

DOI: 10.15199/40.2016.6.4

## Prosta metoda ograniczenia zasięgu polaryzacji w badaniach szybkości korozji zbrojenia w betonie

*Przedstawiono założenia autorskiej metody ograniczenia zasięgu rozchodzenia się prądów polaryzacyjnych podczas badań szybkości korozji zbrojenia w betonie. Według założeń metody ograniczenie zasięgu polaryzacji uzyskuje się poprzez nacięcie całej grubości otuliny betonowej, tak aby średnica nacięcia odpowiadała średnicy kołowej przeciwelektrody w głowicy pomiarowej. Pierścieniowe nacięcie wypełnia się izolatorem elektrycznym, który równocześnie skleja lokalnie uszkodzony beton. W celu weryfikacji założeń proponowanej metody przeprowadzono badania elektrochemiczne metodami LPR i EIS w roztworze modelującym ciecz porową betonu. Elektroda badaną był stalowy pręt ze stali gładkiej, natomiast elektrody pomocnicze wykonano w kształcie kołowej blachy i podłużnej siatki drucianej. Pierścieniowy izolator w cieczy porowej zamodelowano fragmentem rury z tworzywa sztucznego. W podsumowaniu analizowane zjawisko wyjaśniono przybliżonym modelem elektrycznym.*

**Słowa kluczowe:** konstrukcje betonowe, ciecz porowa, stal zbrojeniowa, opór polaryzacji, spektroskopia impedancyjna

## A simple method of limiting polarization range during measurements of corrosion rate of reinforcement in concrete

*This paper describes the original method of limiting polarization current distribution during the measurements of corrosion rate of reinforcement in concrete. On the basis of assumptions behind this method, the polarization range can be limited by cutting through the concrete cover thickness providing that the cut diameter corresponds to the diameter of a disk electrode in a measuring head. The ring-shaped cut is filled with an insulator which simultaneously fixes locally damaged concrete. Electrochemical measurements by LPR and EIS techniques were used to verify the assumptions of the proposed method in the solution simulating concrete pore solution. A working electrode was a smooth steel bar, and counter electrodes were made of circular metal plate and rectangular wire mesh. A fragment of the plastic pipe simulated the ring-shaped dielectric in the pore solution. In the summary, the approximate electrical model explains the analysed phenomenon.*

**Keywords:** concrete structures, pore solution, reinforcing steel, polarization resistance, impedance spectroscopy

### 1. Wprowadzenie

W zaawansowanej diagnostyce korozyjnej zbrojenia konstrukcji betonowych do oceny zagrożenia korozją stosuje się głównie trzy metody polaryzacyjne: pomiaru oporu polaryzacji LPR, impulsu galwanostaticznego GP oraz spektroskopii impedancyjnej EIS. We wszystkich wymienionych metodach pomiary prowadzi się za pomocą potencjostatu  $I$  w tzw. układzie trójelektrodowym (Rys. 1), w którym elektrodą badaną 2 jest pręt zbrojeniowy, a elektroda pomocnicza 3 wraz z elektrodą referencyjną 4 są umieszczane w głowicy pomiarowej na powierzchni betonu. Niezależnie od zastosowanej metody najtrudniejszym problemem pomiarowym jest brak znajomości badanej powierzchni prętów zbrojeniowych, niezbędnej do wyznaczenia szybkości korozji zbrojenia. Najpopularniejszym częściowym rozwiązaniem tego problemu

### 1. Introduction

The advanced diagnostic testing of reinforcement corrosion in the concrete structure to evaluate corrosion risk employs three main polarization techniques: linear polarization resistance LPR, galvanostatic pulse (GP) and electrochemical impedance spectroscopy. Measurements made by all of these methods are performed with a potentiostat  $I$  in a three-electrode system (Fig. 1), where the working electrode 2 is a rebar, the counter electrode 3 and the reference electrode 4 are placed in the measuring head on the concrete surface. Regardless of the used method, the unknown surface area of the rebars, which is valid for determining corrosion rate in the reinforcement, is the most serious measuring problem. The most common and partial solution for the above problem is the so called 'guard ring' – the additional outer counter

#### ■ Informacje o Autorach:

Dr inż. Tomasz Jaśniok – adiunkt w Katedrze Konstrukcji Budowlanych Politechniki Śląskiej, absolwent Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej. Specjalizuje się w diagnostyce korozyjnej konstrukcji żelbetowych metodami elektrochemicznymi.  
e-mail: tomasz.jasniook@polsl.pl

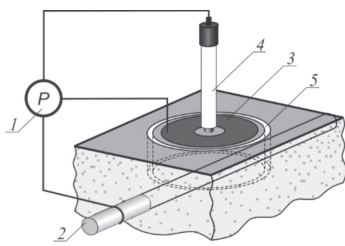
Dr hab. inż. Mariusz Jaśniok – adiunkt w Katedrze Konstrukcji Budowlanych Politechniki Śląskiej, absolwent Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej. Zajmuje się metodami elektrochemicznej regeneracji betonu oraz diagnostyką korozyjną konstrukcji żelbetowych metodami elektrochemicznymi.  
e-mail: mariusz.jasniook@polsl.pl

#### ■ About the Authors:

Dr inż. Tomasz Jaśniok [PhD. Eng.] – assistant professor in the Department of Building Structures at the Silesian University of Technology, a graduate of the Faculty of Civil Engineering. He specializes in corrosion diagnostics of reinforced concrete structures by electrochemical methods.  
e-mail: tomasz.jasniook@polsl.pl

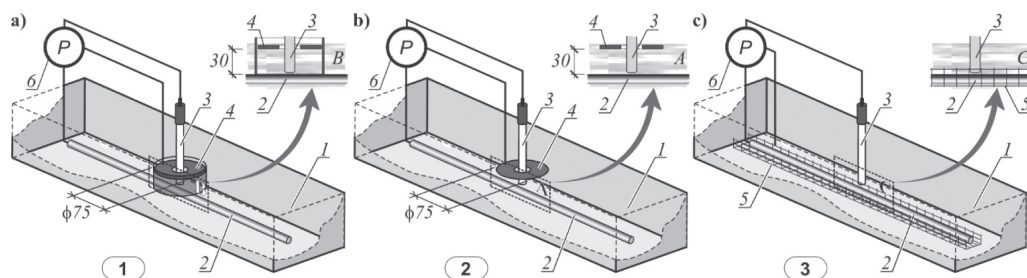
Dr hab. inż. Mariusz Jaśniok [PhD. DSc. Eng.] – assistant professor in the Department of Building Structures at the Silesian University of Technology. He specializes in issues related to electrochemical methods of concrete restoration and corrosion diagnostics of reinforced concrete structures by electrochemical methods.  
e-mail: mariusz.jasniook@polsl.pl

■ Otrzymano / Received: 31.01.2016 • Przyjęto / Accepted: 4.04.2016



Rys. 1. Koncepcja metody ograniczenia zasięgu polaryzacji zbrojenia w betonie [2] – opis w tekście

Fig. 1. The method concept of limiting the polarization range of reinforcement in concrete [2] – described in the text



Rys. 2. Stanowiska badawcze zastosowane do weryfikacji koncepcji ograniczenia prądów polaryzacyjnych na przecie zbrojeniowym w wyciągu wodnym z betonu – opis w tekście

Fig. 2. A test stand for verifying the concept of limiting polarization currents over the rebar in the concrete aqueous extract – description in the text

jest zastosowanie tzw. ringu ochronnego, czyli dodatkowej zewnętrznej elektrody pomocniczej, której zadaniem jest ograniczenie rozchodzenia się prądów polaryzacyjnych [4, 6, 7]. Drugim sposobem jest wykorzystanie w pomiarach kilku przeciw elektrod o zróżnicowanych powierzchniach, a następnie łączna analiza uzyskanych wyników w celu wyznaczenia powierzchni polaryzacji [2]. Trzecim możliwym rozwiązaniem jest prowadzenie badań polaryzacyjnych na wyciętych z konstrukcji rdzeniach betonowych wraz z fragmentami prętów zbrojeniowych, co po rozkruszeniu betonu jednoznacznie umożliwia określenie powierzchni badanego zbrojenia [5, 9]. Każda z wymienionych metod ma swoje wady i zalety, które szerzej omówiono w pracach [1, 4, 8].

Opisywana w niniejszym artykule nowa metoda [2] ograniczenia rozptyłu prądów polaryzacyjnych (Rys. 1) polega na pierścieniowym nacięciu 5 całej grubości otuliny (nie przecinając zbrojenia), tak aby średnica nacięcia odpowiadała średnicy kołowej przeciw elektrody 3 w głowicy pomiarowej. Następnie szczelinę nacięcia wypełnia się izolatorem elektrycznym, np. żywicą epoksydową, która równocześnie skleja uszkodzony beton. W celu wstępnej weryfikacji opisanej koncepcji przeprowadzono badania doświadczalne metodami LPR i EIS, przyjmując modelowy roztwór cieczy porowej jako odwzorowanie betonu, a pojedynczy gładki pręt stalowy jako zbrojenie.

## 2. Przebieg badań

Badania przeprowadzono w naczyniu z tworzywa sztucznego 1 wypełnionego roztworem odwzorowującym ciecz porową betonu i zapewniającego właściwości ochronne wobec zbrojenia 2 (Rys. 2). Roztwór uzyskano z rozdrobnionego betonu klasy C20/25 wykonanego z cementu CEM I 42,5 R przesianego przez sito o oczkach 0,2 mm, do którego dodano wody destylowanej w stosunku wagowym 1:1. Po 48 godzinach odsączono ciecz uzyskując wyciąg wodny z betonu charakteryzujący się pH = 12,4 oraz przewodnością 8 mS/cm.

W naczyniu 1 wypełnionym wyciągiem wodnym z betonu umieszczono wypolerowany mechanicznie gładki pręt 2 ze stali węglowej gatunku S235 (dawniej St3S) średnicy 12 mm i długości 500 mm (elektroda badana). Nad prętem umieszczano chloro-srebrową elektrodę odniesienia 3. Zastosowano dwa rodzaje elektrod pomocniczych w postaci krążka z blachy 4 średnicy 75 mm (Rys. 2a i b) oraz podłużnej drucianej siatki 5 (Rys. 2c) – obie ze stali nierdzewnej. Kołową przeciw elektrodę 4 w dwóch pierwszych układach pomiarowych umieszczono 30 mm nad powierzchnią pręta (Rys. 2a i b). W układzie nr 1 (Rys. 2a) przeciw elektrodę 4 osłonięto izolatorem w formie rury PCV opierającej się na górnej powierzchni pręta 2 i wystającej ponad lustro cieczy. W układzie nr 2 nie zastosowano żadnego izolatora elektrycznego jako ogranicznika prądu. Natomiast układzie pomiarowym nr 3, będącym układem referencyjnym z jednoznacznie zdefiniowaną powierzchnią polaryzacji, przeciw elektrodę siatkową 5 ułożono równolegle do elektrody badanej 2, co umożliwiło pełną polaryzację całej powierzchni pobocznej pręta. Wszystkie elektrody w opisanych układach trój elektrodowych podłączono do potencjostatu 6, którym wykonano pomiary metodami EIS i LPR.

elektrode used to restrict the distribution of polarization currents [4, 6, 7]. The second method consists in using a few counter electrodes during the measurements, the surface of which differs, and then analysing the global results to determine the polarized area [2]. Another solution is based on conducting polarization measurements on concrete cores cut out from the structure with fragments of rebars. The polarized area of the tested reinforcement can be clearly determined after powdering concrete [5, 9]. Every method has both advantages and disadvantages discussed in the papers [1, 4, 8].

A new method [2] of restricting the distribution of polarization currents (Fig. 1), presented in this paper, involved the ring-shaped cutting 5 along the whole thickness of cover (without cutting the reinforcement), to obtain the cut diameter corresponding to the diameter of the disk counter electrode 3 placed in the measuring head. Then, the cut slit was filled with an insulator, e.g. epoxy resin which simultaneously fixed the damaged concrete. For preliminary verification of the presented concept, experimental tests by LPR and EIS techniques were conducted, in which the simulated pore solution represented concrete, and a single, smooth steel bar represented the reinforcement.

## 2. Course of tests

The tests were carried out in the plastic container 1 filled with the solution simulating the concrete pore solution and providing protection for the reinforcement 2 – Fig. 2. The solution was prepared from powdered concrete of class C20/25 made of cement CEM I 42,5 R, passed through the sieve of 0.2 mm mesh size, to which distilled water was added in a 1:1 weight ratio. The solution was filtrated after 48 hours, and the concrete aqueous extract with pH = 12.4 and conductivity of 8 mS/cm was obtained.

A mechanically polished smooth bar 2 made of S235 common steel (former St3S) with a diameter of 12 mm and a length of 500 mm (the working electrode) was placed in the container 1 filled with the concrete aqueous extract. The silver-chloride reference electrode 3 was placed over the rebar. Two types of stainless steel counter electrodes were used: a disk electrode made of metal plate 4 with a diameter of 75 mm (Figs. 2a and 2b) and a rectangular wire mesh electrode 5 (Fig. 2c). In first two setups, the disk counter electrode 4 was placed 30 mm over the bar surface (Figs. 2a and b). In the system No. 1 (Fig. 2a), the counter electrode 4 was covered with the PVC pipe dielectric supported on the upper surface of the bar 2 and jutting out of the solution. The system No. 2 contained no dielectric as the current limiter. However, in the system No. 3, which was the reference system with clearly defined polarized area, the mesh counter electrode 5 was placed parallel to the working electrode 2 which ensured the complete polarization of the whole side surface of the bar. All the electrodes in the above three-electrode systems were connected to the potentiostat 6 used to make measurements by EIS and LPR techniques.

Po czasie ok. 2÷3 godzin, kiedy zmiana potencjału była mniejsza niż 2 mV/h, wykonywano badania EIS przy ustalonym zakresie częstotliwości 0,01 Hz÷100 000 Hz, stosując sinusoidalny sygnał zaburzający o amplitudzie potencjału 10 mV względem potencjału korozyjnego. Przykładowe wyniki badań w poszczególnych układach pomiarowych będące podstawą poniższych analiz przedstawiono na wykresach Nyquista (Rys. 3a). Następnie po ponownym wypolerowaniu pręta i stabilizacji potencjału wykonywano pomiary stałoprądowe (LPR). Zbrojenie polaryzowano z szybkością 1 mV/s w zakresie zmiany potencjału od -150 mV do +100 mV względem potencjału stacjonarnego przy włączonej kompensacji IR. Przykładowe wyniki badań pokazano na wykresie potencjał-gęstość prądu (Rys. 3b).

### 3. Wyniki i analiza badań

W analizie wyników badań polaryzacyjnych skupiono uwagę wyłącznie na dwóch parametrach: oporze polaryzacji  $R_p$  (LPR) i oporze przeniesienia ładunku  $R_t$  (EIS). W przypadku pomiarów impedancyjnych, ze względu na bardzo wyraźny i niezburzony kształt widma, możliwe było wyznaczenie oporu przeniesienia ładunku  $R_t$  bezpośrednio z wykresu Nyquista, w wyniku ekstrapolacji do osi poziomej łukowego rozkładu punktów pomiarowych – por rys. 3a. Przyjmując jako referencyjny opór  $R_t$  uzyskany w układzie nr 3 z podłużną elektrodą siatkową, z ilorazu oporów otrzymano względną powierzchnię polaryzacji w pierwszych dwóch układach pomiarowych. Opór polaryzacji  $R_t$  w układzie nr 2 i 3 wynosił 1,1 k $\Omega$ , natomiast w przypadku układu nr 1 z izolatorem elektrycznym osiągnął znacznie wyższą wartość 1,8 k $\Omega$  (rys. 3a). Jednakowe wartości  $R_t$  w układzie nr 2 i 3 mogą oznaczać, że elektroda kołowa polaryzuje całą powierzchnię pręta. Natomiast zastosowanie izolatora ogranicza zasięg prądów polaryzacyjnych do ok. 60% powierzchni badanego pręta, co można stwierdzić na podstawie obliczonego stosunku oporów (1,1/1,8).

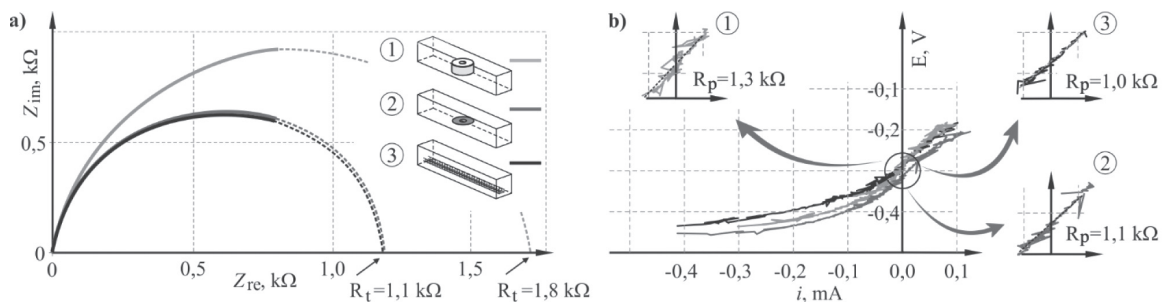
Podobną analizę przeprowadzono w przypadku pomiarów stałoprądowych wyznaczając opory polaryzacji  $R_p$  z wąskich ( $\pm 30$  mV) quasilineowych zakresów krzywych polaryzacji w skali arytmetycznej (rys. 3b). Traktując opór polaryzacji w układzie nr 3 jako referencyjny, wyznaczono zasięg polaryzacji zbrojenia w układzie nr 1 z izolatorem (1,0/1,3) równy ok. 80% oraz w układzie nr 2 bez izolatora ok. 85% (1,1/1,3). W tym przypadku różnica między wynikami uzyskanymi

After ca. 2÷3 hours, when a change in potential was smaller than 2 mV/h, the tests were performed at the fixed range of frequencies of 0.01 Hz÷100,000 Hz by EIS method using a disturbing sinusoidal signal with the potential amplitude of 10 mV in regard to the corrosion potential. The exemplary test results for the individual systems were used as base for the following analyses and are presented at the Nyquist plots – Fig. 3a. After polishing the bar again and stabilising potential, the d.c. measurements (LPR) were made. The reinforcement was polarized at a rate of 1 mV/s within the range of potential changes from -150 mV to +100 mV in regard to the stationary potential, with the connected IR compensation circuit. The selected results are shown at the plot of potential versus current density – Fig. 3b.

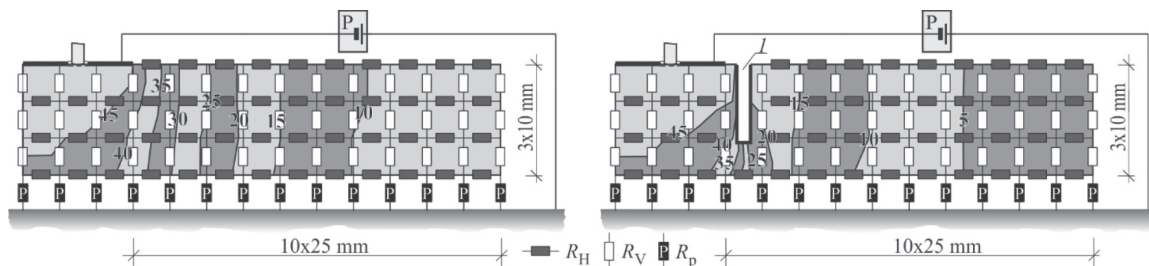
### 3. Test results and their analysis

The analysis of polarization test results focused only on two parameters: polarization resistance  $R_p$  (LPR) and charge transfer resistance  $R_t$  (EIS). For impedance measurements, as the spectrum shape was very clear and undisturbed, the charge transfer resistance  $R_t$  was determined by extrapolating the Nyquist plot to the horizontal axis of the curved distribution of measuring points – cf Fig. 3a. Defining resistance  $R_t$ , determined from the system No. 3 with the longitudinal mesh electrode, as the reference resistance, the relative polarized area for first two measuring systems was obtained from the resistance ratio. The polarization resistance  $R_t$  in the systems Nos. 2 and 3 was 1.1 k $\Omega$ , whereas it was much higher 1.8 k $\Omega$  in the system No. 1 with the dielectric (Fig. 3a). The equal values  $R_t$  in the systems Nos. 2 and 3 may indicate that the whole surface area of the bar is polarized by the disk electrode. On the other hand, the dielectric restricts the range of polarization currents to ca. 60% of the tested bar area, which can be determined on the basis of the calculated ratio of resistance values (1.1/1.8).

A similar analysis was performed for d.c. measurements by determining values of polarization resistance  $R_p$  from narrow ( $\pm 30$  mV) quasilinear ranges of polarization curves on an arithmetic scale (Fig. 3b). Assuming that polarization resistance for the system No. 3 was reference resistance, the polarization range of the reinforcement determined for the system No. 1 with a dielectric (1.0/1.3) was ca. 80%, and ca. 85% (1.1/1.3) for the system No. 2 without a dielectric. This difference in results for the systems Nos. 1 and 2 was negligible, but it also indicated



Rys. 3. Wyniki badań polaryzacyjnych: a) wykres Nyquista (EIS), b) krzywe polaryzacji w skali arytmetycznej (LPR)  
Fig. 3. Results from polarization tests: a) the Nyquist plot (EIS) b) polarization curves on an arithmetic scale (LPR)



Rys. 4. Wyniki elektryczne symulacji rozkładu potencjału na długości pręta zbrojeniowego: a) bez ograniczenia przepływu prądu, b) przepływ prądu ograniczony izolatorem 1 – opis w tekście  
Fig. 4. Results from electrical simulation of potential distribution over the rebar length: a) with unrestricted current flow, b) with current flow restricted by the dielectric 1 – described in the text



w układzie nr 1 i 2 jest nieznaczna, ale tendencja stwierdzona w pomiarach impedancyjnych do ograniczenia zasięgu polaryzacji izolatorem, jest tutaj również zachowana.

W celu wyjaśnienia omawianego zjawiska ograniczania zasięgu polaryzacji posłużono się symulacjami elektrycznymi, w których oporność cieczy porowej aproksymowano opornikami  $R_V$  i  $R_H$  tworzącymi ortogonalną siatkę (Rys. 4), a opór polaryzacji stali zastąpiono rzędem oporników  $R_p$ .

Wartości rezystancji oporników  $R_V$  i  $R_H$  przyjęto równe 0,125 k $\Omega$  na podstawie pomierzonej konduktometrem przewodności cieczy. Natomiast opór rezystorów  $R_p$ , wzorując się na pracy [7], arbitralnie przyjęto dla stali spasywowanej równy 3 k $\Omega$ . Wyniki elektrycznej symulacji w przypadku polaryzowania elektrodą kołową bez ograniczenia rozprywu prądu przedstawiono na rys. 4a, natomiast z wprowadzonym izolatorem elektrycznym na rys. 4b. Przedstawione symulacje w schematach płaskich należy traktować orientacyjne, ponieważ w rzeczywistości mamy do czynienia z układami przestrzennymi. Zasięg polaryzacji obrazują linie ekwipotencjalne, które przy nieograniczonym przepływie prądu (Rys. 4a) rozkładają się względnie równomiernie na całej długości pręta. Natomiast zastosowanie izolatora wprowadziło znaczne zaburzenie potencjału, które wynika z ograniczenia przepływu prądu w cieczy porowej w płaszczyźnie prostopadłej do przeciwelektrody przy jej krawędzi. Obliczając w obu schematach stosunek odległości od środka pręta (czyli miejsca przyłożenia elektrody referencyjnej) do określonych linii ekwipotencjalnych w poziomie pręta, oszacowano ograniczenie izolatorem zasięgu polaryzacji wynoszące ok. 60%. W przybliżeniu odpowiada to ograniczeniu zasięgu polaryzacji izolatorem uzyskanej w badaniach doświadczalnych EIS.

#### 4. Podsumowanie

Opisana w artykule koncepcja ograniczenia zasięgu polaryzacji zbrojenia w betonie jest nową propozycją umożliwiającą wykorzystanie do badań na konstrukcjach zwykłej głowicy pomiarowej bez dodatkowej przeciwelektrody, czyli tzw. ringu ochronnego. Metodę można by zaliczyć do semi-niszczących, ze względu na konieczność nacięcia betonowej otuliny. Dzięki nacięciu możliwe jest jednak wykonanie połączenia elektrycznego z badanym zbrojeniem. Warto zauważyć, że w przypadku stosowania głowicy z ringiem ochronnym również konieczne jest lokalne uszkodzenie betonu w celu wykonania takiego podłączenia.

Przedstawione wstępne badania doświadczalne weryfikujące założenia metody zostały przeprowadzone w wyciągu wodnym z betonu o pH = 12,4, w którym należało oczekiwać pasywacji badanego pręta. Jak wykazują liczne badania [3, 6, 7] na spasywowanym zbrojeniu, prądy polaryzacyjne wykazują tendencję do silnego „rozprzyskania się” po powierzchni stali, ze względu na duży opór polaryzacji. Zaproponowany izolator ograniczył zasięg polaryzacji do ok. 60÷85% powierzchni badanego zbrojenia, co wskazuje na skuteczność proponowanego rozwiązania. Planowane są dalsze badania w innych środowiskach symulujących ciecz porową betonu, a także w elementach betonowych, na których weryfikowana będzie przydatność proponowanej metody [2].

the tendency towards limiting the polarization range by the dielectric, which was revealed during the impedance measurements.

Electrical simulation was used to explain that phenomenon of limiting the polarization range, where resistance of the pore solution was approximated by resistors  $R_V$  and  $R_H$  forming an orthogonal grid (Fig. 4), and the polarization resistance was replaced with a series of resistors  $R_p$ .

Resistance values of the resistors  $R_V$  and  $R_H$  were defined, on the basis of the solution conductivity measured by the conductometer, as 0.125 k $\Omega$ . Resistance of the resistors  $R_p$  was defined arbitrarily, on the basis of the paper [7], to be 3 k $\Omega$  as for passivated steel. The results from electrical simulation, where polarization was performed with the disk electrode with unrestricted current flow are illustrated in Fig. 4a, whereas with the dielectric – in Fig. 4b. Simulations shown in typical diagrams should be regarded as of approximate nature, as in reality we deal with the three-dimensional arrangements. The polarization range is described by equipotential lines which are arranged uniformly along the whole bar length in case of unrestricted current flow (Fig. 4a). Nonetheless, dielectric significantly disturbed the potential as a result of restricted current flow through the pore solution in the plane perpendicular to the counter electrode, at its edge. By determining the ratio of distance from the bar midpoint (the point at which the reference electrode was applied) to defined equipotential lines to the horizontal position of the bar, we estimated that dielectric limited the polarization range by ca. 60%. This approximately corresponded to the polarization range limited by the dielectric as determined in experimental tests by EIS.

#### 4. Conclusions

This paper presented the concept of limiting the polarization range of reinforcement in concrete, which is a new solution employing the standard measuring head without a need to use an additional counter electrode – the so called guard ring, for structure testing. This method can be classified as a semi-destructive technique that requires cutting of the concrete cover. A cut is used to make electrical connection with the tested reinforcement. The measuring head with the guard ring also requires the local damage of concrete to provide such a connection.

The preliminary experiments, described in this paper, verifying the method assumptions were carried out in the aqueous extract from concrete with pH = 12.4, in which passivation of the tested bar was expected. According to many tests [3, 6, 7] on passivated reinforcement, polarization currents have a great tendency to propagate over the steel surface due to strong polarization resistance. The suggested dielectric reduced the polarization range to ca. 60÷85% of the tested reinforcement surface, which indicates effectiveness of the proposed solution. Further tests are planned to be performed in other media simulating the concrete pore solution, and concrete elements to verify the effects of this method [2].

#### LITERATURA / REFERENCES

- [1] Jaśniok Mariusz, Tomasz Jaśniok. 2007. „Metody diagnostyki zagrożenia korozyjnego zbrojenia w konstrukcjach żelbetowych. Zaawansowane badania elektrochemiczne (cz. IV)”, *Przegląd Budowlany*, (7–8) 36–43.
- [2] Jaśniok Mariusz, Tomasz Jaśniok. 2015. „Sposób ograniczenia i identyfikacji powierzchni polaryzacji pręta zbrojeniowego w pomiarach polaryzacyjnych szybkości korozji zbrojenia zwłaszcza w konstrukcjach żelbetowych”, *Zgłoszenie patentowe P.41388*.
- [3] Jaśniok Mariusz. 2008. „Analiza porównawcza badań zasięgów polaryzacji zmiennoprądowej na stali zbrojeniowej w warunkach pasywacji i korozji”, *Ochrona przed Korozją*, 51 (1) : 35–41.
- [4] Jaśniok Mariusz. 2013. *Modelowanie układu stal–beton w pomiarach szybkości korozji zbrojenia metodą spektroskopii impedancyjnej*. Gliwice.
- [5] Jaśniok Tomasz, Mariusz Jaśniok. 2014. „Elektrochemiczne badania korozji zbrojenia żelbetowych silosów na cement (Electrochemical tests on corrosion of the reinforcement in reinforced concrete silos for cement)”, *Ochrona przed Korozją*, 57, (6) : 225–229.
- [6] Lemoine L., F. Wenger, J. Galland. 1990. „Study of the Corrosion of Concrete Reinforcement by Electrochemical Impedance Measurement”, in [in:] Berke N.S. et al. (eds.): *Corrosion Rates of Steel in Concrete, ASTM STP 1065*, ASTM : 118–133.
- [7] Matsuoka K., H. Kihira, S. Ito, T. Murata. 1990. „Corrosion Monitoring for Reinforcing Bars in Concrete”, in [in:] Berke N.S. et al. (eds.): *Corrosion Rates of Steel in Concrete, ASTM STP 1065* : 103–117.
- [8] Zybura Adam, Mariusz Jaśniok, Tomasz Jaśniok. 2011. *Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Badania korozji zbrojenia i właściwości ochronnych betonu, t.2*. Warszawa : PWN.
- [9] Zybura Adam, Mariusz Jaśniok, Tomasz Jaśniok. 2012. „Sposób badania szybkości korozji zbrojenia zwłaszcza w konstrukcjach żelbetowych”, *Zgłoszenie patentowe P.400059*.



**PPG Protective & Marine Coatings**  
Bringing innovation to the surface.™

**Doskonałe powłoki  
antykorozyjne  
i ogniochronne**



ul. Gołębia 11  
81-185 Gdynia  
tel. 58 774 99 00  
fax 58 774 99 01  
sigma.poland@ppg.com