

Tomasz JAŚNIOK

PRÓBA OKREŚLENIA ZASIĘGU POLARYZACJI WKŁADEK ZBROJENIOWYCH PODCZAS BADAŃ POTENCJODYNAMICZNYCH

Streszczenie. Przedstawiono zasady badań polaryzacyjnych w rzeczywistych konstrukcjach żelbetowych. Zamieszczono wyniki badań polaryzacyjnych stali zbrojeniowej przeprowadzone za pomocą głowicy pomiarowej zawierającej zestaw elektrod. Stwierdzono zasadniczy wpływ położenia i ilości wkładek zbrojeniowych na wartości gęstości prądu korozyjnego.

ATTEMPT AT DETERMINING OF POLARIZATION RANGE OF THE REINFORCEMENT DURING POTENTIODYNAMIC TESTS

Summary. The principles of polarization test in situ were shown. The results of polarization test of the reinforcement on used integrated measuring head were shown. A fundamental influence was found of location and amount of the reinforcement on the values of corrosion current density.

1. Wprowadzenie

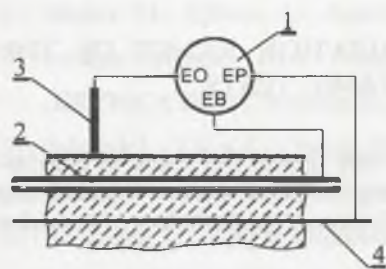
Zagrożenie korozyjne zbrojenia obiektów żelbetowych próbuje się szacować na podstawie pomiarów nieniszczących zaadoptowanych z elektrochemii. Najczęściej wykonuje się pomiary potencjału stacjonarnego, które pozwalają na szybkie oszacowanie stanu korozyjnego zbrojenia w warunkach polowych, przy stosunkowo niewielkim koszcie. Rzadziej do szacowania aktywności elektrochemicznej na powierzchni zbrojenia stosuje się pomiary oporności elektrycznej betonu [1]. Jednak wymienione wyżej parametry nie stanowią miernika postępu korozji, lecz jedynie szacują warunki, w których proces korozji może się rozwijać. Intensywność korozji stali można miarodajnie wyznaczyć tylko na podstawie natężenia prądu korozyjnego, który mierzy się metodami polaryzacyjnymi [2]. Za granicą metody te są stosowane w diagnostyce odpowiedzialnych budowli [3]. Podobne pomiary zamierza się przeprowadzać w warunkach krajowych, stosując komputerowy potencjostat wyposażony w głowicę zawierającą zarówno elektrodę odniesienia, jak i elektrodę pomocniczą. Wyniki pomiarów

takim urządzeniem zależą od indywidualnych cech, w szczególności od zasięgu powierzchni spolaryzowanej oraz odległości elektrody odniesienia od elektrody badanej.

Celem pracy jest wykonanie pierwszych pomiarów testujących posiadane urządzenie i określenie zasięgu polaryzacji wkładki zbrojeniowej w zależności od jej położenia względem elektrody odniesienia i elektrody pomocniczej.

2. Zastosowanie badań polaryzacyjnych do pomiaru korozji zbrojenia w konstrukcjach żelbetowych

Celem badań polaryzacyjnych jest określenie gęstości prądu w układzie metal – roztwór elektrolitu. Pomiar gęstości prądu wykonuje się najczęściej metodą potencjodynamiczną.



Rys.1. Schemat badań polaryzacyjnych prętów zbrojeniowych

Fig.1. Polarization test diagram of the reinforcement

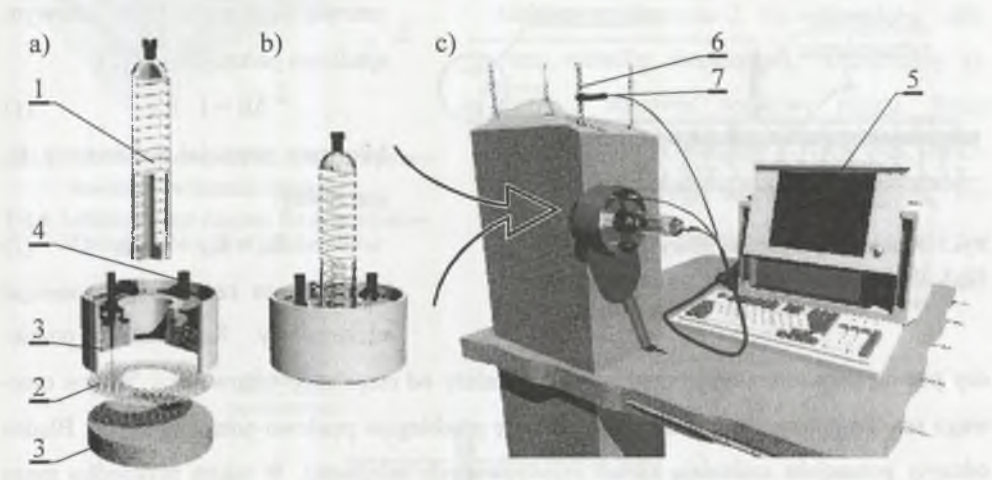
Schemat pomiaru przedstawiono na rys. 1. Charakterystyczną cechą badań polaryzacyjnych jest trójelektrodowy układ pomiarowy z zastosowaniem potencjostatu 1 [3]. Elektroda badaną 2 jest wkładka zbrojeniowa, natomiast elektrodą odniesienia 3 elektroda o stałym potencjale. Integralną część tego układu stanowi elektroda pomocnicza 4, która w badaniach laboratoryjnych elementów żelbetowych może być wykonana z drutu odpornego na korozję i umieszczona na stałe w betonie wzdłuż wkładki zbrojeniowej. W

badaniach istniejących konstrukcji zarówno elektroda pomocnicza, jak i elektroda odniesienia muszą być przykładane do powierzchni elementu.

Kompletując urządzenie pomiarowe, nowoczesny potencjostat komputerowy wyposażono w indywidualną głowicę. Konstrukcję głowicy przedstawiono na rys. 2a. Elektrode odniesienia 1 stanowi elektroda siarczano-miedziowa o zwiększonej odporności na uszkodzenia mechaniczne. Elektroda pomocnicza 2 ma kształt pierścienia i jest wykonana z siatki z drutu nierdzewnego. Umieszczono ją między dwoma filcowymi, higroskopijnymi krążkami 3. Poprzez króciec 4 umieszczony w obudowie wprowadzany jest płyn przewodzący, który nasącza higroskopijne krążki umożliwiając elektryczne połączenie i polaryzację zbrojenia.

Potencjostat wykonany został na bazie komputera przemysłowego 5 (rys. 2c). Umieszczona w jego obudowie elektroniczna karta firmy Gamry wraz ze specjalistycznym oprogramowaniem umożliwia automatycznie wyznaczenie krzywych polaryzacji (z aproksymacją liniową) oraz wydruk podstawowych parametrów procesu elektrochemicznego, tj. gęstości

prądu korozyjnego i_{corr} oraz oporu polaryzacji R_p . W potencjostatach starej generacji „ręczne” pomiary są bardzo pracochłonne i wymagają indywidualnego ustalenia punktów krzywych polaryzacji oraz rachunkowego określenia gęstości prądu korozyjnego z zależności Stern-Geary’ego [4]. Widok zestawu i sposób wykonywania badań polaryzacyjnych w konstrukcji przedstawiono na rys. 2c. Przed rozpoczęciem badań lokalizuje się zbrojenie 2 na powierzchni betonu elementu. Następnie wykonuje się odkucie w otuleniu betonowym i łączy się potencjostat 1 ze zbrojeniem. W punkcie pomiarowym przykłada się głowicę 3 i wykonuje pomiar.

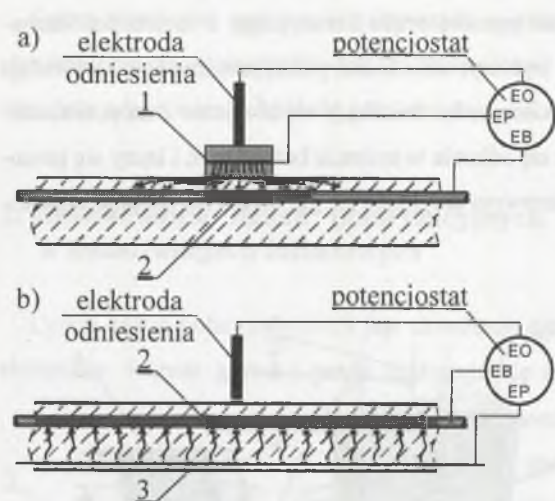


Rys.2. Zintegrowana głowica pomiarowa: a) przekrój, b) widok, c) podczas badań polaryzacyjnych w konstrukcji żelbetowej

Fig.2. The integrate measuring head: a) section, b) view, c) during polarization test of the reinforcement in situ

Podczas badań polaryzacyjnych w rzeczywistych konstrukcjach żelbetowych największym problemem w ilościowej ocenie wyników badań jest nieznaną powierzchnię elektrody badanej (zbrojenia). Stosując głowicę pomiarową i elektrodę pomocniczą w postaci kołowej siatki 1 (rys. 3a) nie można założyć, iż polaryzowana jest tylko badana powierzchnia zbrojenia 2. Prąd polaryzacji w czasie pomiaru płynie na większej powierzchni zbrojenia i z tego powodu polaryzowana powierzchnia zbrojenia jest większa niż powierzchnia badana. Sytuacja jest inna, gdy elektrodą pomocniczą jest zabetonowany w elemencie żelbetowym drut z metalu odpornego na korozję 3 (rys. 3b). Przy takiej lokalizacji elektrody pomocniczej można założyć, że polaryzowana jest cała powierzchnia wkładki zbrojeniowej.

Drugim poważnym problemem wpływającym na poprawność pomiarów polaryzacyjnych w konstrukcjach żelbetowych jest znaczna odległość elektrody odniesienia od elektrody badanej.



Rys.3. Rozkład prądu podczas polaryzacji zbrojenia [2]

Fig.3. The current's schedule during polarization of the reinforcement [2]

Odległość ta (w przybliżeniu równa grubości otulenia betonowego) wraz z wilgotnością betonu determinującą przewodność elektryczną wpływa zasadniczo na rezystancję omową R_{Ω} . Iloczyn rezystancji omowej R_{Ω} i prądu I jest omowym spadkiem potencjału ΔE [5].

$$\Delta E = I \cdot R_{\Omega} \quad (1)$$

Mierzony potencjał elektrody E_m jest równy:

$$E_m = E_{rz} + I \cdot R_{\Omega} \quad (2)$$

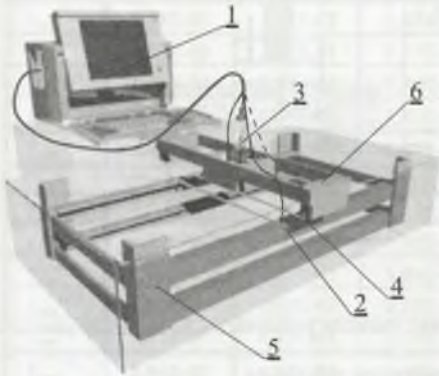
gdzie E_{rz} to rzeczywisty potencjał elektrody. Rozbieżność pomiędzy potencjałem mierzonym i rzeczywistym zależy od rezystancji omowej R_{Ω} . Wpływ omowego spadku potencjału powoduje deformację przebiegów prądowo-potencjałowych. Błędne odczyty potencjału zmieniają kształt rejestrowanych zależności. W takim przypadku mogą powstać błędy przy wyznaczaniu parametrów procesu korozyjnego (gęstości prądu korozyjnego, oporu polaryzacji, potencjału korozyjnego, współczynników Tafela) z analizy krzywych polaryzacji.

3. Zakres badań

Przeprowadzenie badań polaryzacyjnych za pomocą głowicy pomiarowej w rzeczywistych konstrukcjach żelbetowych wymaga określenia polaryzowanej powierzchni wkładek zbrojeniowych oraz wpływu omowego spadku potencjału na uzyskane wyniki.

Aby określić charakterystyki pomiarowe wykonanej indywidualnie zintegrowanej głowicy, przeprowadzono serię badań testujących. Schemat pomiaru pokazano na rys. 4. Elektroda badaną była wkładka zbrojeniowa 2 ze stali gładkiej St0S o średnicy 8 mm i długości 400 mm. Zastosowano dwie różne elektrody pomocnicze: siatkę z drutu nierdzewnego umieszczoną w głowicy pomiarowej 3 lub pręt ze stali nierdzewnej 4 o średnicy 6 mm i długości 400

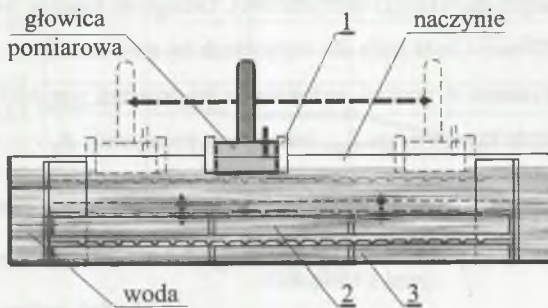
mm. Elektroda odniesienia była elektroda siarczano-miedziowa stanowiąca część głowicy pomiarowej 3. Zmienną odległość pomiędzy elektrodą badaną (wkładką zbrojeniową) i elektrodą odniesienia uzyskano dzięki zastosowaniu rusztu z tworzywa sztucznego 5. Zmianę położenia głowicy umożliwiała poprzeczka 6.



Rys.4. Schemat stanowiska do określenia polaryzowanej powierzchni zbrojenia

Fig.4. Laboratory test diagram for determination of polarization area of reinforcement

Na rys.5 zaprezentowano przekrój stanowiska pomiarowego z zaznaczonymi możliwymi kierunkami ruchu poprzeczki 1 oraz położeniami ruchomego elementu 2. Na elemencie 2 układano wkładkę zbrojeniową. Nieruchomy element 3 stanowił podstawę rusztu. Ruszt umieszczono w naczyniu z tworzywa sztucznego wypełnionego wodą wodociągową. Poziom wody w naczyniu sięgał dolnej powierzchni głowicy, co umożliwiało elektryczny kontakt elektrod.

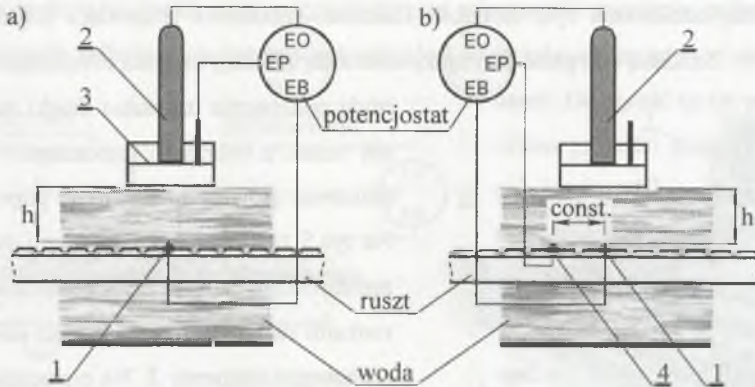


Rys.5. Schemat stanowiska pomiarowego w przekroju

Fig.5. Diagram of section of test's stand

4. Przebieg i wyniki badań

Pomiary gęstości prądu korozyjnego wykonano na pojedynczej wkładce zbrojeniowej (rys.6). Elektroda odniesienia 2 (siarczano-miedziowa) ułożona w głowicy pomiarowej podczas badań znajdowała się w jednym miejscu w osi wkładki zbrojeniowej w środku jej długości.



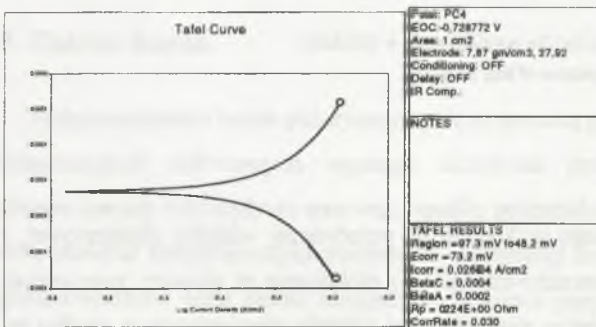
Rys.6. Sposób przeprowadzenia badań przy użyciu: a) siatkowej elektrody pomocniczej, b) elektrody pomocniczej w postaci pręta ze stali nierdzewnej

Fig. 6. The method of test on used: a) mesh electrode, b) electrode as bar non-rusting

Odległość h między elektrodą badaną l a dolną częścią głowicy pomiarowej różnicowano w zakresie $0 + 60$ mm, zwiększając ją po każdej serii pomiarowej o 10 mm. Dla każdej ustalonej odległości h wykonywano serię pomiarów przy użyciu siatkowej elektrody odniesienia (rys. 6a), a następnie przy użyciu elektrody odniesienia w postaci pręta ze stali nierdzewnej (rys. 6b) ułożonego równoległe do wkładki zbrojeniowej. Odległość między wkładką a prętem nierdzewnym wynosiła 50 mm i była stała dla wszystkich tej serii badań.

Wyniki badań otrzymano w postaci wykresów z wydrukiem wartości potencjału korozyjnego E_{corr} , gęstości prądu korozyjnego I_{corr} oraz oporu polaryzacji R_p .

Na rys.7 przedstawiono przykładowy wykres krzywych polaryzacji otrzymany przy zastosowaniu siatkowej elektrody pomocniczej przy odległości $h = 10$ mm. Zestawienie wyników



Rys.7. Przykładowe wyniki pomiarów
Fig.7. Example of test results

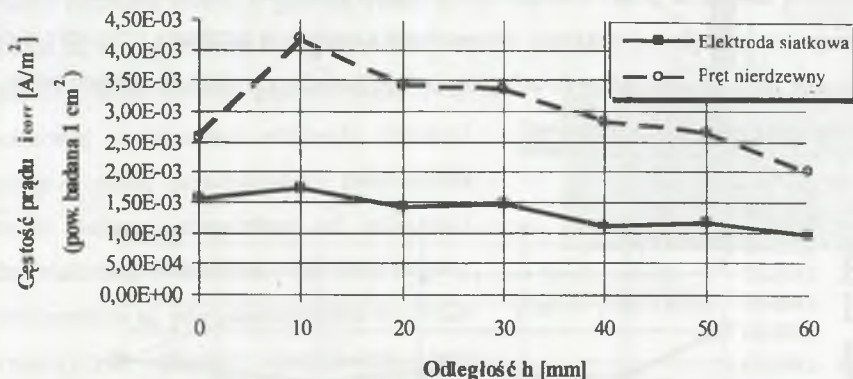
badań polaryzacyjnych (gęstości prądu korozyjnego przy założonej powierzchni elektrody badanej równej 1 cm^2) dla wszystkich serii pomiarowych zamieszczono w tabelicy 1. Wyniki usystematyzowano w zależności od zastosowanej elektrody pomocniczej i odległości h .

Tablica 1

Wartości gęstości prądu korozyjnego i_{corr} [A/m^2]

Elektroda siatkowa głowicy pomiarowej							
h [mm]	0	10	20	30	40	50	60
$i_{\text{corr}}^{(v1)}$	1,53E-03	1,52E-03	1,42E-03	1,72E-03	9,51E-04	1,20E-03	1,18E-03
$i_{\text{corr}}^{(v2)}$	2,03E-03	1,62E-03	1,31E-03	1,52E-03	9,51E-04	1,06E-03	1,06E-03
$i_{\text{corr}}^{(v3)}$	1,46E-03	2,57E-03	1,76E-03	1,18E-03	1,18E-03	1,28E-03	9,21E-04
$i_{\text{corr}}^{(v4)}$	1,20E-03	1,24E-03	1,21E-03	1,46E-03	1,28E-03	1,06E-03	9,81E-04
$i_{\text{corr}}^{(sr)}$	1,55E-03	1,74E-03	1,43E-03	1,47E-03	1,09E-03	1,15E-03	1,03E-03
Pręt ze stali nierdzewnej							
h [mm]	0	10	20	30	40	50	60
$i_{\text{corr}}^{(v1)}$	1,72E-03	5,70E-03	3,14E-03	1,90E-03	3,20E-03	2,87E-03	1,87E-03
$i_{\text{corr}}^{(v2)}$	2,65E-03	3,21E-03	3,86E-03	4,22E-03	1,65E-03	2,36E-03	1,98E-03
$i_{\text{corr}}^{(v3)}$	2,68E-03	3,47E-03	3,15E-03	3,14E-03	2,93E-03	2,76E-03	1,83E-03
$i_{\text{corr}}^{(v4)}$	3,21E-03	4,37E-03	3,55E-03	4,20E-03	3,57E-03	2,66E-03	2,36E-03
$i_{\text{corr}}^{(sr)}$	2,56E-03	4,19E-03	3,42E-03	3,37E-03	2,84E-03	2,66E-03	2,01E-03

Na rys.8 przedstawiono graficzne zestawienie uśrednionych wartości gęstości prądu korozyjnego dla poszczególnych odległości h .

Rys.8. Uśrednione wartości gęstości prądu w zależności od odległości h i elektrody pomocniczejFig.8. Mean values of corrosion current density depending on distance h and counter electrode

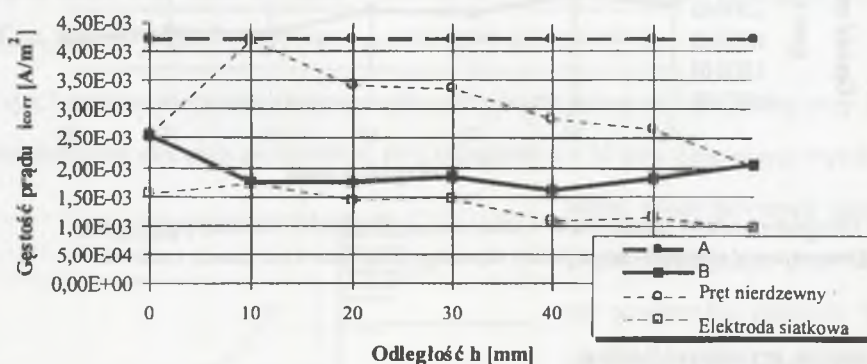
5. Analiza wyników badań

Wyniki badań polaryzacyjnych przy użyciu elektrody pomocniczej w postaci siatki z drutu nierdzewnego, jak i w postaci pręta ze stali nierdzewnej wykazały jednoznacznie, iż wartość gęstości prądu korozyjnego maleje wraz ze wzrostem odległości między elektrodą odniesienia a elektrodą badaną (wkładką zbrojeniową). Pomiarzy przy ułożeniu wkładki zbrojeniowej bezpośrednio pod głowicą ($h = 0$) wykazywały zaburzenia wyników.

Pomiary przy użyciu elektrody pomocniczej w postaci pręta z drutu nierdzewnego (polaryzowana była cała powierzchnia wkładki zbrojeniowej) wykazały równomierny spadek wartości gęstości prądu korozyjnego wraz ze zwiększaniem się odległości między elektrodą odniesienia a wkładką zbrojeniową. Pomierzona wartość gęstości prądu korozyjnego przy największej odległości 80 mm ($h = 60 \text{ mm} + 20 \text{ mm}$ wkładka filcowa głowicy) między elektrodą badaną a odniesienia była około dwukrotnie mniejsza niż gęstość prądu przy odległości 30 mm ($h = 10 \text{ mm} + 20 \text{ mm}$ wkładka filcowa głowicy). Różnica ta była spowodowana rezystywnością roztworu elektrolitycznego (wody).

Użycie głowicy pomiarowej i elektrody pomocniczej w postaci siatki nie zmieniło charakteru zależności między wartościami gęstości prądu a odległością h . Należy zaznaczyć, że na wartość gęstości prądu, oprócz rezystywności roztworu elektrolitycznego, miał wpływ zasięg polaryzowanej powierzchni wkładki zbrojeniowej.

Wykonując badania polaryzacyjne założono jednostkową powierzchnię elektrody badanej. Założenie to spowodowało, że wyznaczoną wartość gęstości prądu korozyjnego można zastąpić wartością natężenia prądu korozyjnego. Różnica pomiędzy wartością natężenia wyznaczoną przy użyciu prętowej elektrody pomocniczej a wartością natężenia przy użyciu elektrody siatkowej (przy poszczególnych odległościach h) świadczy o różnym zasięgu polaryzowanej powierzchni wkładki zbrojeniowej.



Rys.9. Uśrednione wartości gęstości prądu przy nieuwzględnieniu wpływu oporu roztworu
 Fig.9. Mean values of corrosion current density into no consideration influence resistance solution

Na wielkość gęstości prądu zasadniczy wpływ ma rezystywność roztworu elektrolitycznego. Z tego powodu miarodajną wielkość polaryzowanej powierzchni wkładki zbrojeniowej można oszacować tylko dla małych odległości pomiędzy elektrodą badaną a elektrodą odniesienia.

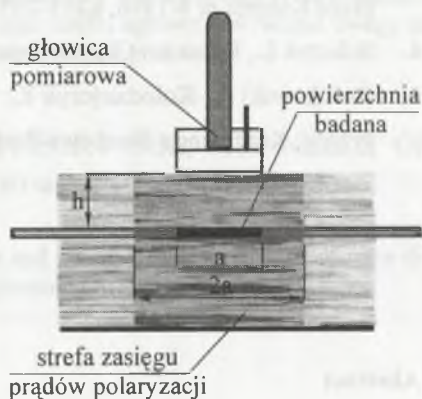
nia. Szacowanie obszaru polaryzacji dla większych odległości h może mieć miejsce tylko przy usunięciu wpływu oporu roztworu na wyniki pomiarów.

Określenie spolaryzowanej powierzchni elektrody badanej przeprowadzono na podstawie wartości gęstości prądu, uzyskanego przy zastosowaniu elektrody pomocniczej w postaci pręta nierdzewnego, dla której wpływ rezystywności roztworu był nieznaczny. Założono, że wyznaczona wartość gęstości prądu (po pominięciu oporu roztworu) jest prawie stała, niezależnie od odległości między elektrodą odniesienia a elektrodą pomocniczą (rys.9 – linia „A”).

Określając stosunki między wartościami gęstości prądu przy uwzględnieniu i nieuwzględnieniu rezystywności roztworu (dla elektrody pomocniczej w postaci pręta nierdzewnego) z proporcji oszacowano wartości gęstości prądu dla siatkowej elektrody pomocniczej po przyjęciu rezystywności roztworu równej zero (rys.9 – linia „B”). Przy założeniu jednostkowej powierzchni elektrody badanej wartości te określają wielkość spolaryzowanej powierzchni elektrody badanej.

Stwierdzono, że przy nieuwzględnieniu rezystywności roztworu wartości gęstości prądu korozyjnego są w przybliżeniu stałe i niezależne od odległości h . Stałe wartości gęstości prądu (przy jednostkowej powierzchni elektrody badanej) świadczą o stałej spolaryzowanej powierzchni elektrody badanej, niezależnej od odległości między elektrodą odniesienia a elektrodą badaną.

Powierzchnia ta, przy zastosowaniu do badań polaryzacyjnych głowicy pomiarowej, była około dwukrotnie większa niż powierzchnia badana wkładki zbrojeniowej (rys.10).



Rys.10. Zasięg prądów polaryzacji
Fig.10. Reach of polarization currents

6. Podsumowanie

Przeprowadzone badania polaryzacyjne wkładki zbrojeniowej zanurzonej w wodzie wodociągowej wskazują, że uzyskane wartości gęstości prądu korozyjnego zależą od rezystywności roztworu elektrolitycznego oraz od wielkości spolaryzowanej elektrody badanej. Na rezystywność roztworu ma wpływ przewodność elektryczna roztworu, ale przede wszystkim odległości między elektrodą odniesienia a elektrodą badaną. Wykonując badania głowicą pomiarową, zaobserwowano trudności w jednoznacznym określeniu spolaryzowanej powierzchni

elektrody badanej. Po wyeliminowaniu wpływu oporu roztworu stwierdzono, że głowica polaryzuje powierzchnię elektrody badanej na obszarze ok. dwukrotnie większym niż powierzchnia badana, niezależnie od odległości między elektrodą odniesienia a elektrodą badaną. Uzyskany wniosek jest istotny w przypadku stosowania pomiarów polaryzacyjnych do oceny korozyjnego stanu zbrojenia w eksploatowanych konstrukcjach żelbetowych.

LITERATURA

1. Zybura A., Jaśniok T.: Diagnostyka stanu korozyjnego zbrojenia w żelbetowych obiektach komunikacyjnych, *Drogownictwo* nr 4/2000, s.109-116.
2. Wranglen G.: *Podstawy korozji i ochrony metali*, WNT, Warszawa 1975.
3. Flis J.: Ocena szybkości korozji stalowego zbrojenia metodą elektrochemiczną, *Ochrona przed Korozją* nr 8/1996, s.201-205.
4. Sobczyk L., Kisza A.: *Chemia fizyczna dla przyrodników*, PWN, Warszawa 1983.
5. Królikowski A., Kołodziejczyk K.: *Problemy pomiarowe przy rejestracji krzywych polaryzacji*, Konferencja Naukowo-Techniczna „Współczesne metody badań i ochrony materiałów przed korozją”, Wrocław 1998.

Recenzent: Prof.dr hab. inż. Grzegorz Wieczorek

Abstract

The polarization tests of reinforcement bar in water show the values of corrosion current density depending on solution's resistance and on polarization size of work electrode. Resistance of solution depending on solution's conductivity, but first of all on distance between counter electrode and work electrode. After eliminating influence solution's resistance the integrate measuring head polarize area of work electrode on the 2x larger size than test area. This conclusion is very important for polarization test in situ.