



**DIAGNOSTYKA KOROZYJNA STALOWEGO ZBROJENIA
KONSTRUKCJI ŻELBETOWYCH W STREFACH
ODDZIAŁYWANIA PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH**

**DIAGNOSIS OF CORROSION OF THE STEEL
REINFORCEMENT OF CONCRETE STRUCTURES
IN ZONES OF INFLUENCE OF STRAY CURRENTS**

Bohumil Kučera, Jezmar Jankowski, Wojciech Sokólski

JEKU s.r.o., Prague, Czech Republic
SPZP CORRPOL Sp. z o.o.

Słowa kluczowe: zbrojenie żelbetu, prądy błędzące, diagnostyka korozji, korozymetria
Keywords: corrosion, concrete reinforcement, stray currents, corrosion diagnostics, electrical resistance technique

Streszczenie

W opracowaniu przedstawiono zebrane doświadczenia w doborze metod i urządzeń do monitorowania korozji podczas projektowania środków ochrony przed skutkami działania prądów błędzących na stalowe zbrojenie niektórych konstrukcji żelbetowych. Omówiono wieloletnie obserwacje systemów rejestracji postępowania procesu korozyjnego zbrojenia CMS, które następnie uzupełniane były czujnikami rezystywności betonu, sondami głębokości penetracji czynników agresywnych do zbrojenia, a przede wszystkim czujnikami szybkości korozji. W ciągu ostatnich około 15 lat zainstalowano ponad 150 czujników korozymetrycznych na różnych obiektach w Republice Czeskiej. Podano w zarysie metodologię stosowania tej techniki pomiarowej. Zaprezentowano ciekawe aplikacje prezentowanej techniki na wybranych konstrukcjach mostowych.

Summary

In the paper acquired experience has been presented in selection of methods and equipment for monitoring of corrosion during the designing process of protection means against stray current interaction on steel reinforcement of some reinforced concrete structures. Long-term observations have been described of reinforcement corrosion progress CMS recording systems, consecutively supplemented by concrete resistivity probes, aggressive agent penetration depth probes into reinforcement, and primarily with corrosion rate probes. During the past 15 years over 150 electrical resistance probes have been installed in various objects in the Czech Republic. The application method of this measurement technique has been described. Interesting applications of the technique have been presented on chosen bridge structures.

1. Wstęp

Wykazywanie korozyjnego zagrożenia betonowych konstrukcji, w szczególności w odniesieniu do oddziaływania prądów błędnych oraz ochrona przed działaniem prądów błędnych jest dość trudnym zagadnieniem, którym zajmują się laboratoria korozyjne od dziesięcioleci. W Czechach i na Słowacji od 1995 roku stopniowo wprowadzano korozyjną diagnostykę zbrojenia przy wykorzystaniu metod nieniszczących. Metodyka niedestrukcyjnej diagnostyki korozyjnej zbrojenia została wprowadzona dla obiektów mostowych i konstrukcji tunelowych poprzez zatwierdzenie odpowiednich przepisów resortowych, dotyczących propozycji rozwiązań ograniczających skutki działania prądów błędnych na obiekty będące w kompetencji Ministerstwa Transportu Republiki Czeskiej, Czeskich Kolei Państwowych, Ministerstwa Transportu Republiki Słowackiej i Słowackich Kolei Państwowych. Przepisy ustalają warunki, kiedy należy stosować urządzenia, które umożliwiają w okresie eksploatacji budowlę przeprowadzenie pomiarów kontrolnych oraz ewentualnych pomiarów na elementach diagnostycznych pozwalających na śledzenie korozji stalowego zbrojenia. Stałe urządzenia z zasady instaluje się w specjalnych przypadkach, kiedy mostowe lub tunelowe konstrukcje (w wyjątkowych przypadkach również budowle nadziemne) znajdują się w bliskim kontakcie ze źródłem prądów błędnych lub w zasięgu znacznego wpływu prądów błędnych. Można jednak zastosować je także dla budowlę, na przykład w sytuacji wystawienia na ekstremalną korozję chemiczną (zasolenie itp.).

2. Wykorzystywane przepisy

Obecnie w odniesieniu do mierzenia oddziaływania prądów błędnych na konstrukcje żelbetonowe wykorzystuje się normy ČSN 03 83xx, a przede wszystkim ČSN EN 50 162, gdzie załącznik narodowy odsyła do przepisów resortowych, a więc TP 124 MD ČR (2009) oraz SR5/7 SŽDC (2011). Na Słowacji zostały wprowadzone w życie podobne przepisy. Chodzi o warunki techniczne TP 03/2014 MD SR oraz przepisy dla słowackich kolei ŽSR TS15 (2011).

Metodyka pomiaru oddziaływania prądów błędnych obecnie stanowi przepis wdrażający oba wyżej wymienione przepisy MD ČR oraz SŽDC (wcześniej ČD), tj. warunki techniczne TP 124 i instrukcję służbową SR 5/7(S). Metodyczne wskazówki dotyczące oddziaływania prądów błędnych nawiązują do przytoczonych przepisów.

3. Cel stałego monitorowania oddziaływania prądów błędnych

Pierwsze doświadczenia dotyczące instalacji stałego podłączenia metalicznego do celów pomiarowych do zbrojenia na obiektach mostowych pochodzi z 70-tych i 80-tych lat ubiegłego stulecia. W budowlach tunelowych pierwsze trwałe podłączenia przewodów pomiarowych do zbrojenia konstrukcji żelbetowych były instalowane pod koniec lat dziewięćdziesiątych, tak samo jak w przypadku budowli naziemnych.

Należy zaznaczyć, że „stałe podłączenia” nie były trwałe. Od samego początku nie są do tych instalacji przekonani ani zarządcy budów, ani inwestorzy. Ten, kto te instalacje projektuje, od samego początku powinien interesować się tym, jak będą wykorzystywane, jakie mają znaczenie z punktu widzenia konserwacji i eksploatacji budowli, w której są instalowane. Zarządcy zazwyczaj uważają podłączenia za coś zbytecznego, co jedynie podnosi koszt budowy i kusi złodziei. Na kolei panuje przekonanie, że stałe podłączenia są sugerowane jedy-

nie z powodu lenistwa jednostek specjalistycznych – aby technicy odpowiedzialni za korozję nie musieli się wysilać przy pracy z podłączeniami pomiarowymi. Należy również zwrócić uwagę, że w 1999 roku przy projekcie pierwotnego brzmienia TP 124 została opracowana informacja dla Ministerstwa Transportu Republiki Czeskiej, z której niestety wynikało, że obawy zarządców i inwestorów nie są aż tak nieuzasadnione i w wielu przypadkach wynikają z doświadczeń praktycznych. Okazało się bowiem, że praktycznie wszystkie trwałe podłączenia na obiektach mostowych, czy to zaprojektowane w celu pomiarowych, czy też jako różne drenaże, były bardzo szybko po instalacji rozkradzione bądź uszkodzone. Dlatego koniecznym było ustalenie jednoznacznych zasad i warunków, zgodnie z którymi stało się możliwe projektowanie trwałych podłączeń.

Podstawowe warunki do projektowania trwałych podłączeń ustalają przywołane przepisy. Chodzi o rozdziały „Systemy monitorujące do diagnostyki wpływu prądów błędzących i obecności korozji zbrojenia”, „Dokumentacja elektrycznych podłączeń oraz urządzeń do kontroli wpływu prądów błędzących”, oraz „Aktywna ochrona budowli przed korozją”.

4. Kiedy projektować trwałe podłączenia do monitorowania prądów błędzących

Jak wynika z cytowanych przepisów, trwałe podłączania są jednoznacznie wymagane do monitorowania na 5 poziomie działań ochronnych. Wprowadzenie stopnia działań ochronnych nr 5 w tabeli 1 TP 124 i SR 5/7 było uzasadnione nie tylko jednoznacznie wysokim stopniem działania korozyjnego, ale też ustaleniem obowiązku instalacji trwałych podłączeń, w celu monitorowania wpływu prądów błędzących. Praktyka jednak wykazała, że nawet to kryterium nie jest całkowicie wystarczające przy projektowaniu trwałych podłączeń, dlatego przy dokonywaniu oceny koniecznym było wzięcie pod uwagę również opinii jednostki specjalistycznej. Decyzję o projektowaniu trwałych podłączeń można podjąć kierując się oceną następujących czynników:

1. Stopień zagrożenia korozyjnego wyrażony przede wszystkim wymaganym działaniem ochronnym. Jednoznaczny projekt przy stopniu działań ochronnych nr 5 w przypadku gęstości prądów błędzących w górnej połowie interwału stopnia działań ochronnych nr 4, tj. około $7 \cdot 10^{-4}$ do $3 \cdot 10^{-3} \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$.
2. Konstrukcyjne wymiary chronionej budowli – oprócz zagrożenia korozyjnego należy ocenić wymiary budowli i jej umieszczenie. Trwałe podłączenia należy brać pod uwagę na przykład w przypadku wielkiej konstrukcji mostowej, która krzyżuje się z torami i ciekami wodnymi, lub bardzo trudno dostępnej budowli podziemnej (na przykład zabudowa w wielkim mieście), albo ze względu na wysokościowe gabaryty budowli.
3. Obecność sieci trakcyjnych nie tylko pod budowlą mostową, ale i bezpośrednio na budowli, bliskość aktywnie chronionych budowli liniowych, bliskość podstacji, metra itp.
4. Rozwiązanie konstrukcyjne chronionej budowli – z zasady duże budowle z systemem przełączania zbrojenia, systemem izolacji na NK, ułożeniem torów itp.

Jednostka specjalistyczna powinna zapoznać się ze wszystkimi zaprezentowanymi kryteriami, a następnie ocenić, czy dla danej budowli mostowej jest wskazane projektowanie trwałego podłączenia w celu monitorowania wpływu prądów błędzących. Nie wyklucza się możliwości, że na układzie obiektów mostowych (np. autostrada D3 lub D47), zostanie wybrany jeden lub kilka budynków referencyjnych, które będą wyposażone w trwałe podłączenia, zaś pozostałe, mniejsze budowle, będą bez trwałych podłączeń.

Jednocześnie należy zwrócić uwagę, że podejmowanie tych decyzji nie ma nic wspólnego z projektem aktywnej ochrony katodowej; warunki dla projektu aktywnych ochron ustalają przepisy TP 124 i SR5/7 w rozdziale 8.

5. Niedestrykcyjna diagnostyka korozji zbrojenia

W zakresie niedestrykcyjnej diagnostyki stali zbrojeniowej w betonie są do dyspozycji na świecie techniki, które spełniają podobne funkcje. W różnych wariantach mamy do dyspozycji 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.

Oczekiwaną 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 roku zdecydowano, aby uzupełnić stosowany dotychczas zestaw diagnostyczny o rezystancyjny czujnik szybkości korozji.

Należy obiektywnie przypomnieć, że wszystkie wymienione niedestrykcyjne diagnostyczne metody i elementy mają poza oczekiwanymi zaletami i pewne wady:

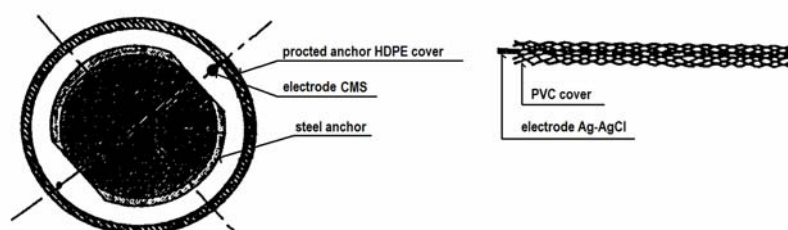
- a) mają zdolność jedynie lokalnego monitorowania korozyjnego zachowania konstrukcji żelbetonowej;
- b) nie można wykluczyć ich uszkodzenia przy betonowaniu, w szczególności jeśli chodzi o przewody prowadzące do tych urządzeń;
- c) nie ma możliwości ich naprawy czy wizualnej kontroli w czasie eksploatacji;
- d) nie można o nie uzupełniać istniejących konstrukcji betonowych (jeśli nie mamy do czynienia z obszernym remontem).

6. Opis używanych technik do diagnostyki korozji stalowego zbrojenia w betonie

6.1. Sonda do detekcji korozji zbrojenia (CMS)

System CMS (CMS-Corrosionsmeßsysteme Dipl.Ing. Bernhard Wietek KEG, Austria) jest opatentowany w Europie Zachodniej i USA. Jest to urządzenie, które umożliwia kontrolowanie stanu korozji zbrojenia bez względu na przyczynę korozji i na podstawie zmiany mierzonych naturalnych potencjałów stali pozwala na rejestrowanie zmian stanu zagrożenia korozyjnego zbrojenia.

Po raz pierwszy w Czechach system został wykorzystany na budowie zakładu produkującego grzejniki KORADO sp. z o.o., przy monitorowaniu stanu korozji zbrojenia trwałych ziemnych kotwic i miękkich (betoniarskich) zbrojeń.



Rys. 1. Wykonanie elektrody CMS i przykład instalacji w chronionej ziemnej kotwicy



Fot. 1–2. Przykłady zastosowań sond CMS

Do monitorowania stanu korozji wykorzystywany jest pomiar potencjału między dwoma różnymi punktami zbrojenia stalowego umieszczonymi w elektrolicie jakim jest ciecz porowa w betonie. Elektroda odniesienia jest materiał w danym środowisku stabilny elektrochemicznie, a w stosunku do stali wykazujący wystarczającą różnicę potencjałów niezbędną do reje-

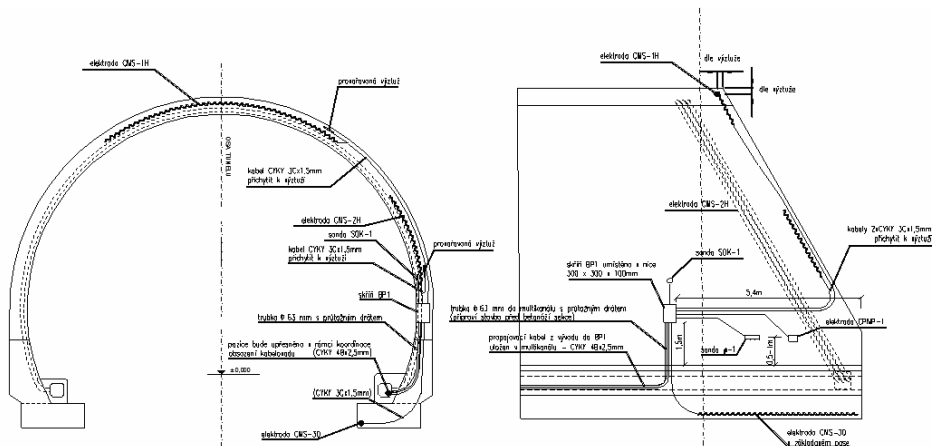
strowania zmian korozyjnych. Elektroda odniesienia (chloro-srebrna) musi spełniać wysokie wymagania dotyczące właściwości mechanicznych.

Wyróżnia się trzy zakresy dla pomiaru potencjału za pomocą elektrody chloro-srebrnej, które definiują korozyjny stan stali zbrojeniowej:

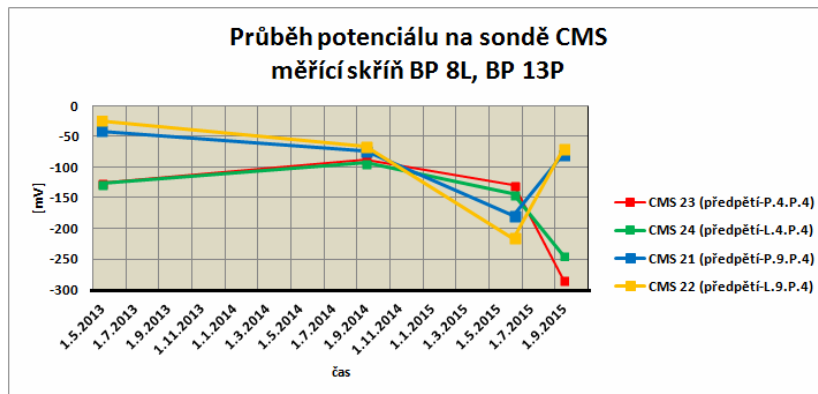
- | | | | |
|----------|-----------------------|---------|---|
| zakres 1 | > | -300 mV | – stal trwale chroniona (pasywna), |
| zakres 2 | od -300 mV do -350 mV | | – warstwa pasywna ulega degradacji |
| zakres 3 | < | -350 mV | – stal koroduje, lokalne uszkodzenia, warstwy pasywnej. |

Ze względu na wpływ zawartości chlorków w betonie określone zakresy nie są całkowicie sztywne i w niektórych przypadkach konieczne jest przeprowadzenie odpowiedniej korekty.

Zgodnie z aktualną wiedzą, zasięg działania elektrody w elektrolicie (betonie) można oszacować na około 10 cm. Dlatego też omawiany system ocenia stan korozyjny zbrojenia jedynie w okolicy zainstalowanej elektrody.



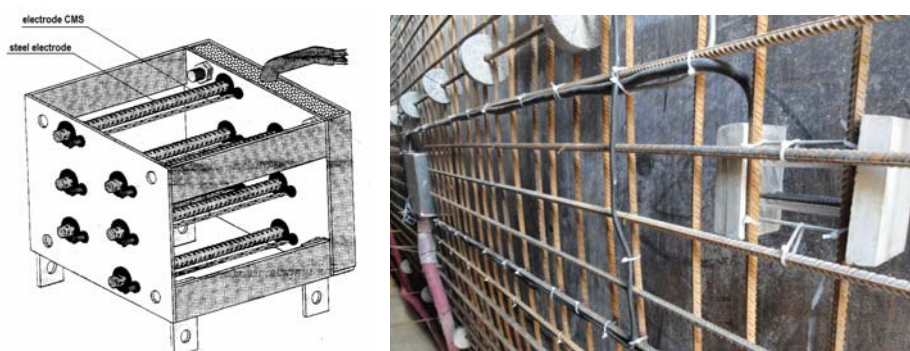
Rys. 2–3. Przykład instalacji czujników w tunelu (przekrój poprzeczny i podłużny)



Rys. 4. Przykład wyników pomiarów na elektrodach CMS zainstalowanych w kablach sprzężających (Trojski most w Pradze 2010-2016)

6.2. Sonda do monitoringu głębokości penetracji substancji agresywnych – CPMP

System CPMP (Corrosion Penetration Monitoring Probes) jest aplikacją systemu CMS rozwiniętą w celu monitoringu głębokości przenikania do zbrojenia chlorków.



Rys. 5. Sonda CPMP i jej zastosowanie w budowlu tunelowej (Fot. 3)

Jak widać to na rys. 5 sonda składa się z zestawu sześciu elementów i elektrody odniesienia ułożonych w taki sposób, aby przenikające zewnętrzną warstwą betonu chlorki, mogły stopniowo działać korodująco na poszczególne elementy.

Zmiana potencjału każdego elementu jest w ten sposób informacją o postępującym niebezpieczeństwie korozji zbrojenia. Elektrode umieszcza się w zewnętrznej warstwie betonu nad zbrojeniem (między zbrojeniem a szalunkiem).

Tabela 1. Wyniki pomiaru potencjału na sondzie CPMP

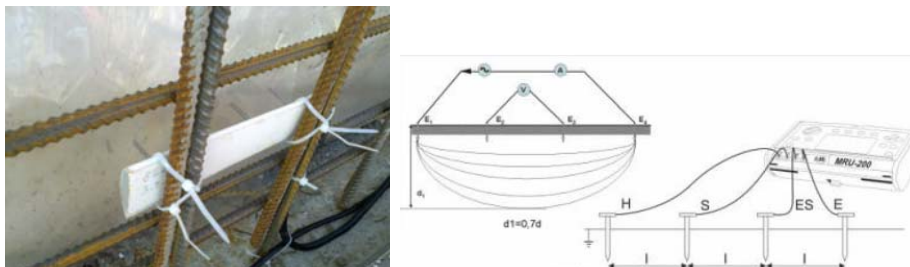
Głębokość przenikania [cm]	Nr zacisku pomiarowego	U_{CPMP} [mV]	Ocena
9	1-6	-93	bez korozji
8	7-12	-317	+/- pasywacja
7	2-5	-258	bez korozji
6	8-11	-329	utrata pasywacji
5	3-4	-433	korozja
4	9-10	-379	korozja

Wyniki pomiarów wskazują na przenikanie korozyjnie agresywnych substancji na głębokość 5-6 cm.

6.3. Sonda do pomiaru rezystywności betonu

Rezystywność betonu jest bardzo ważnym wskaźnikiem przy ocenie korozyjnego zagrożenia prądami błędzącymi. Jest jednocześnie wskaźnikiem sugerującym ryzyko chemicznej korozji, na przykład w wyniku przenikania chlorków. Metoda ta jest korzystna jako wsparcie dla monitoringu potencjałów korozyjnych (ASTM C876).

Sonda działa na zasadzie pomiaru rezystywności czteroelektrodową metodą Wennera tak, jak to przeprowadza się na przykład podczas pomiaru rezystywności gruntu.



Fot. 4. Sonda do pomiaru rezystywności betonu w warstwie zewnętrznej i zasada jej działania (rys. 6, 7)

Tabela. 2. Przykład pomiaru rezystywności betonu (Trojski most w Pradze)

Szafka pomiarowa	Sonda	13.8.2013 [Ωm]	2.9.2014 [Ωm]	25.1.2016 [Ωm]	Stan diagnostyki
BP 1	RÓ 1	64,9	74,4	120,7	działa
BP 3	RÓ 2	26,94	25,9	30,6	działa
BP 4L	RÓ 3	x	X	379,6	działa
BP 18P	RÓ 5	313,4	X	x	nie działa

6.4. Czujnik szybkości korozji

Do pomiaru szybkości korozji standardowo wykorzystuje się czujnik Electrical Resistance Corrosion Probe, CORRPOL typ ER-10/0,8-FC. Czujnik ten został opracowany na podstawie pierwszych doświadczeń i aplikacji czujnika typu ER-5/0.5-FS. Czujniki są w Czechach i na Słowacji używane pod oznaczeniem „SOK”.

Czujnik pracuje na zasadzie porównywania oporu elektrycznego wzorca umieszczonego w czujniku i oporu elektrycznego próbki metalu na powierzchni, która jest tak ukształtowana, aby jej rezystancja była mierzalna z dużą dokładnością.

Wartości mierzy się za pomocą specjalnego urządzenia – korozymetru.



Fot. 5–6. Pierwotny czujnik szybkości korozji (po lewej) i obecnie używany czujnik korozymetryczny



Fot. 7–8. Instalacja czujnika korozymetrycznego na zbrojeniu z ustawieniem w kierunku zewnętrznej warstwy betonu

Od roku 2004 łącznie zainstalowano 134 czujniki korozymetryczne. Czujniki zostały zainstalowane na budowach mostowych w Czechach, w większości budowli tunelowych Czech i Słowacji realizowanych od 2006 roku, a także na specjalnych naziemnych budowach, które były realizowane w bezpośrednim sąsiedztwie źródeł prądów błędnych, w szczególności na budowach w metrze.

Tabela 3 prezentuje lokalizacje, gdzie przeprowadzono więcej niż trzy podstawowe pomiary. Wynik pomiarów jest zapisany tak jak został przygotowany przez autorów czujnika (CORRPOL) i przerobiony na czeską mutację. Do protokołu pomiarów zawsze załącza się jeden protokół specjalny z graficznymi wynikami, jak również poszczególne wartości mierzonych oporów elektrycznych w taki sposób, aby zawsze było możliwe sięgnięcie do tych wyników.

Tabela 3. Zestawienie punktów pomiarowych

Č. SOKU	POČET MĚŘENÍ	MÍSTO INSTALACE
100	5	Borík - SBP8
179	4	Borík - SBP2
182	4	Borík - SBP1
287	7	Veselí nad Lužnicí
290	5	Trojský most, Holešovická opěra, pilota
301	4	Trojský most, Holešovická opěra
302	5	Lužnice (nad řekou)
303	3	Olbramovický tunel, portál, BP4
304	2	Dobkovičky
305	3	Votický tunel, portál P2, BP2
307	8	Trojský most, pilíř
308	6	Trojský most, opěra Troja (14.2.2011 nastaven kabel)
309	3	Olbramovický tunel, portál P2 Benešov, BP1
347	3	Votický tunel, portál směr ČB, BP1
348	2	Tomický tunel I - portál (směr Tábor)
349	2	Zahradnický tunel, portál 2
350	2	Tomický tunel II, portál 1
351	3	Trojský most
352	4	Veselí nad Lužnicí
354	1	Zahradnický tunel - portál
355	2	Tomický tunel I - portál 1 (směr na Benešov)
432	4	Na Příkopě 14, stěna s ne Panskou ul. (ta naproti)
433	2	Tomice II, portál II
437	2	Na příkopě 14
482	3	Vozovna Pankrác
484	2	Vozovna Pankrác
554	3	Mosty v Mostě SO 201 Most, pilíř P3
555	6	Vozovna Vokovice
556	6	Vozovna Vokovice
677	3	Na Groši
678	3	Mosty v Mostě SO 201 Most, NK před MZ u nadr
724	3	Na Groši
727	5	Poděbrady Koutecká
799	6	Poděbrady Koutecká
800	5	Poděbrady Koutecká

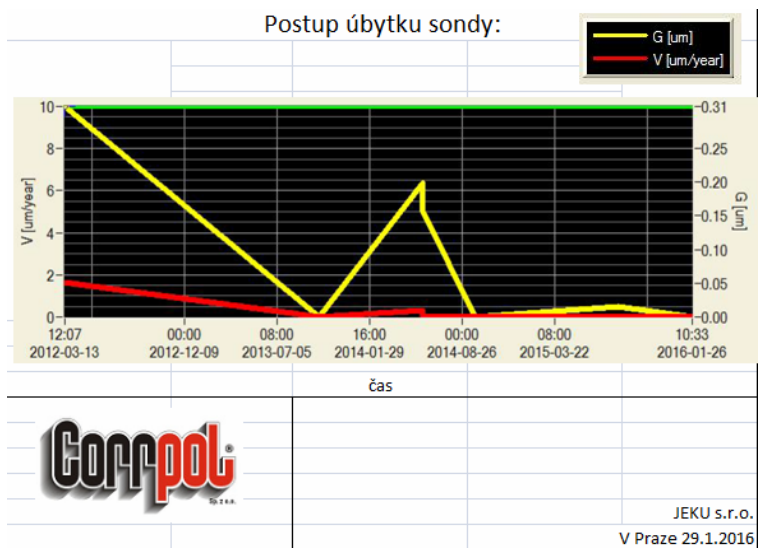
Przykład tabeli wartości mierzonych przywołanych w protokole końcowym dla Trojskiego mostu w Pradze:

Tabela 4. Niektóre budowle w Czechach i na Słowacji z instalacją czujników korozymetrycznych

Szafka pomiarowa	Sonda	U_{sok} [m Ω] 8.10.2013	U_{sok} [m Ω] 25.9.2014	U_{sok} [m Ω] 13.8.2015	U_{sok} [m Ω] 25.1.2016	Stan diagnostyki
BP 1	SOK 1 (290) (pilota, u CMS 1)	Rc= 4,80187 Rr= 4,61615	Rc= 4,81485 Rr= 4,62848	Rc= 4,78619 Rr= 4,60139	Rc= 4,825270 Rr= 4,637718	działa
	SOK 2 (301) (zakład, u CMS 2)	Rc= 4,84800 Rr= 4,65513	Rc= 4,86251 Rr= 4,67044	Rc= 4,82842 Rr= 4,63697	Rc= 4,838490 Rr= 4,647685	działa
BP 2	SOK 3 (307) (pilota, u CMS 3)	Rc= 4,92950 Rr= 4,72690	Rc= 4,86251 Rr= 4,67044	Rc= 4,86616 Rr= 4,66692	Rc= 4,834373 Rr= 4,637993	działa
BP 3	SOK 4 (308) (pilota, u CMS 4)	Rc= 4,83968 Rr= 4,63182	Rc= 4,84624 Rr= 4,63886	Rc= 4,83627 Rr= 4,63259	Rc= 4,865924 Rr= 4,659426	działa

Tabela 5. Tabela wyników i pierwszej oceny czujników korozymetrycznych

Zpráva systému CORRPOL-ER				
Měření korozního průběhu na sondě		307		
Plochá spirálová sonda (Flush Coil)				
Poloha: Trojský most, pilíř JEKU Praha				
Specifikace sondy:		Výsledky měření:		
		Datum	G [μm]	V [μm/rok]
Typ sondy:	ER-10/0,8-FC	4.1.2012	0	0
Nr sondy:	307	13.3.2012	0,31	1,65
Plocha:	10 cm ²	8.10.2013	0	0
Rozsah měření:	400 μm	28.5.2014	0,2	0,31
Datum výroby:	25.6.2010	28.5.2014	0,16	0
Datum instalace	2010	24.9.2014	0	0
		13.8.2015	0,02	0,02
		25.1.2016	0	0
Stupeň opotřebení sondy: 0.0 %				
Předpokládaná životnost sondy: > 100 let				
Korozní riziko:				
Aktuální rychlost koroze sondy odpovídá stanovenému kritériu ochrany				



Rys. 8. Przykład końcowego protokołu z odczytów czujnika szybkości korozji

Po zebraniu doświadczeń został wprowadzony obowiązek przynajmniej 3-krotnego odczytu czujnika przed oddaniem budowli do eksploatacji w taki sposób, aby powstała początkowo zależność czasowa, która będzie wykorzystywana jako punkt odniesienia dla dalszych pomiarów korozymetrycznych. Obiektywnie należy dodać, że w przypadku użytkowników budowli z taką instalacją nie udaje się zapewnić częstszych pomiarów. Dopiero w ostatnich latach można obserwować próby ze strony ŘSD (Dyrekcja Dróg i Autostrad) systematycznego powtarzania pomiarów korozymetrycznych.

W praktyce doświadczenia z aplikacją czujników korozymetrycznych w betonie są pozytywne. Spośród łącznej liczby wykazanych ponad 100 czujników, w ostatnich latach doszło do uszkodzenia około 5-10 z nich, z czego większość udało się naprawić. Wady ujawniają się po betonowaniu, kiedy dojdzie do uwięzienia kabla lub uszkodzenia łącza. Niedziałające czujniki znajdują się w około trzech przypadkach z łącznej liczby zainstalowanych urządzeń.

Jeśli chodzi o korzyści wynikające z zastosowania czujników korozymetrycznych, toczy się dyskusja dotycząca tego, czy metoda jest wystarczająco czuła ze względu na szybkość korozji zbrojenia w betonie. Na przykład koledzy z VŠCHT zalecają dostosowanie kontrolowanej powierzchni w celu zwiększenia czułości czujnika. Jednak doświadczenia praktyczne dowodzą, jak pokazano wcześniej, że czujnik jednak reaguje w wystarczającym stopniu i nie wygląda na to, by można było obserwować opisywaną wadę.

6.5. Kombinowany czujnik szybkości korozji, pomiaru głębokości przenikania agresywnych substancji do zbrojenia i pomiaru pH

Na podobnych zasadach jak w przypadku opisanych powyżej sond działa produkt katedry korozji metali VŠCHT w Pradze.

Sonda łączy w sobie wszystkie mierzone parametry. Okazuje się jednak, że jest dość duża i jej instalacja do typowych konstrukcji budowlanych jest dość trudna – prowadzi do naruszenia innych wymogów właściwości betonu (statyczne i mechaniczne).

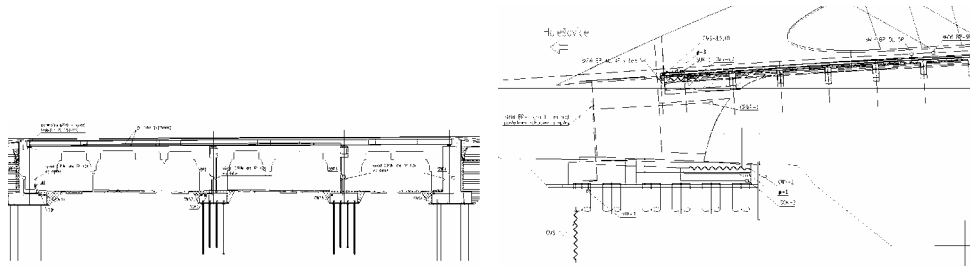
Sonda została wykorzystana w zaledwie dwóch budowlach mostowych, czyli na moście Lochowskim w Pradze i moście kolejowym nad ulicą Seifertową.



Fot. 9–10. Sonda kombinowana VŠCHT Praha

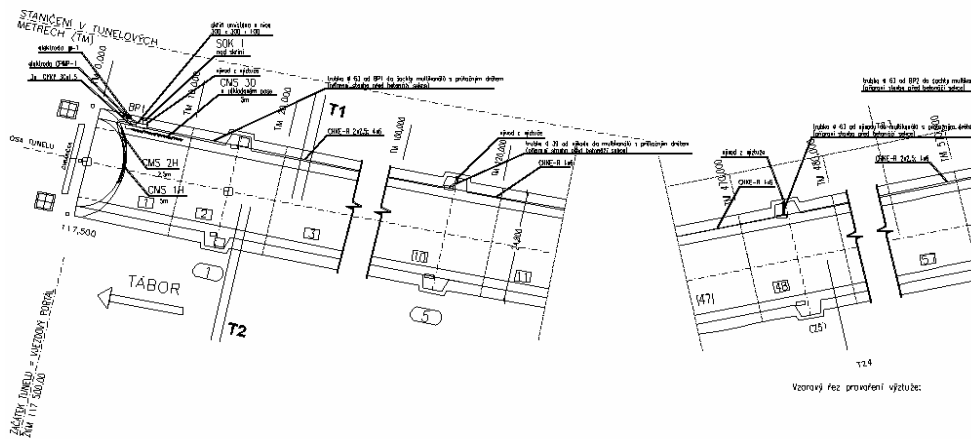
7. Przykłady projektu instalacji niedestrukcyjnej diagnostyki na obiektach mostowych

Elementy diagnostyczne zazwyczaj umieszcza się bardzo rozważnie. Powodem tego jest przede wszystkim cena całego systemu niedestruktywnej diagnostyki korozji zbrojenia. W przypadku budowli mostowych zazwyczaj projektuje się je w korozyjnie zagrożonych (krytycznych) miejscach w podporach, ewentualnie przyczółkach. Zazwyczaj wybierana jest również podpora referencyjna – jedna lub dwie, w zależności od wielkości budowy – gdzie umieszcza się poszczególne sondy i czujniki. W przypadku konstrukcji nośnej z zasady wybiera się miejsca w pobliżu dylatacji oraz miejsca, gdzie budowla mostowa przecina na przykład jezdnię, która zimą jest posypywana solą. Przykłady pokazano na rys. 9 i 10.



Rys. 9–10. Przykłady projektu rozmieszczenia czujników niedestrukcyjnej diagnostyki korozji zbrojenia na Tojskim moście w Pradze

Budowle tunelowe są wyposażane w diagnostykę korozji zbrojenia od końca lat dziewięćdziesiątych XX w. Od tamtej pory rozwiązania ustabilizowały się i obecnie większość tuneli jest wyposażona w system diagnostyki korozji zbrojenia, który w niektórych przypadkach jest uzupełniony okablowaniem, które umożliwia jednoczesne monitorowanie stanu pomiędzy wszystkimi odcinkami tunelów.



Rys. 11. Przykład instalacji niedestrukcyjnej diagnostyki korozji zbrojenia w budowlu tunelowej na obwodnicy Pragi

8. Zakończenie

Celem referatu była prezentacja aktualnego stanu projektowania trwałych systemów służących do monitorowania oddziaływania prądów błędzących i oceny zagrożenia korozyjnego budowli betonowych łącznie z niedestrukcyjną diagnostyką korozji zbrojenia.

Zaprezentowano technologie i urządzenia, które w tym celu są wykorzystywane w Czechach i na Słowacji. Stwierdza się, że w ciągu minionych dwudziestu lat na bieżąco poszukuje się nowych urządzeń, które będzie można używać z większym nastawieniem na ocenę zagrożenia korozyjnego konstrukcji betonowych. Poza tym w różnych krajach Europy i poza nią stwierdzono jedynie wykorzystanie urządzeń podobnych do tych opisanych powyżej. Autorzy są przekonani, że w praktyce realny obraz korozyjnego zachowania zbrojenia można otrzymać jedynie dzięki kombinacji różnych rodzajów urządzeń – podobnie jak to stwierdzono na konferencji Corrosion and Corrosion Protection of Steel in Concrete w 1994 roku w Anglii, Sheffield.

Urządzenia należy projektować korzystając z dotychczasowego doświadczenia, a także rozważnie i z profesjonalną oceną poszczególnych budowli i ich przeznaczenia. Jednostki specjalistyczne są odpowiedzialne za to, by projektowane urządzenia w czasie eksploatacji nie tylko działały, ale ich zastosowanie było też uzasadnione. Jednostki specjalistyczne muszą w każdym przypadku uzasadnić projekt i przedłożyć interpretację wyników. Również specjaliści są odpowiedzialni za to, aby przy projektowaniu brać pod uwagę ochronę przed kradzieżą urządzeń w taki sposób, aby mogły one monitorować oddziaływanie prądów błędzących i diagnozować korozję zbrojeń przez cały okres żywotności budynku i aby przez cały ten czas były w stanie dostarczać wystarczający obraz zagrożenia korozyjnego monitorowanej budowli.