

APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Zestaw pomiarowy GP-5000 GalvaPulse™ jako przykład aparatury wykorzystywanej do oceny procesu korozji zbrojenia w betonie

WIOLETTA RACZKIEWICZ

POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA W KIELCACH

Słowa kluczowe: beton, zbrojenie, korozja, pomiary nieniszczące

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiony został zestaw pomiarowy GP-5000 GalvaPulse™ – rodzaj aparatury badawczej, która jest pomocna przy ocenie stopnia zaawansowania procesu korozji zbrojenia w betonie. Zestaw ten wykorzystywany jest w badaniach nieniszczących metodą pomiaru impulsu galwanostaticznego. Za pomocą urządzenia GP-5000 GalvaPulse™ możliwy jest jednoczesny pomiar trzech parametrów: potencjału stacjonarnego zbrojenia, rezystywności otuliny betonowej oraz gęstości prądu korozyjnego. Zmierzone wartości tych parametrów, odniesione do pewnych wartości granicznych, pozwalają na ocenę procesu korozyjnego prętów zbrojeniowych w betonie. W artykule przedstawiono również metodykę prowadzenia pomiarów z wykorzystaniem zestawu GP-5000 GalvaPulse™.

The GP-5000 GalvaPulse™ Set-up as an example of the apparatus used in assessing the corrosion of reinforcement in concrete

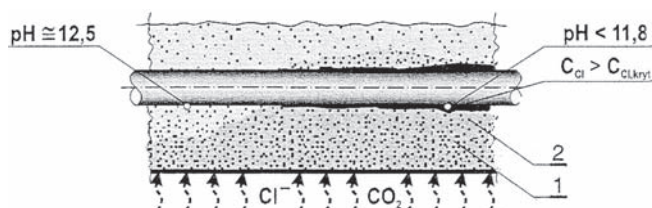
Keywords: concrete, reinforcement, corrosion, non-destructive measurements

ABSTRACT

The article presents a set GP-5000 GalvaPulse™ for measuring – type of test apparatus, which is helpful in assessing the severity of the corrosion process of the reinforcement in concrete. This set is used in non-destructive testing method for measuring the galvanostatic pulse. Using GP-5000 GalvaPulse™ it is possible to measure simultaneously three parameters: the potential of stationary reinforcement, resistivity of concrete cover and corrosion current density. The measured values of these parameters related to certain limits allow for the evaluation of the rebar corrosion in concrete. This paper presents the methodology of measurements using the set of GP-5000 GalvaPulse™.

1. WPROWADZENIE

W budownictwie betonowym istotnym problemem jest korozja stali zbrojeniowej elementów żelbetowych. W elementach tych pręty stalowe otoczone są warstwą betonu – otuliną. Jeśli beton otuliny jest szczelny i wysoko alkaliczny ($\text{pH} \approx 12,5 \div 13,5$) na styku betonu i stali tworzy się cienka warstwa pasywna, która uniemożliwia korozję zbrojenia. Jednak procesy fizyko-chemiczne wynikające z wpływu środowiska zewnętrznego na beton doprowadzają do stopniowej utraty jego właściwości ochronnych względem zbrojenia [1]. Główne przyczyny degradacji otuliny betonowej to karbonatyzacja betonu powodująca obniżenie jego wysoko alkalicznego odczynu na skutek oddziaływania dwutlenku węgla z powietrza, penetracja rozpuszczonych w wodzie chlorków w głąb porów w strukturze betonu, jak również zmiany temperatury i wilgotności oraz uszkodzenia mechaniczne, które powodują zarysowanie betonu [2]. W wyniku tych oddziaływań warstwa pasywna ulega rozpadowi i rozpoczyna się elektrochemiczna korozja zbrojenia (Rys. 1) [3]. Istotne jest, aby proces destrukcji uchwycić w stadium początkowym (niewidocznym jeszcze gołym okiem), kiedy łatwiej i skuteczniej można podjąć działania mające na celu jego ograniczenie i zahamowanie korozji zbrojenia.



Rysunek 1 Schemat powstawania korozji na zbrojeniu na skutek wpływu środowiska; 1 - front karbonatyzacji i jonów chlorkowych, 2 - strefa korodującego pręta [3]

Figure 1 Scheme of reinforcement corrosion due to environmental influences; 1 - impact of carbonation and chloride ions, 2 - zone of rod corrosion [3]

2. ELEKTROCHEMICZNA METODA OCENY ZAGROŻENIA KOROZJĄ ZBROJENIA

Ocena zagrożenia korozją stali zbrojeniowej w betonie określana jest głównie w oparciu o dwa rodzaje metod: materiałowe – polegające na badaniu właściwości ochronnych otuliny betonowej i elektrochemiczne – polegające na ocenie zagro-

żenia korozyjnego zbrojenia [3, 4]. Opracowanie metod elektrochemicznych jest ściśle związane z tym, że procesy korozyjne zbrojenia w betonie to procesy elektrochemiczne. Beton ma strukturę porowatą, której pory są wypełnione cieczą o odczynie zasadowym. Można zatem przyjąć, że jest to rodzaj elektrolitu. Stalowy pręt zbrojeniowy jest natomiast elektrodą umieszczoną w elektrolicie. Na skutek różnic stężenia jonów w elektrolicie oraz niejednorodności stali na powierzchni pręta powstają lokalne obszary anodowe i katodowe – ogniwa, które inicjują przepływ prądu elektrycznego. Taki sposób spojrzenia na element żelbetowy pozwolił na opracowanie metod badawczych, które w oparciu o pomiary wielkości elektrycznych pozwalają ocenić intensywność procesu korozji zbrojenia i wskazać obszary objęte korozją o różnym nasileniu [2]. Ocena zaawansowania procesu korozji zbrojenia metodami elektrochemicznymi określana jest generalnie na dwa sposoby: poprzez ilościowe zmiany na zbrojeniu (tj. przez wielkość ubytku zbrojenia lub ilość produktów korozji) oraz poprzez szybkość procesu korozji zbrojenia. W pierwszym przypadku ilościowe zmiany na zbrojeniu można określić jedynie za pomocą pomiaru natężenia prądu korozyjnego w warunkach laboratoryjnych używając skomplikowanej aparatury. Natomiast z uwagi na konieczność diagnozowania obiektów żelbetowych w warunkach polowych zostały opracowane pośrednie nieniszczące elektrochemiczne metody badawcze. Do metod tych należą metody polegające na pomiarach potencjału stacjonarnego zbrojenia, rezystywności otuliny betonowej i gęstości prądu korozyjnego, a także analiza szumu elektrochemicznego lub spektroskopia impedancyjna. Pomiary te wykonuje się oddzielnie, ale w niektórych przypadkach za pomocą jednego urządzenia można wykonać pomiary dwóch lub trzech różnych parametrów jednocześnie [3]. Oczywiście, im więcej parametrów mierzonych jest jednocześnie, tym lepiej, ponieważ ze względu na fakt, że są to jedynie pomiary pośrednie, warto dążyć do tego, aby możliwa była ich wzajemna weryfikacja.

W niniejszym artykule przedstawiona została jedna z metod elektrochemicznych – metoda pomiaru impulsu galwanostaticznego oraz zaprezentowano zestaw pomiarowy GP-5000 GalvaPulse™ służący do pomiarów tą metodą. W metodzie impulsu galwanostaticznego przy stałym

natężeniu prądu rejestruje się jednocześnie trzy różne parametry: potencjał stacjonarny zbrojenia, rezystywność otuliny betonowej oraz gęstość prądu korozyjnego (oszacowanie prędkości korozji).

3. OPIS URZĄDZENIA

Zestaw pomiarowy GP-5000 GalvaPulse™ to jedno z niewielu dostępnych na rynku urządzeń służących do badań korozji stali zbrojeniowej w betonie zarówno w warunkach laboratoryjnych, jak i w terenie. Może więc być użyty i w celach dydaktycznych, i strictly badawczych, zarówno naukowych, jak i usługowych. Aparatura ta wykorzystuje nieniszczącą metodę elektrochemiczną umożliwiającą ustalenie występowania korozji, jej stopnia zaawansowania oraz prawdopodobieństwo jej intensywności w czasie za pomocą trzech niezależnych parametrów: potencjału stacjonarnego zbrojenia i jego gradientu, rezystywności otuliny betonowej oraz gęstości prądu korozyjnego [5]. Zestaw pomiarowy mieści się w walizce średniej wielkości (Rys. 2). Zasadnicze elementy tego zestawu to ręczny minikomputer PSION (wraz z zainstalowanym oprogramowaniem GalvaPulse), ręczna srebrowo-chlorowa (Ag/AgCl) elektroda pomiarowa wraz z okablowaniem, która pełni rolę elektrody odniesienia oraz urządzenie kalibracyjne. Przydatnymi elementami wyposażenia są również: lokalizator zbrojenia i miernik przewodności elektrycznej oraz wyposażenie uzupełniające.



Rysunek 2 Zestaw pomiarowy GP-5000 GalvaPulse™:

- a) walizka z akcesoriami, b) minikomputer PSION,
- c) ręczna elektroda Ag/AgCl, d) kalibrator [5]

Figure 2 GP-5000 Set-up GalvaPulse™:

- a) case with accessories, b) minicomputer PSION,
- c) manual electrode Ag/AgCl, d) calibrator [5]

4. METODYKA POMIARÓW

4.1 Prace przygotowawcze

Przed przystąpieniem do pomiarów należy wykonać kilka czynności wstępnych, do których należy określić miejsce położenia badanego zbrojenia, sprawdzenie ciągłości zbrojenia na całym odcinku pomiarowym oraz odpowiednie przygotowanie powierzchni betonu na badanym obszarze. Powyższe prace przygotowawcze można wykonać przy użyciu dołączonych do zestawu: lokalizatora zbrojenia, miernika przewodności elektrycznej, a także sprzętu dodatkowego, czyli kabli z odpowiednimi końcówkami, kotwami i szczypcami umożliwiającymi połączenie ze zbrojeniem. Na badanej powierzchni należy rozmieścić siatkę punktów pomiarowych. Punkty te powinny znajdować się bezpośrednio nad badanym zbrojeniem. Regularne przyjęcie punktów pomiarowych umożliwi utworzenie graficznych pól rozkładu mierzonych parametrów na całej badanej powierzchni konstrukcji lub jej fragmencie.

Badana powierzchnia powinna być silnie nawilżona wodą. Właściwe nawilżenie można kontrolować poprzez pomiar rezystywności betonu; podczas pomiarów nie powinna ona być większa niż 50 kΩ. Zmiany w wilgotności betonu skutkują zmianami w wartościach rezystywności, a to, przy zadanym stałym natężeniu prądu, może doprowadzić do błędnych pomiarów potencjału stacjonarnego.

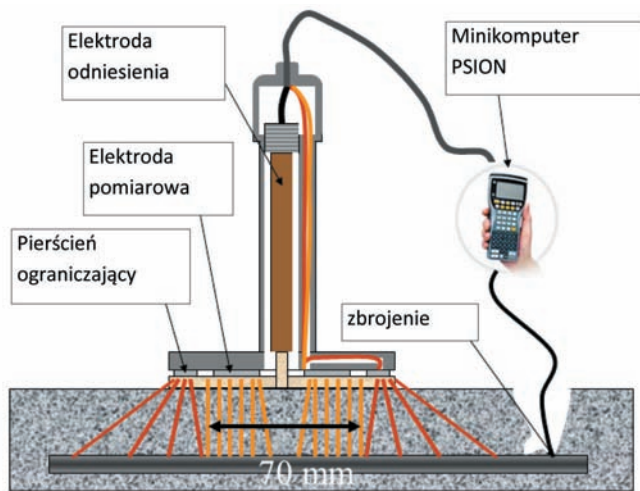
Kolejną czynnością jest przygotowanie ręcznego komputera PSION. Przed rozpoczęciem pomiarów należy wprowadzić dane dotyczące:

- współrzędnych punktów pomiarowych na badanej powierzchni,
- czasu trwania impulsu (5-20 s),
- natężenia prądu (5-400 μA); przy większej korozji deklaruje się wartość wyższą,
- parametrów pręta zbrojeniowego (średnicy, długości, pola powierzchni),
- włączenia lub nie pierścienia ograniczającego zasięg działania elektrody.

4.2 Wykonywanie pomiarów

Po wykonaniu czynności opisanych w punkcie 4.1 można przystąpić do prowadzenia pomiarów. Należy połączyć elektrodę odniesienia z urządzeniem pomiarowym oraz z prętem zbrojeniowym, tak, aby obwód był zamknięty (Rys. 3). W tym celu

może okazać się konieczne odkucie otuliny betonowej na niewielkim odcinku na tyle, aby możliwe było dołączenie kabla do pręta. Nie są to więc badania zupełnie nieniszczące, ale seminieniszczące, czyli takie, w wyniku których może dojść do niewielkich przypowierzchniowych uszkodzeń materiału.



Rysunek 3 Schemat połączenia GP-5000 GalvaPulse™ z prętem zbrojeniowym [5]

Figure 3 Scheme of joining the set of GP-5000 GalvaPulse™ with rebar [5]

Zestaw GP-5000 GalvaPulse™ pozwala na dwa rodzaje pomiarów:

a) pomiary podstawowe, które obejmują pomiar potencjału stacjonarnego zbrojenia oraz rezystywności otuliny betonowej,

b) pomiary rozszerzone, które oprócz pomiaru potencjału stacjonarnego i rezystywności otuliny mierzą również gęstość prądu korozyjnego.

Bardziej miarodajne jest zawsze prowadzenie pomiarów rozszerzonych, jednak ich wykonanie wiąże się ze znacznym wydłużeniem czasu badania, zwłaszcza jeżeli badany obszar obejmuje dużą powierzchnię. W praktyce można więc wykonać pomiary podstawowe na całym badanym obszarze, a na podstawie otrzymanych wyników zdecydować, które mniejsze, lokalne obszary wymagają pomiarów rozszerzonych. Na podstawie wstępnej analizy wyników, jeszcze przed przesłaniem ich do komputera osobistego, można również zdecydować o tym, czy konieczne są badania dodatkowe, takie jak: badania materiałowe analizy chlorków i karbonatyzacji, sklerometryczne badania wytrzymałości betonu czy odkrywki zbrojenia.

Wszystkie prowadzone pomiary na danym obszarze wykonywane są dla stałych, wstępnie zadeklarowanych parametrów. Jednak istnieje możliwość doraźnych zmian ustawień dla pojedyncze-

go punktu pomiarowego. Zazwyczaj taka zmiana ustawień jest konieczna w przypadku pojawienia się lokalnego ogniska korozyjnego na pręcie zbrojeniowym o stopniu korozji znacznie przewyższającym sąsiednie obszary. W takiej sytuacji na monitorze pojawia się komunikat „please make a new measurement”, co oznacza, że mierzone wartości są niewłaściwe i należy powtórzyć pomiar. Brak zadowalającego wyniku pomiarów może być związany z wysokim stopniem skorodowania zbrojenia, a wówczas należy skorygować wstępne ustawienia poprzez zadeklarowanie dłuższego czasu pomiaru i wyższego natężenia prądu. Czasami jednak brak odczytu jest związany z niewłaściwym nawilżeniem powierzchni. W takim przypadku należy spróbować dokonać pomiaru o 1÷3 centymetry dalej od wyznaczonego punktu, ponownie intensywnie nawilżyć powierzchnię betonu i odczekać kilka minut przed pomiarem.

5. ANALIZOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

Dzięki oprogramowaniu, które zostało zainstalowane w minikomputerze PSION zestawu GP-5000 GalvaPulse™, możliwe jest automatyczne gromadzenie wszystkich wyników pomiarów w postaci zapisanych plików oraz ich podgląd w dowolnym momencie w czasie prowadzenia badań lub po badaniach.

Oczywiście możliwe jest także przesłanie zgromadzonych wyników na inny komputer. Warunkiem jest wcześniejsze wgranie załączonego do zestawu oprogramowania (Rys. 4).



Rysunek 4 Strona startowa oprogramowania GP-5000 GalvaPulse™ [5]

Figure 4 GP-5000 GalvaPulse™ software Homepage [5]

Wyniki uzyskane z pomiarów to wartości zmierzono-
nego potencjału stacjonarnego zbrojenia, rezy-
stywności otuliny betonowej i gęstości prądu ko-
rozyjnego (prędkość korozji). Aby móc właściwie
je interpretować i na ich podstawie ocenić stopień
korozji, należy porównać je z następującymi
wartościami kryterialnymi [5]:

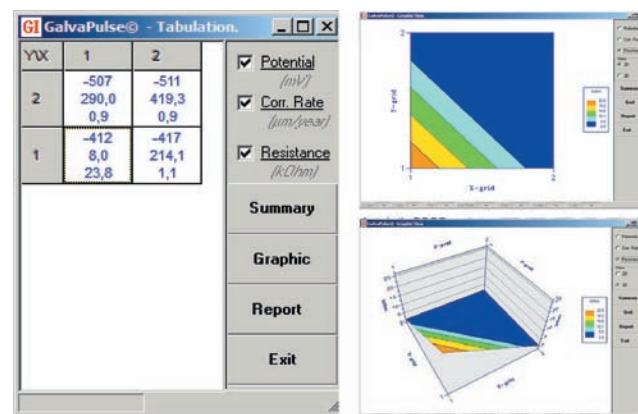
- a) dla potencjału stacjonarnego, E_{st} :
- $E_{st} < -350$ mV – korozja z prawdopodobo-
dobieństwem 95%,
 - -350 mV $\leq E_{st} \leq -200$ mV – korozja z prawdopo-
dobieństwem 50%,
 - $E_{st} > -200$ mV – korozja z prawdopodobo-
dobieństwem 5%,
- b) dla rezystancji otuliny betonowej, Θ :
- $\Theta \leq 10$ k Ω ×cm – duże prawdopo-
dobieństwo korozji,
 - 10 k Ω ×cm $\leq \Theta < 20$ k Ω ×cm – średnie prawdopo-
dobieństwo korozji,
 - $\Theta \geq 20$ k Ω ×cm – małe prawdopo-
dobieństwo korozji,
- c) dla gęstości prądu korozyjnego, i_{cor} :
- $i_{cor} < 0,5$ μ A/cm² – obszary o nie prognozo-
wanej aktywności korozyjnej,
 - $0,5 \leq i_{cor} < 2$ μ A/cm² – nieistotna aktywność
korozyjna,
 - $2 \leq i_{cor} < 5$ μ A/cm² – niska aktywność ko-
rozyjna,
 - $5 \leq i_{cor} < 15$ μ A/cm² – umiarkowana aktyw-
ność korozyjna,
 - $i_{cor} \geq 15$ μ A/cm² – wysoka aktywność ko-
rozyjna.

5.1 Analiza wyników w programie GP-5000 GalvaPulse™

Zgromadzone wyniki można analizować w opar-
ciu o dane stabelaryzowane lub przedstawione
w postaci wykresów 2D i 3D, graficznych map
rozkładu mierzonych parametrów na badanej po-
wierzchni.

Na Rysunku 5 pokazane zostały przykładowe
wyniki z pomiarów postępu korozji zbrojenia
w jednej z żelbetowych próbek o wymiarach 210
x 230 mm. Próbkę poddawano cyklowi mrożenia
w roztworze NaCl. Na każdej próbce przyjęte
zostały cztery punkty pomiarowe, rozmieszczone
równomiernie nad dwoma prętami zbrojeniowy-
mi, a w każdym punkcie mierzone były trzy para-
metry: potencjał stacjonarny zbrojenia, rezystan-
cja otuliny i gęstość prądu korozyjnego. Jak widać
na Rysunku 5 wartości pomierzonych paramet-
rów dla każdego z punktów o współrzędnych (1,1),

(1,2), (2,1), (2,2) zamieszczone są w niewielkiej
tabelce, natomiast graficzne ich rozkłady na po-
wierzchni ograniczonej punktami przedstawiają
wykresy, odpowiednio w wersji 2D i 3D. Przykła-
dowo na rysunku pokazane zostały tylko wykresy
dla jednego z parametrów – rezystancji otuliny
betonowej, jednak możliwe jest wygenerowanie
wykresów również dla pozostałych dwóch para-
metrów.



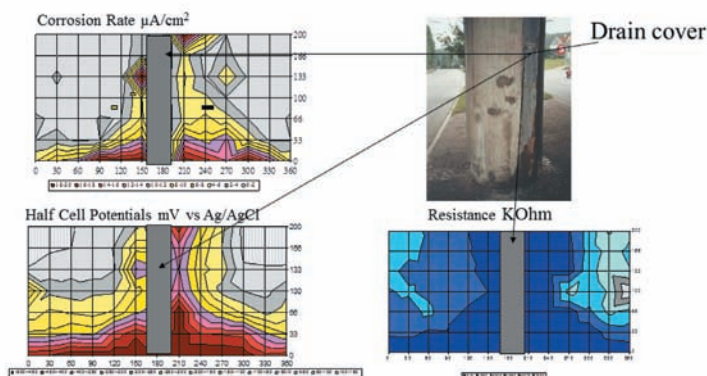
Rysunek 5 Wyniki pomiarów zestawem GP-5000 GalvaPulse™ dla próbki o 4 punktach pomiarowych (opis w tekście)

Figure 5 The measurement results by GP-5000 GalvaPulse™ set for the specimen of 4 measuring points (description in the text)

Ponieważ próbka jest niewielka, a punkty po-
miarowe tylko cztery, graficzne rozkłady mie-
rzonych parametrów nie są zbyt efektowne.
Możliwe jest jednak przedstawianie powierzchni
o znacznie większych rozmiarach i o bardziej
złożonym kształcie. Na Rysunku 6 pokazane zo-
stały mapy rozkładu wszystkich trzech mierzonych
parametrów na jednym z diagnozowanych fi-
larów mostowych. Przykład pochodzi z [5], gdzie,
oprócz tego, zamieszczono wyniki z badań polo-
wych kilku innych żelbetowych elementów kon-
strukcji przy użyciu GP-5000 GalvaPulse™.
Możliwe jest również generowanie raportów
z przeprowadzonych pomiarów. Rysunek 7 przed-
stawia wybrane komputerowe strony raportu dla
jednej z badanych próbek. Po wypełnieniu stron
– wpisaniu odpowiednich danych dotyczących
badań (parametrów próbki, daty badania), raport
taki można wydrukować.

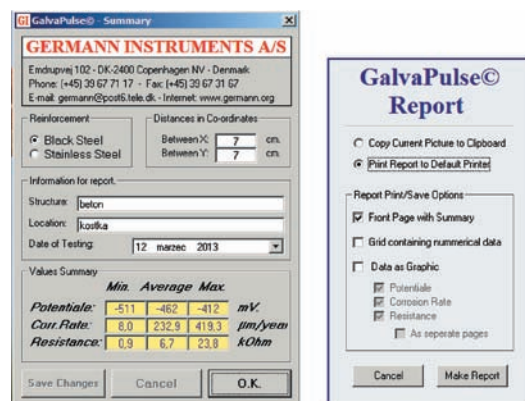
5.2 Analiza wyników po transponowaniu do innego programu

Wyniki pomiarów zapisywane są w postaci pli-
ków tekstowych, więc można je łatwo transpo-
nować do innych programów w celu dowolnego



Rysunek 6 Mapy rozkładu trzech parametrów mierzone na filarze mostu [5]

Figure 6 The values of the three measured parameters for the pillar of the bridge – a graphic image [5]



Rysunek 7 Przykładowe komputerowe strony raportu z wykonanych pomiarów

Figure 7 Sample computer pages from the report of measurements

ich analizowania. Wówczas można przeprowadzić kompleksową analizę wyników uzyskanych na przykład z badań prowadzonych na tym samym obiekcie w różnym czasie i monitorować zachodzące procesy korozyjne lub przeprowadzić analizę wyników badań doświadczalnych wykonanych na próbkach laboratoryjnych różniących się składem betonu, rodzajem zbrojenia albo o zmieniających się warunkach otoczenia.

W artykule przedstawiono wyniki badań z użyciem zestawu GP-5000 GalvaPulse™ do obserwacji procesu korozji zbrojenia spowodowanego działaniem soli chlorkowych w dwóch typach żelbetowych próbek. Próbki różniły się rodzajem cementu. W pierwszym typie był to cement portlandzki CEM I, a w drugim – cement CEM IIIA o podwyższonej odporności na działanie chlorków. Jako zbrojenie w próbkach zastosowano pręty ze stali BST 500 (w jednym przypadku użyto prętów wstępnie skorodowanych). Wykonano po 9 próbek każdego typu. Początkowo, za pomocą zestawu GP-5000 GalvaPulse™ wykonane zostały pomiary potencjału stacjonarnego, rezystywności otuliny betonowej oraz gęstości prądu korozyjnego

go jako pomiary odniesienia. Następnie, w kolejnych etapach, próbki poddawano cyklom mrożenia w 3% roztworze NaCl (w celu zainicjowania i pogłębienia procesów korozyjnych), a po każdym etapie na próbkach wykonywano pomiary. Wyniki analizowano w programie Excel. W Tabeli 1 zestawione zostały wartości średnie mierzonych parametrów (gęstości prądu korozyjnego, potencjału stacjonarnego zbrojenia oraz rezystywności otuliny betonowej) uzyskane z pomiarów w czterech punktach na każdej próbce w kolejnych etapach badań.

Uzyskane wyniki, w oparciu o kryteria podane w punkcie 5, pozwalają na kompleksową analizę postępu procesu korozji w badanych próbkach. Należy zwrócić uwagę, że najbardziej miarodajne są pomiary gęstości prądu korozyjnego. Największe wartości tego parametru zarejestrowano na próbkach, w których znajdowały się pręty wstępnie skorodowane. Zgodnie z oczekiwaniami mniejsze wartości zarejestrowano na próbkach wykonanych z cementu CEM IIIA (odpornego na działanie chlorków) niż na próbkach z cementem CEM I. Mniej czytelne są natomiast pomiary pozosta-

Tabela 1 Średnie wyniki pomiarów dla dwóch typów próbek
Table 1 Average results of the measurements for the two types of specimens

	i_{cor} [mA/cm ²]			E_{st} [mV]			Θ [kΩ×cm]		
	e. I	e. II	e. III	e. I	e. II	e. III	e. I	e. II	e. III
CEM I	0,99	3,38	6,62	-209,8	-243,2	-255,2	1,48	1,29	1,32
CEM IIIA	1,11	2,41	2,42	-262,6	-199,2	-159,8	2,60	2,34	3,09
pręty skor.	2,39	4,16	20,24	41,9	-363,1	-440,1	0,98	0,88	0,94

łych parametrów. Interpretacja wyników pomiaru potencjału stacjonarnego zbrojenia choćby ze względu na zalecane kryteria jest trudna i raczej tylko szacunkowa. Przyjęte trzy zakresy przedziałów, które określają prawdopodobieństwo wystąpienia korozji na poziomie 5%, 50% lub 95%, są mało precyzyjne. Ponadto, z analizy wartości dla próbek z cementem CEM IIIA wynika, że proces korozji się zmniejszał, a jest to raczej niemożliwe. Być może takie wartości wynikają ze sposobu pomiaru – w czasie, kiedy zawilgocenie próbek nie było jeszcze ustabilizowane lub czas pomiaru był zbyt długi, co mogło spowodować polaryzację zbrojenia. W każdym razie mierzony parametr na pewno nie jest parametrem, który precyzyjnie i jednoznacznie określa stopień korozji zbrojenia. Podobnie jest w przypadku oceny korozji na podstawie rezystywności otuliny betonowej. Zgodnie z kryterium podanym w punkcie 5 wszystkie uzyskane wyniki rezystywności betonu były mniejsze od 10 [kΩ×cm], co mogłyby sugerować „duże

prawdopodobieństwo korozji”, ale takie wartości były raczej związane z intensywnym nawilżaniem betonowej powierzchni próbek, koniecznym do właściwego wykonania pomiarów.

6. WNIOSKI

Badania wykonane nieniszczącą elektrochemiczną metodą pomiaru galwanostaticznego przy użyciu zestawu GP-5000 GalvaPulse™ pozwalają na ocenę stopnia zaawansowania korozji zbrojenia w betonie. Nie są to jednak pomiary dokładne. Wśród mierzonych parametrów najbardziej miarodajne wyniki można uzyskać dla gęstości prądu korozyjnego. Pomiary potencjału stacjonarnego zbrojenia i rezystywności otuliny betonowej są mniej czytelne. Istotne jest zatem, aby w trakcie badań wykonywać jednocześnie pomiary wszystkich trzech parametrów i analizować je kompleksowo, a w celu ich weryfikacji wykonać odkrywki zbrojenia oraz badania materiałowe.

LITERATURA

- [1] El-Redy M. A., *Steel-Reinforced Concrete Structures*, CRC Press 2008.
- [2] Ściślewski Z., *Ochrona konstrukcji żelbetowych*, Warszawa, Arkady 1999.
- [3] Jaśniok M., Jaśniok T., *Metody diagnostyki zagrożenia korozyjnego zbrojenia w konstrukcjach żelbetowych (cz. I)*, *Przegląd Budowlany* 2/2007, 20-25.
- [4] Łakomy T., *Korozja zbrojenia w obiektach mostowych w zależności od stanu betonu w konstrukcji*, *Rozprawa doktorska*, Warszawa, 2009.
- [5] <http://www.germann.org/TestSystems/GalvaPulse.pdf>