Ochrona katodowa stali w betonie w świetle norm międzynarodowych

Dr inż. Wojciech Sokólski, SPZP CORRPOL, Gdańsk

1. Wprowadzenie

Ochrona katodowa, technologia zabezpieczania przeciwkorozyjnego stali w kontakcie ze środowiskiem elektrolitycznym, znana w zastosowaniach do konstrukcji podziemnych i zanurzonych w wodzie (rurociągów, zbiorników, konstrukcji hydrotechnicznych) od około 100 lat, a w odniesieniu do stali w konstrukcjach żelbetowych od lat około 50, ciągle uchodzi za technikę nowoczesną i nowatorską. Aby zrealizować ochronę katodową należy w sposób zamierzony wymusić przepływ stałego prądu elektrycznego od strony środowiska korozyjnego w kierunku zabezpieczanej powierzchni stalowej. Prąd wywołuje wtedy tzw. polaryzację katodową i przeciwdziała procesom korozyjnym. Do realizacji tego celu w tym samym środowisku elektrolitycznym trzeba umieścić elektrodę (anodę) celem wytworzenia pomiędzy nią a chronioną powierzchnią stalową pola elektrycznego, którego skutkiem będzie przepływ prądu od anody do chronionej powierzchni stalowej (katody). Wykorzystuje się do tego celu dwa zasadnicze sposoby: bezpośrednie połączenie zabezpieczanego obiektu stalowego z anodą wykonaną z metalu o niższym w danym środowisku korozyjnym potencjale elektrochemicznym od stali, w wyniku czego powstaje ogniwo galwaniczne i płynie pomiędzy elektrodami prąd elektryczny, albo podłączenie do umieszczonej w środowisku korozyjnym anody zewnętrznego niskonapięciowego źródła prądu stałego, np. prostownika. Obie techniki są w zasadzie równocenne i ich wybór uzależniony jest każdorazowo od indywidualnych warunków dla poszczególnych obiektów – zależy w największej mierze od przewodnictwa elektrolitycznego środowiska korozyjnego, ale również od kształtu i warunków eksploatacji zabezpieczanej konstrukcji.

Pomimo jednolitej zasady działania, inaczej nieco realizuje się ochronę katodową w środowisku wody morskiej, ziemi, wewnątrz urządzeń przemysłowych czy w odniesieniu do konstrukcji żelbetowych, szczególnie w przestrzeni, w której beton kontaktuje się z powietrzem. Na tle typowych zastosowań w technice, w których instalację ochrony katodowej montuje się w grubych warstwach środowiska elektrolitycznego (woda, ziemia), stosunkowo młoda tego typu technika zabezpieczenia konstrukcji żelbetowych w przestrzeni powietrznej (pierwsze próby datuje się na lata pięćdziesiąte ubiegłego wieku [1]), wydaje się dalece odmienna, i rzeczywiście, technologia ta ma swoje osobliwości [2, 3]. W pierwszym rzędzie środowiskiem elektrolitycznym, w którym następują uszkodzenia korozyjne stali i gdzie realizowana jest ochrona elektrochemiczna jest beton – materiał stosunkowo słabo przewodzący prąd elektryczny (w powietrzu) i powszechnie uznawany za nieagresywny w stosunku do zbrojenia stalowego. Do dnia dzisiejszego zarówno podstawy techniczne, jak i rozwiązania przemysłowe ochrony katodowej stali w betonie opisane zostały nie tylko w doniesieniach w literaturze specjalistycznej, których nasilenie miało miejsce w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku, ale także w książkach [4–6], co świadczy o trwałym wejściu omawianej technologii do współczesnej techniki.

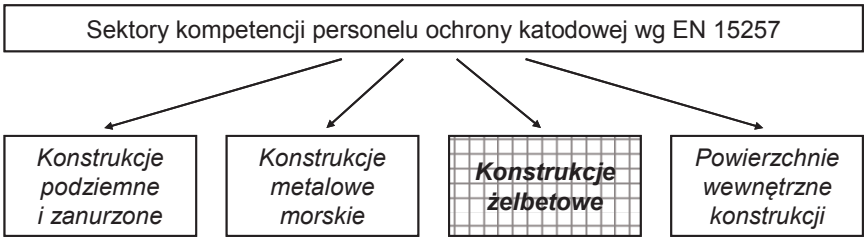
Przepływającemu stałemu prądowi elektrycznemu przez granicę faz metal/środowisko korozyjne i wywołującemu, w zależności od kierunku przepływu, procesy utleniania lub redukcji, towarzyszą zmiany odczynu – alkalizację katody i zakwaszenie anody. Alkalizacja powierzchni stali zabezpieczanej przed korozją za pomocą ochrony katodowej uznawana jest obecnie za jeden z zasadniczych czynników decydujących o jej skuteczności w takich środowiskach, jak: zwarte grunty czy beton, w których zjawiska konwekcji i dyfuzji przebiegają niezwykle bardzo wolno [7].

Technika ochrony katodowej stalowego zbrojenia w konstrukcjach żelbetowych w Polsce ciągle nie znajduje zainteresowania, pomimo, że w zasadzie nie ma istotnych przeszkód w jej stosowaniu w warunkach krajowych [8, 9], tym bardziej jest to zadziwiające, bo już w roku 2000 wymagania stosowane w odniesieniu do tej technologii zostały zebrane i przeanalizowane przez Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN) i ujęte w normie EN 12696 [10].

2. Normalizacja technologii ochrony katodowej żelbetu

Opracowanie wytycznych normatywnych stosowania ochrony katodowej stali zbrojeniowej w konstrukcjach żelbetowych w części eksploatowanej w warunkach atmosferycznych, było jednym z pierwszych zakończonych zadań zrealizowanych przez zajmujący się ochroną katodową Komitet Techniczny CEN – TC 219. Również w Polsce, odpowiadający mu w Polskim Komitecie Normalizacyjnym komitet KT 290, doprowadził do opracowania tej normy w języku polskim [11].

Jako jedna z pierwszych dokumentów europejskich w środowisku specjalistów ochrony katodowej, norma

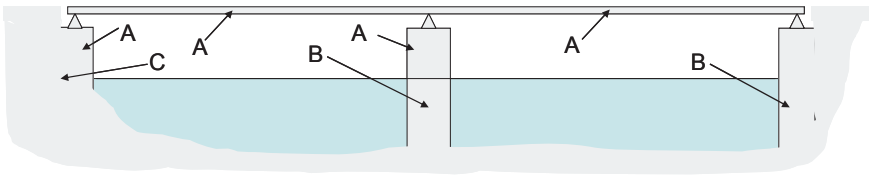


Rys. 1. *Podział kompetencji personelu w technologii ochrony katodowej wg normy EN 15257*

ta wzbudziła spore zainteresowanie, ponieważ zawierała wówczas nieużywane jeszcze w treści norm takie sformułowania:
„Projektowanie, wykonanie, rozruch i długoterminowe użytkowanie wszystkich elementów systemu ochrony katodowej stali w betonie wystawionym na działanie czynników atmosferycznych, powinno być w pełni udokumentowane.
UWAGA: Norma EN ISO 9001 zawiera odpowiednie normy Systemu Zarządzania Jakością, które mogą być wykorzystane". (4.1 Systemy zarządzania jakością) oraz
„Każdy aspekt projektowania, instalacji, testowania instalacji, rozruchu, odbioru i kontroli długoterminowej eksploatacji systemu ochrony katodowej powinien być prowadzony pod nadzorem personelu o odpowiednich kwalifikacjach, wyszkoleniu, umiejętnościach i posiadającego doświadczenie w zakresie, za który jest odpowiedzialny.
UWAGA: Ochrona katodowa stali w betonie jest specjalistycznym działaniem wielodyscyplinarnym. Wymagane są kompetencje w dziedzinie elektrochemii, technologii betonu, budownictwa i/lub inżynierii budowlanej oraz inżynierii ochrony katodowej" (4.2 Personel).
Odwołanie się do systemu jakości i kompetencji personelu było nowatorskie, wskazywało na wysoką rangę normy, wymaganą kulturę techniczną i potrzebę specjalistycznego podejścia do postanowień normy. Nie jest wykluczone, że czynnik ten miał swój udział w tym, że pojawienie się normy nie zaowocowało szybkim jej wdrożeniem do działalności gospodarczej. W roku 2006 CEN wydał normę dotyczącą kompetencji personelu ochrony katodowej, w której ochrona katodowa stali w betonie jest jednym z sektorów zastosowań tej technologii [12] – rys. 1.
Od tego czasu wszystkie nowelizowane i nowe normy dotyczące technologii ochrony katodowej wydawane przez CEN zaopatrzone są w preambułę dotyczącą wymagań w odniesieniu do osób – analogicznie do zacytowanego wyżej pkt. 4.2 normy EN 12696.
Prace nad nowelizacją normy europejskiej EN 12696, które zgodnie z założeniami powinny odbywać się około 5 lat, zbiegły się z rozpoczętymi w tym samym okresie działaniami na rzecz opracowania – na rzecz ochrony katodowej żelbetu – normy o zasięgu światowym. Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (ISO) za wzór przyjęła normę europejską i 1 lutego 2012 r. wydała pierwszą redakcję dokumentu międzynarodowego – normę ISO 12966 [13]. Jest kwestią tylko czasu, kiedy uzyska ona status normy PN-EN ISO wydanej przez PKN.
Koniecznie należy zaznaczyć, że od szeregu lat trwają prace nad normalizacją innych technik elektrochemicznych, które z powodzeniem stosowane są do eliminowania skutków działania czynników korozyjnych na konstrukcje żelbetowe. Należą do nich specyfikacje techniczne podające wymagania związane z realkalizacją betonu oraz ekstrakcją chlorków [14–16], które – wobec rozwoju techniki w tym kierunku w krajach wysoko uprzemysłowionych – zostaną zapewne wkrótce przeredagowane jako wymagania normatywne.
Nie sposób omawiając nawet pokrótce normalizację problematyki ochrony katodowej i metod elektrochemicznych w zastosowaniu do konstrukcji żelbetowych i ochrony przeciwkorozyjnej stali w betonie, pominąć działania w tym kierunku największego na świecie ośrodka zajmującego się problematyką korozyjną – NACE International. Jedynie dla porządku wypada przynajmniej zacytować wydane przez to stowarzyszenie normy [17–24].

3. Ochrona katodowa stali w betonie wg ISO 12696

O ile norma EN 12696:2000 dotyczyła ochrony katodowej stali w betonie eksponowanym w warunkach atmosferycznych, to nowa norma ISO 12696 obejmuje wszystkie środowiska, w których może być eksploatowana konstrukcja żelbetowa, a więc także i w wodzie, i ziemi – rys. 2. Autorzy normy wskazują, że ochrona katodowa, jeśli jest prawidłowo zastosowana, może zapewnić długoterminową ochronę przeciwkorozyjną stali w betonie. Jest jednak techniką, która wymaga specyficznego projektowania, obliczeń inżynierskich i zachowania odpowiednich procedur podczas wykonawstwa.
Norma określa wymagania dotyczące wykonania ochrony katodowej stali w betonie, zarówno w konstrukcjach nowych, jak i istniejących. Obejmuje ona konstrukcje budowlane i inżynierskie, zawierające normalne i sprężone zbrojenie osadzone w betonie. Ma ona zastosowanie do stalowego zbrojenia gołego i pokrytego powłokami organicznymi.
Niestety, norma nie jest podręcznikiem projektowania czy budowy instalacji ochrony katodowej, ale stanowi dość obszerne kompendium uporządkowanej wiedzy dotyczącej oceny zagrożeń korozyjnych stali w betonie, metod naprawczych, elementów systemu ochrony katodowej, w szczególności systemów anodowych, procedur wykonawczych i kontrolnych oraz eksploatacji. Uzupełnieniem jest opis podstaw ochrony katodowej stali w środowisku betonu oraz zasad doboru podstawowych parametrów do projektowania i wyboru systemów anodowych.



Rys. 2. *Zakres zastosowania normy ISO 12696 do konstrukcji żelbetowych na przykładzie mostu: A – część w przestrzeni atmosferycznej, B – część pod wodą, C – część w ziemi*

Ocenę skuteczności działania ochrony katodowej stali dokonuje się w sposób tradycyjny poprzez ocenę stopnia polaryzacji katodowej posługując się wartością zmierzonego względem elektrody odniesienia (chloro-srebrowej) potencjału stali lub zmianą tego potencjału w określonym czasie po wyłączeniu ochrony. Określa się także w normie wartości maksymalne polaryzacji katodowej, przede wszystkim ze względu na ograniczenie możliwości wydzielania się wodoru na sprężonych elementach stalowych konstrukcji.

Norma omawia praktycznie wszystkie znane z praktycznego zastosowania systemy anod i sposobów doprowadzania do nich prądu polaryzującego, np. dla żelbetu eksponowanego w powietrzu: przewodzące anody w postaci powłok (organiczne, metaliczne natryskiwane termicznie), anody na bazie tytanu (powierzchniowe i zagłębiane w beton), przewodzące zaprawy, anody galwaniczne zagłębiane w betonie, cynkowe siatki na powierzchni betonu i przyklejane arkusze cynkowe. Konstrukcje żelbetowe w wodzie i ziemi chroni się w sposób typowy jak konstrukcje stalowe.

Warto także zwrócić uwagę na zagadnienia, których norma nie porusza, a które to kwestie mają istotny wpływ na eksploatację konstrukcji żelbetowych w aglomeracjach miejskich. Sprawa dotyczy prądów błądzących, których szkodliwe działanie na podziemne zbrojenie konstrukcji jest znane i było wielokrotnie opisywane w literaturze specjalistycznej, a które może być wyeliminowane poprzez zastosowanie systemów ochrony elektrochemicznej oraz odpowiednich technik profilaktycznych, np. spawania prętów zbrojeniowych [25, 26]. Na tego rodzaju zagrożenie korozyjne narażone są obiekty inżynierskie i fundamenty obiektów w rejonie metra czy linii tramwajowych.

4. Podsumowanie

Przedstawiony krótki zarys aktualnego stanu normalizacji technologii ochrony katodowej w zastosowaniu do stalowego zbrojenia w konstrukcjach żelbetowych, stosowanej od lat zarówno do konstrukcji istniejących, jak i nowo budowanych, wyraźnie wskazuje na rosnącą rolę tej metody ochrony przeciwkorozyjnej w licznych zastosowaniach do obiektów inżynierskich i budowlanych, przede wszystkim mostów i wiaduktów, rozjazdów autostradowych, piętrowych garaży i innych obiektów narażonych przede wszystkim na agresywne działanie soli używanej do odladzania jezdni, a także żelbetowych konstrukcji hydrotechnicznych. Ilość tych zastosowań stale się powiększa.

Istniejące normy, a przede wszystkim ta obecnie najważniejsza – ISO 12696, odzwierciedlają aktualny średni światowy stan techniki związany z tą metodą ochrony przeciwkorozyjnej i prezentują zasady dobrej praktyki inżynierskiej w tej dziedzinie. Nie jest to technologia wysoce zaawansowana i w dłuższej perspektywie nie jest nawet kosztowna. Jej rozwój w Polsce hamowany jest brakiem zaufania i szerszej wiedzy technicznej w środowisku budowlanym.

LITERATURA I WYKORZYSTANE MATERIAŁY

[1] Unz M., Corrosion, Vol. 11, No. 2, p. 80, 1955 and Vol. 12, No. 10, p. 526, 1956
[2] Broomfield, J. P., „Field Survey of Cathodic Protection on North American Bridges", Mater. Perform. 31, 28 (1992)
[3] Burke N. D., Bushman J. B., Corrosion and Cathodic Protection of Steel Reinforced Concrete Bridge Decks, Federal Highway Administration / Corrpro Companies, 1988
[4] Berkeley K. G. C., Pathmanaban S., Cathodic protection of reinforcement steel in concrete, Butterworths, 1990
[5] Cathodic Protection of Reinforced Concrete Bridge Elements: A State-of-the-Art Report, Eltech Research Co., Washington, DC 1993
[6] Chess P. M., Cathodic Protection of Steel in Concrete, E&SPON, 1998
[7] Lazzari L., Pedeferri P., Cathodic Protection, Polipress, New York, 2006
[8] Sokólski W., Ochrona katodowa stali zbrojeniowej w betonie – aktualny stan technologii, zakres zastosowania i wymagania normowe, IV Doroczna konferencja naukowo-techniczna PSK „Współczesne Technologie Przeciwkorozyjne", PSK, Bronisławów (Magellan) 21–23 kwietnia 2010 r.; Ochrona przed Korozją, nr 1/2011, s. 9–13
[9] Rozporządzenie ministra transportu i gospodarki morskiej z 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. (Dz. U. z 3 sierpnia 2000 r. Nr 63 poz. 735), § 153
[10] EN 12696:2000 Cathodic protection of steel in concrete
[11] PN-EN 12696:2004 Ochrona katodowa stali w betonie.
[12] PN-EN 15257:2006 Ochrona katodowa – Poziomy kompetencji oraz certyfikacja personelu ochrony katodowej
[13] ISO 12696:2012 Cathodic protection of steel in concrete
[14] CEN/TS 14038–1:2004 Electrochemical remediation of reinforced concrete – Part 1: Re-alkalisation
[15] PKN–CEN/TS 14038–1:2009 Procesy realkalizacji elektrochemicznej i usuwania chlorków z żelbetu – Część 1: Realkalizacja
[16] CEN/TS 14038–2:2011 Electrochemical re-alkalisation and chloride extraction treatments for reinforced concrete – Part 2: Chloride extraction
[17] TM0105–2005 Test Procedures for Organic-Based Conductive Coating Anodes for Use on Concrete Structures
[18] TM0294–2007 Testing of Embeddable Impressed Current Anodes for Use in Cathodic Protection of Atmospherically Exposed Steel-Reinforced Concrete
[19] SP0107–2007 Electrochemical Realkalization and Chloride Extraction for Reinforced Concrete
[20] SP0100–2008 (wcześniej RP0100), Cathodic Protection to Control Corrosion of Concrete Pressure Pipelines and Mortar-Coated Steel Pipelines for Water or Waste Water Service
[21] SP0187–2008 (wcześniej RP0187), Design Considerations for Corrosion Control of Reinforcing Steel in Concrete
[22] SP0308–2008, Inspection Methods for Corrosion Evaluation of Conventionally Reinforced Concrete Structure
[23] SP0408–2008 Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Buried or Submerged Concrete Structures
[24] SP0390–2009 (wcześniej RP0390), Maintenance and Rehabilitation Considerations for Corrosion Control of Atmospherically Exposed Existing Steel-Reinforced Concrete Structures
[25] NACE Raport TG 365: Stray-Current-Induced Corrosion in Reinforced and Prestressed Concrete Structures, 2009
[26] Kučera B., Ochrana proti úcinkum bludných proudu – ochranná opatrení, cást konstrukcní opatrení – provarování výztuže, Konferencja OK'2011, ATEKO, Ostrava 2011