates” (1984 revision).
- [4]. Corrosion Monitoring Primer, Rohrbach Cosasco Systems, Santa Fe Springs, CA, 1990, Edition 4.
- [5]. ASTM Designation: G 96-90 Standard Guide for On-Line Monitoring of Corrosion in Plant Equipment (Electrical and Electrochemical Methods).
- [6]. J. Jankowski, W. Sokólski: Konferencja „Nowoczesne metody monitorowania...”, Jurata 2003.

Informacje o Autorze

Dr inż. Wojciech Sokólski jest absolwentem Wydziału Chemicznego Politechniki Gdańskiej specjalizacji „Korozja i ochrona metali”. W latach 1970-2001 pracownik naukowo-badawczy i nauczyciel akademicki w Zakładzie, a później w Katedrze Technologii Zabezpieczeń Przeciwkorozyjnych PG. Od 1994 r. kieruje Zakładem Korozji Morskiej w Instytucie Morskim w Gdańsku a od 2002 jest także Dyrektorem ds. Techniki i Rozwoju SPZP Corrpól w Gdańsku. Jest dyplomowanym inżynierem specjalistą w dziedzinie „Ochrona elektrochemiczna przed korozją” oraz rzeczoznawcą SITPChem w specjalizacji „Korozja w przemyśle chemicznym”. Od 1972 jest członkiem, a od 1994 r. przewodniczącym Polskiego Komitetu Elektrochemicznej Ochrony przed Korozją przy Zarządzie Głównym SEP. Redaktor działowy „Ochrony przed Korozją”. Członek normalizacyjnego Komitetu Technicznego nr 106 i 290.

Autor licznych prac naukowych, patentów, opracowań dla przemysłu i wdrożeń. Członek towarzystw korozyjnych polskich i zagranicznych.

Specjalizacja: ochrona katodowa, korozja elektrolityczna, badania laboratoryjne, pomiary terenowe, ochrona przed prądami błądzącymi.

e-mail: wsok@im.gda.pl, wsok@corrpól.pl

Adres do korespondencji:

SPZP Corrpól, ul. Elbląska 133A,
80-718 GDAŃSK

O ochronie katodowej publikowaliśmy:

Stopień szczelności powłoki a ochrona katodowa podziemnego rurociągu, cz. I - 12/2001, s. 329, cz. II - 2/2002, s. 3

Obliczenia elektryczne anod kablowych w ochronie katodowej - 6/2001, s. 143

Ochrona elektrochemiczna. Ocena aktualnego stanu na przełomie wieku. cz.I - 1/2001, s. 9, cz.II - 2/2001, s. 31

Ochrona katodowa rurociągów podziemnych. Nowe problemy w strefach oddziaływania prądów błądzących - 8/2000, s. 199

Proces normalizacji technologii ochrony elektrochemicznej w Europie i w Polsce - 3/2000, s. 64

Orientacyjna ocena stanu tramwajowej sieci szynowej jako źródła prądów błądzących - 8/1999, s. 232

Układy anodowe w ochronie katodowej zakopanych konstrukcji stalowych - 8/1999, s. 198

Charakterystyka eksploatacyjna systemu i urządzeń elektrochemicznej ochrony przed korozją śruby napędowej statku z jednoczesnym zabezpieczeniem przed korozją elektrolityczną i elektroerozją w łożyskach linii wału napędowego - 3/1999, s. 42

Próby zastosowania pomiarów składowych harmonicznych do kontroli szybkości korozji stali polaryzowanej katodowo - 2/1999, s. 42

Zainteresowanych w/w artykułami informujemy, że archiwalne egzemplarze „Ochrony przed Korozją” można zamówić w Zakładzie Kolportażu Wydawnictwa SIGMA-NOT, 00-950 Warszawa, skr. poczt. 1004, tel.: (0-22) 840 30 86, fax: (022) 840 35 89 na rachunek lub za zaliczeniem pocztowym.