

Nieniszcząca diagnostyka korozji zbrojenia konstrukcji żelbetowych narażonych na szkodliwe oddziaływanie prądów błędzących

Bohumil Kučera, JEKU s.r.o., Jezmar Jankowski, Wojciech Sokólski, SPZP CORRPOL Sp. z o.o.

1. Wprowadzenie

Badanie korozyjnego działania na zbrojenie konstrukcji betonowych, a zwłaszcza monitorowanie wpływu prądów błędzących i ochrony przed skutkami tych prądów, jest zagadnieniem dość trudnym, którym zajmuje się od dziesięcioleci szereg ośrodków badawczych. W Czechach i w Słowacji wprowadzane zostało stopniowo od 1995 r. monitorowanie korozji zbrojenia metodami nieniszczącymi. Metodologia i wymagania nieniszczącej diagnostyki korozji zbrojenia zostały wprowadzone na obiektach mostowych i budowach tuneli w przepisach resortowych (w Ministerstwie Transportu, Kolejach Czeskich i w Ministerstwie Transportu i Kolejach Słowackich). Ich celem jest projektowanie i dobór środków ochronnych przed działaniem prądów błędzących. Przepisy ustanawiają warunki określające, kiedy należy zastosować urządzenia, które pozwolą w dowolnym czasie trwania eksploatacji wykonać pomiar kontrolny na obiekcie, a przynajmniej pomiar na elementach diagnostycznych do monitorowania korozji stalowego zbrojenia.

Takie urządzenia są częścią „stałego podłączenia do monitorowania skutków działania prądów błędzących”, jakie pierwotnie ustanowione zostało przepisami Ministerstwa Transportu. Trwałe wyposażenie do prac diagnostycznych instalowane jest zazwyczaj na obiektach w przypadkach szczególnych, kiedy konstrukcje mostowe lub tunele (a także w wyjątkowych przypadkach i inne konstrukcje podziemne) są w ścisłym kontakcie ze źródłem prądów błędzących lub w zasięgu znaczącego oddziaływania prądów błędzących. Można stosować omawiane urządzenia diagnostyczne również dla zbrojenia konstrukcji żelbetowych narażonych na zagrożenie korozją chemiczną (np. soleniem).

Obecnie do oceny oddziaływania prądów błędzących na konstrukcje żelbetowe stosuje się przede wszystkim normę EN 50162 [1], w której załączniki krajowe (czeskie) odnoszą się do odpowiednich rozporządzeń resortowych TP 124 MD ČR (2009) i SR5/7 SŽDC (2011). Podobne przepisy ustanowione zostały w Słowacji.

2. Punkty pomiarowe – wyprowadzenie przewodów

Pierwsze doświadczenia z instalacją punktów pomiarowych, sprowadzające się do stałego wyprowadzenia przewodów pomiarowych z konstrukcji żelbetowej na zewnątrz obiektów mostowych, pochodzą z lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ub. wieku. W tunelach i fundamentach budynków takie instalacje wprowadzono w latach dziewięćdziesiątych. W praktyce okazało się, że ten właśnie element związany z monitorowaniem korozji stali w betonie powodował szereg niedogodności – niezadowolenie inwestorów ze względu na koszty i akty wandalizmu (kradzieże i uszkodzenia), które nieodwracalnie eliminują z eksploatacji zastosowane urządzenia diagnostyczne. Z tego powodu w przepisach (np. TP 124) ustalono jasne zasady i warunki, na jakich możliwe jest zaprojektowanie trwałego punktu pomiarowego. Znalazły się w nich rozdziały: „Systemy monitorujące do diagnostyki wpływu prądów błędzących oraz obecności korozji”, „Dokumentacja instalacji elektrycznej i urządzeń do kontroli wpływu prądów błędzących”, czy też „Aktywna ochrona konstrukcji”. O zastosowaniu punktu pomiarowego decyduje stopień zagrożenia korozyjnego obiektu – wykazana obecność prądów błędzących (gęstość prądu powyżej $0,7 \text{ mA/m}^2$), wielkość i sąsiedztwo konstrukcji, obecność systemów trakcyjnych, sposób (jeśli jest zastosowany) ochrony zbrojenia w betonie.

Należy koniecznie dodać, że zarówno same punkty pomiarowe, jak również wybór ich lokalizacji, nie mają nic wspólnego z aktywną ochroną zbrojenia (ochroną katodową), która w przepisach czeskich i słowackich określona jest w odrębnych wymaganiach (TP 124 i SR5/7 w rozdziale 8).

3. Diagnostyka korozji zbrojenia – zestaw pomiarowy

W zakresie diagnostyki zagrożeń korozyjnych stali w betonie, stosowane są urządzenia, które:

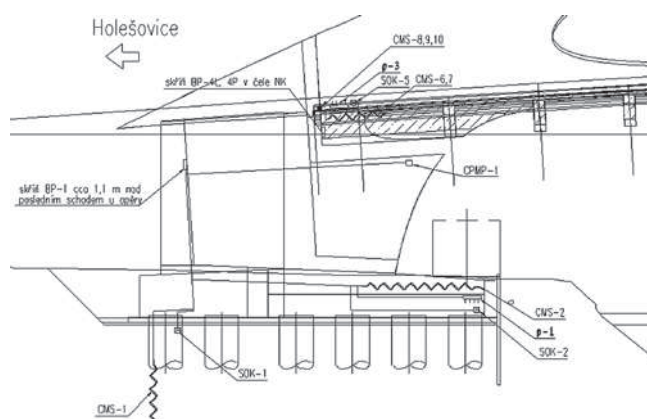
- są w stanie wykrywać obecności produktów korozji,
- są w stanie wykrywać przepływ prądu w konstrukcji (spadek napięcia),
- śledzą ubytek materiału sondy (używa się je do pomiaru szybkości korozji),
- mierzą głębokość penetracji czynników agresywnych korozyjnie w stosunku do stalowego zbrojenia,
- mierzą rezystywność betonu,
- mierzą pH betonu,
- mierzą potencjał względem elektrod odniesienia umieszczonych w betonie.

Oczekivaną funkcją nieniszczącej diagnostyki korozji zbrojenia jest stała lub okresowa informacja o aktualnej korozyjnej agresywności betonu w stosunku do zbrojenia. Obserwowane zmiany służą do przewidywania ewentualnych uszkodzeń konstrukcji betonowych – pęknięcia, przenikania wody i czynników agresywnych, np. chlorków.

Praktyka wykazała, że rzeczywiste wskaźniki obecności czynników przyspieszających procesy korozyjne, oznaczane za pomocą zainstalowanych urządzeń monitorujących, niekoniecznie oznaczają takie zagrożenie korozyjne konstrukcji, które grozi drastycznym skróceniem jej żywotności. Z tego powodu konieczne było uzupełnienie systemu diagnostycznego za pomocą urządzenia, które byłoby w stanie mierzyć bezpośrednio szybkość korozji stalowego zbrojenia w betonie. W 2004 r. zdecydowano, aby uzupełnić stosowany dotychczas zestaw diagnostyczny o rezystancyjny czujnik szybkości korozji.

W skład typowego zestawu diagnostycznego wchodzi następujące urządzenia pomiarowe:

- sonda do pomiaru obecności procesu korozji zbrojenia (CMS-Corrosionsmeßsysteme Dipl.Ing. Bernhard Wietek KEG, Austria), której zasada działania polega na pomiarze potencjału zbrojenia względem elektrody chloro-srebrnej – jeśli potencjał jest > -300 mV stal jest w stanie pasywnym, przy potencjałach od -300 mV do -350 mV następuje niszczenie warstwy pasywnej, a przy potencjale < -350 mV stal ulega korozji,
- sonda do pomiaru penetracji chlorków (system CPMP – Corrosion Penetration Monitoring Probes), składająca się z 6 elektrod stalowych z elektrodą odniesienia ułożonych w narastającej odległości od zbrojenia do powierzchni betonu (podczas penetracji chlorków potencjał poszczególnych elektrod odpowiednio się zmienia),
- sonda do pomiaru rezystywności betonu (ρ), składająca się z 4 stalowych elektrod, z których dwie zewnętrzne służą do wymuszenia przepływu prądu, zaś dwie wewnętrzne do określenia spadku napięcia w tym polu elektrycznym (metoda Wennera) – pomiar ten ma duże znaczenie w ocenie zagrożenia stali zbrojeniowej prądami błędzącymi.



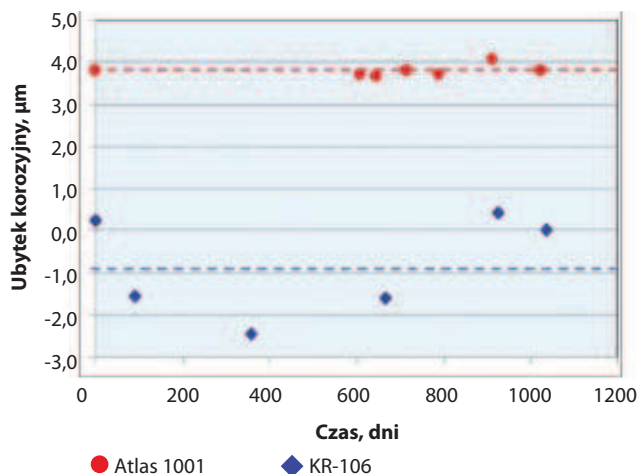
Rys. 1. Elementy diagnostyki korozji zbrojenia na przyczółku mostu Trojskiego w Pradze: sondy CMS, CPMP, r i SOK (czujniki korozymetryczne)

Od szeregu lat w skład opisanego zestawu diagnostycznego stosowanego w Czechach i w Słowacji wchodzi także polskie czujniki korozymetryczne (nazwane tu SOK). Na rysunku 1 przedstawiony został schemat umieszczenia takiego zestawu diagnostycznego korozji zbrojenia na przyczółku Trojskiego mostu w Pradze.

4. Korozymetria rezystancyjna

Korozymetria rezystancyjna jest dzisiaj jedną z najszerzej stosowanych technik monitorowania korozji. Wynika to zapewne z jej przystępności i uniwersalności – może być stosowana w szerokiej gamie środowisk korozyjnych: wodnych i bezwodnych, gazowych, w tym również do monitorowania korozji zbrojenia żelbetu [2, 3]. W celu eliminacji wpływu temperatury na elementy rezystancyjne, pomiary korozymetryczne prowadzi się najczęściej metodą porównawczą [4]. Mierzy się wzrost rezystancji elementu pomiarowego czujnika eksponowanego w środowisku korozyjnym w stosunku do takiego samego elementu chronionego przed dostępem czynników korozyjnych. Element pomiarowy w miarę postępu korozji zmniejsza swój przekrój (przy niezmięnionej długości), a zatem zgodnie z II prawem Ohma zwiększa swoją rezystancję. Wzrost rezystancji jest spowodowany ubytkiem korozyjnym dobrze przewodzącego metalu i jego przemianą w dużo słabiej przewodzące produkty korozji (tlenki, wodorotlenki). Znając geometrię czujnika, można jednoznacznie przeliczyć wzrost rezystancji na ubytek korozyjny metalu. Współczesne korozymetry cyfrowe dokonują takie przeliczenia automatycznie. Metoda korozymetrii rezystancyjnej jest w niektórych krajach przedmiotem normalizacji, np. [5].

Od 2004 r. zainstalowano w sumie w Czechach i Słowacji ponad 130 czujników korozymetrycznych do oceny szybkości korozji zbrojenia żelbetu, głównie na konstrukcjach mostowych, tunelach, a także drogach znajdujących



Rys. 2. Zestawienie porównawcze ubytków korozyjnych stali w betonie wyznaczonych korozymetrem ATLAS 1001 oraz zestawem pomiarowym KR-106

się w sąsiedztwie źródeł prądów błądzących, jak np. linia metra.

Przykładowe wyniki pomiarów korozymetrycznych uzyskane na jednym z czujników rezystancyjnych zamontowanych na budowlu „Veseli nad Lužnici” przedstawiono w formie graficznej na rysunku 2. Wykres przedstawia zmierzone ubytki korozyjne stali w betonie w funkcji czasu ekspozycji. Zaprezentowane wyniki pomiarów obejmują okres ok. 3-letni z lat 2010–2013. Do badań wytypowano czujnik korozymetryczny typu ER-10/0,8-FC prod. SPZP CORRPOL, tzn. czujnik o polu powierzchni stalowego elementu pomiarowego 10 cm² i grubości 0,8 mm – patrz rysunek 3.

Pomiary realizowano z wykorzystaniem dwóch zestawów pomiarowych o różnej dokładności. W początkowym okresie (przez ok. 20 miesięcy) pomiary realizowane były metodą uproszczoną z użyciem zestawu KR-106 złożonego z multimetru CHY23 wraz z przystawką do pomiarów niskich rezystancji. Zestaw ten zapewniał dokładność pomiarów na poziomie 0,5%, co skutkowało znacznym błędem bezwzględnym wyznaczonych ubytków korozyjnych (ok. 5 μm) i dużym rozrzutem wyników ±2 μm. Obserwowano nawet pozornie ujemne ubytki korozyjne (przyrosty objętości metalu), co jest ewidentnym błędem pomiarowym. Zmiana miernika na profesjonalny korozymetr ATLAS 1001 [6], który charakteryzuje się dokładnością 0,1% wydatnie wpłynęła na poprawę jakości wyników. Wszystkie wyznaczone tym miernikiem ubytki korozyjne stali w betonie kształtowały się w zakresie 3,8±0,3 μm. Biorąc pod uwagę, że tyle właśnie wynosił początkowy ubytek korozyjny nowego czujnika (każdy wyprodukowany czujnik korozymetryczny charakteryzuje się pewną niezerową wartością ubytku korozyjnego), można wnioskować o braku postępu korozji podczas jego 3-letniej eksploatacji. Nie można tego natomiast kategorycznie stwierdzić oceniając wyniki pomiarów uzyskane zestawem



Rys. 3. Czujnik korozymetryczny rezystancyjny typu ER-10/0,8-FC

KR-106, które kontynuowano wyłącznie w celach porównawczych. Zamieszczone dane uwidaczniają, jak istotny jest dobór odpowiednio czułego miernika do pomiarów korozymetrycznych stali w betonie, aby w sposób miarodajny oceniać wielkość zagrożenia korozyjnego zbrojenia żelbetu.

5. Podsumowanie

Dotychczasowe wieloletnie doświadczenia w zakresie monitorowania zagrożenia korozyjnego zbrojenia żelbetu w Czechach i Słowacji wskazują, że najbardziej miarodajny obraz zniszczeń zapewnia równoległe stosowanie kilku niezależnych urządzeń i technik diagnostycznych, pośród których istotną rolę odgrywa odpowiednio dobrana pod względem rodzaju czujników i czułości aparatury pomiarowej technika korozymetrii rezystancyjnej.

BIBLIOGRAFIA

- [1] EN 50162 Ochrona przed korozją wskutek prądów błądzących z układów prądu stałego
- [2] Roberts J. J., International Journal of Masonry Construction, tom 1, 3 (1981) 82
- [3] Zivica V., Materials and Structures, tom 26, 6, (1993) 328
- [4] Cooper G. L., w: Corrosion Monitoring in Industrial Plants Using Nondestructive Testing and Electrochemical Methods, (G. C. Moran and P. Labine, Eds.) ASTM STP 908, 1986, 237–250
- [5] ASTM G96, Standard Guide for Online Monitoring of Corrosion in Plant Equipment (Electrical and Electrochemical Methods)
- [6] www.corrpil.pl/teksty/Karta%20ATLAS%201001%20_09-2011_%20PL.pdf