

Wpływ zasięgu polaryzacji pręta zbrojeniowego na wyniki elektrochemicznych badań korozyjnych

Dr hab. inż. Mariusz Jaśniok, mgr inż. Michael Pamuła, Politechnika Śląska

1. Wprowadzenie

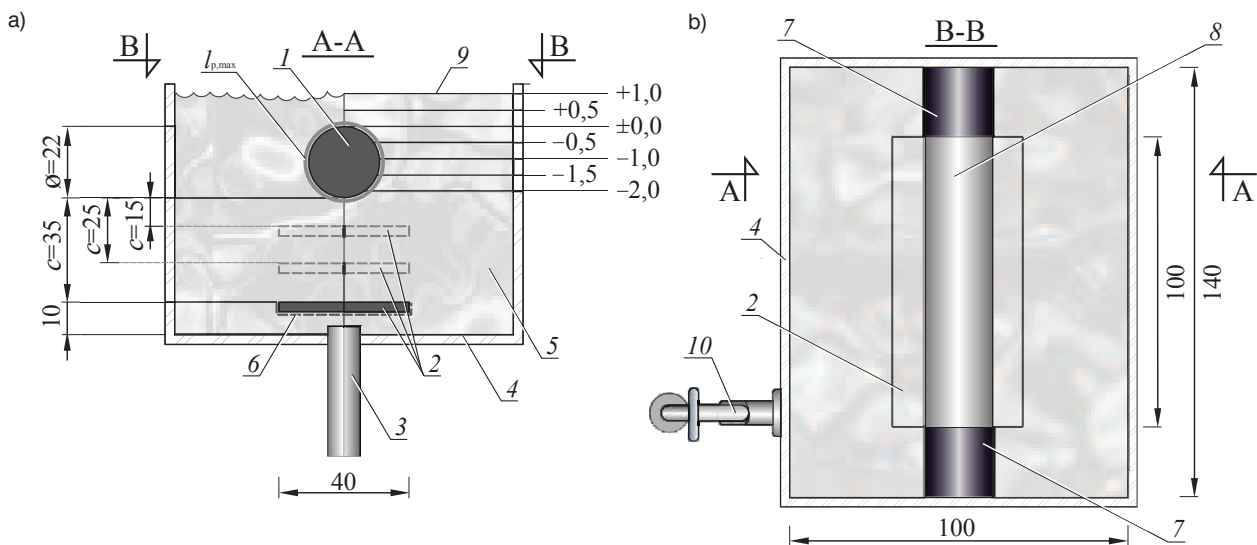
W zaawansowanej diagnostyce korozyjnej konstrukcji żelbetowych znajomość tzw. powierzchni polaryzacji zbrojenia osłoniętego przez otulinę betonową jest kluczowa i do chwili obecnej w pełni nierozwiązana. Bez zidentyfikowanej powierzchni polaryzacji, czyli powierzchni czynnej elektrody badanej, nie ma możliwości ilościowej oceny zagrożenia korozją zbrojenia. Opisany problem był wielokrotnie dyskutowany na łamach różnych publikacji [1, 2], jednak jak dotąd nie zwrócono uwagi na potencjalny wpływ na wyniki badań owalnego kształtu elektrody badanej 1 – stalowego pręta zbrojeniowego, do którego w trakcie pomiarów dochodzą prądy polaryzacyjne z płaskiej przeciw elektrody 2 (rys. 1). Zbliżony do opisanego problem badawczy, ale w odniesieniu do elektrod o niewielkich rozmiarach i umieszczonych w naczynku pomiarowym, był dyskutowany w pracy [3]. Autorzy artykułu prowadząc badania i symulacje modelowe pomiarów impedancyjnych, przeanalizowali różne kształty oraz wzajemne usytuowanie elektrod referencyjnych, a także elektrod badanych i przeciw elektrod stwierdzając, że w wielu przypadkach ma to wpływ na wyniki badań. Dlatego też w niniejszym artykule podjęto próbę eksperymentalnej oceny wpływu na wyniki badań impedancyjnych polaryzacji różnych fragmentów pobocznic walcowego pręta zbrojeniowego. W badaniach zmienny zasięg polaryzacji różnicowano po obwodzie pręta, a nie jak zazwyczaj w tego typu pomiarach w kierunku jego długości – por. [4, 5, 6].

2. Stanowisko pomiarowe i przebieg badań

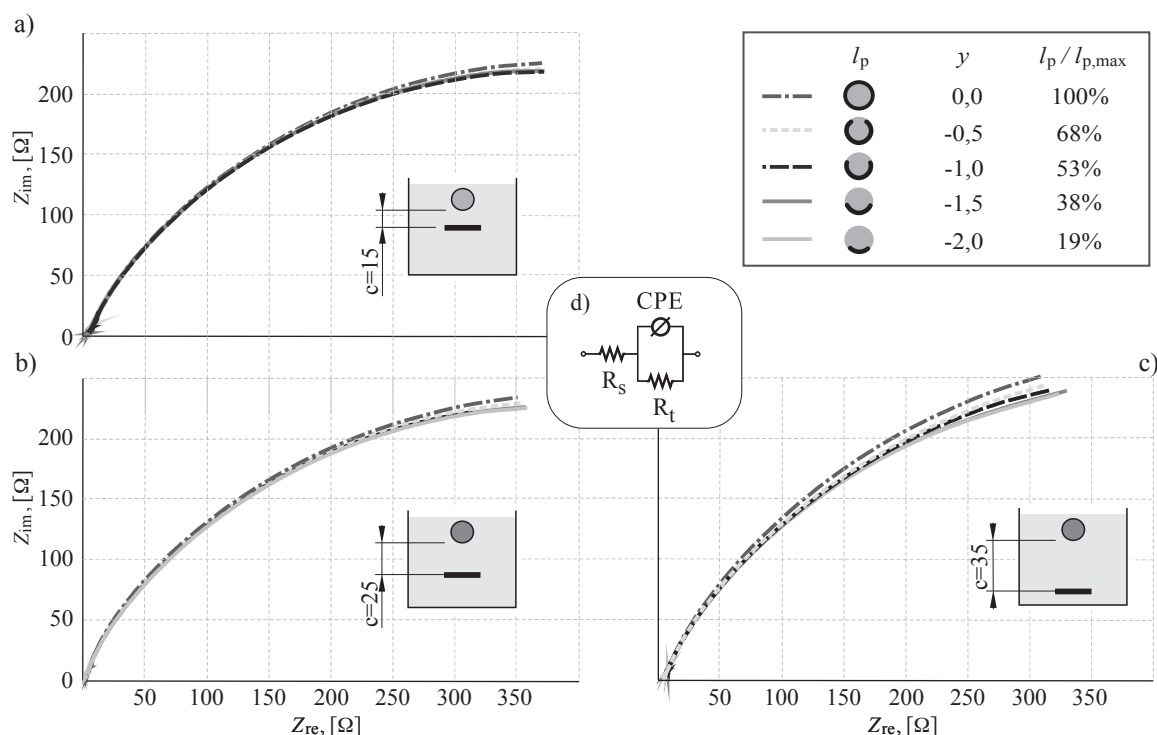
Badania doświadczalne przeprowadzono na stanowisku pomiarowym pokazanym na rysunku 1. Układ pomiarowy składał się z trzech elektrod: badanej 1, pomocniczej 2 i referencyjnej 3. Elektrody umieszczono w pojemniku 4 z tworzywa sztucznego w kształcie prostopadłościanu o wymiarach wewnętrznych 140×100×90 mm. Pojemnik wypełniono wodą wodociągową 5 o pH = 7,6, modelującą

ciecz porową betonu silnie zobojętnionego (karbonatyzacja może obniżyć pH do 8,3). W płytce dennej pojemnika wykonano otwór, przez który wprowadzono elektrodę referencyjną 3 (Cl⁻/AgCl, Ag). Budowa elektrody chlorosrebrowej umożliwiła wykonywanie pomiarów potencjału w pozycji od dołu. Na dnie zbiornika ustabilizowano prostokątną przeciw elektrodę 2 o wymiarach 100×40×2 mm wykonaną ze stali odpornej na korozję. W celu kontrolowania przepływu prądu elektrycznego w trakcie pomiaru wszystkie powierzchnie przeciw elektrody 6, za wyjątkiem jednej, zaizolowano elektrycznie. Elektrodę badaną 1 wykonano z pręta zbrojeniowego średnicy 25 mm ze stali RB500. W celu uniknięcia niedokładności związanych z pomiarem powierzchni polaryzacji, uźebrowanie pręta zbrojeniowego usunięto w procesie obróbki tokarskiej otrzymując pręt gładki średnicy 22 mm. Oba końce pręta zaizolowano elektrycznie 7 w taki sposób, aby wysokość pobocznic powierzchni czynnej 8 elektrody badanej wynosiła 100 mm.

W badanym układzie pomiarowym (rys. 1) wprowadzono dwa zmienne parametry geometryczne. Pierwszym była odległość c między elektrodą badaną 1 a przeciw elektrodą 2. Efekt ten uzyskano poprzez wprowadzanie podkładek dystansowych położonych na dnie zbiornika, które podpierały przeciw elektrodę 2. W badaniach przeanalizowano wpływ trzech odległości $c = 15, 25$ i 35 mm. Drugim zmiennym parametrem geometrycznym układu był zasięg polaryzacji l_p powierzchni pręta zbrojeniowego, mierzony po jego obwodzie. Technicznie efekt zmiany zasięgu polaryzacji uzyskano poprzez skokowe obniżanie poziomu cieczy 9 w pojemniku 4, stopniowo wypuszczając wodę zaworem 10. W pierwszym etapie pomiarów poziom wody ustalono 10 mm powyżej górnej powierzchni elektrody badanej – por. rysunek 1. Łącznie przeanalizowano siedem poziomów wody, obniżając poziom lustra cieczy co 5 mm. Jako punkt odniesienia przyjęto poziom $\pm 0,0$ oznaczający zerową grubość warstwy wody nad prętem zbrojeniowym. Badania przeprowadzono potencjostatem *Gamry Reference 600* w ustalonym zakresie częstotliwości 0,1 Hz–10 kHz, stosując sinusoidalny sygnał zaburzający



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe: a) przekrój poprzeczny, b) widok z góry – opis w tekście



Rys. 2. Wyniki badań impedancyjnych pręta w cieczy w funkcji odległości c i obwodowego zasięgu polaryzacji I_p

o amplitudzie 10 mV względem potencjału korozyjnego zbrojenia. Przed każdym pomiarem impedancyjnym stabilizowano potencjał korozyjny. Przy ustalonym położeniu przeciwelektrody ($c = \text{const.}$) wykonywano serię siedmiu pomiarów metodą EIS, zmniejszając skokowo poziom cieczy w zbiorniku, który powodował zmniejszenie pola powierzchni poboczniczy stalowej próbki

zbrojenia. Sumarycznie wykonano 21 pomiarów impedancyjnych.

3. Wyniki i analiza badań

Wyniki badań zestawiono porównawczo na trzech wykresach Nyquista – rysunek 2. Widma impedancyjne

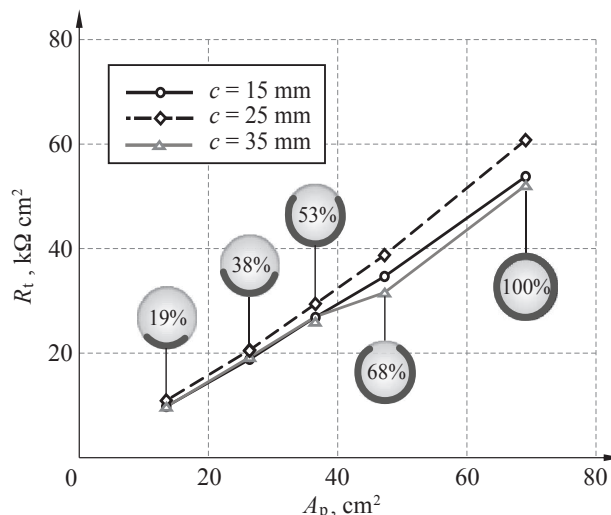
na rysunku 2a uzyskano przy odległości c między elektrodą badaną 1 i przeciwelektrodą 2 wynoszącej 15 mm, natomiast na rysunku 2b i 2c odpowiednio dla $c = 25$ i 35 mm. Na każdym z trzech wykresów zestawiono po pięć widm, które charakteryzowały różny zasięg obwodowej polaryzacji I_p , który schematycznie pokazano w legendzie do rysunku 2. Należy wyjaśnić, że na każdym z wykresów Nyquista zamieszczono jedynie pięć z siedmiu uzyskanych widm, ponieważ rozkłady punktów pomiarowych dla poziomów $y \geq 0,0$ cm w zasadzie pokrywały się.

Otrzymane widma impedancyjne na rysunku 2 mają bardzo regularny przebieg, a kształtem przypominają fragmenty spłaszczonych półokręgów, co zazwyczaj wskazuje na możliwość rozwoju korozji metalu w roztworze. Dlatego też do analizy otrzymanych widm zastosowano klasyczny układ Randlesa [7] (rys. 2d), w którym kondensator zastąpiono elementem stałofazowym CPE. W schemacie zastępczym na rysunku 2d parametr R_s oznacza rezystancję roztworu modelującego ciecz porową betonu, R_t – opór przeniesienia ładunku przez granicę faz, natomiast CPE charakteryzuje pseudopojemność warstwy podwójnej na granicy faz ‘metal-roztwór’.

Ostatecznie prezentację wyników analizy według schematu Randlesa ograniczono do jednego parametru – oporu przeniesienia ładunku R_t . W białych komórkach tabeli 1 w trzech wierszach zamieszczono obliczone wartości R_t wyrażone w $k\Omega \text{ cm}^2$. Każdy z trzech wierszy tabeli wskazuje na trzy różne odległości c między elektrodą badaną i przeciwelektrodą. Natomiast kolumny tabeli 1 opisują siedem poziomów y roztworu wodnego w układzie pomiarowym i odpowiadające mu względne obwodowe zasięgi polaryzacji $I_p/I_{p, \max}$ wyrażone w procentach.

4. Podsumowanie

W celu ostatecznej oceny ewentualnego wpływu na wyniki badań impedancyjnych polaryzacji różnych fragmentów pobocznic walcowego pręta zbrojeniowego sporządzono wykres pokazany na rysunku 3. Oś pozioma wykresu opisuje powierzchnię polaryzacji A_p pręta, która jest iloczynem obwodowego zasięgu polaryzacji I_p i wysokości pobocznic walcowej próbki wynoszącej



Rys. 3. Zależność między oporem przeniesienia ładunku R_t a powierzchnią polaryzacji obwodowej A_p

100 mm. Natomiast oś pionowa wykresu opisuje opór przeniesienia ładunku R_t uzyskany przy zróżnicowanym poziomie cieczy, który zmniejsza zasięg I_p obwodowej polaryzacji zbrojenia. Wyniki analizy na rysunku 3 przedstawiono niezależnie dla trzech odległości c między elektrodami. Jak można zauważyć, w zasadzie niezależnie od odległości c jak i zasięgu I_p punkty na wykresie mają przebieg liniowy, z nieznacznym zaburzeniem w kierunku pełnej obwodowej polaryzacji. Obliczony współczynnik korelacji liniowej R^2 , niezależnie dla każdej z trzech grup wyników, osiągnął bardzo wysoką wartość 0,990–0,998. Wskazuje ona na silną zależność liniową. Można więc stwierdzić, że płaska przeciwelektroda polaryzująca fragmenty walcowej elektrody badanej w sposób nieznaczny wpływa na zaburzenie liniowej zależności pomiędzy oporem przeniesienia ładunku a powierzchnią polaryzacji.

Fragmentaryczna polaryzacja pobocznic pręta zbrojeniowego w betonie, w praktyce może wydawać się mało prawdopodobna. Mogłaby jednak wystąpić na przykład w trakcie pomiarów impedancyjnych na częściowo uszkodzonej powłoce epoksydowej zbrojenia. Jednak praktyczne zastosowanie wykonanych badań będzie miało miejsce przy rozbudowie autorskiego modelu układu ‘przeciwelektroda–beton–zbrojenie’ [8, 9, 10].

Tabela 1. Opór przeniesienia ładunku R_t w funkcji odległości c i obwodowego zasięgu polaryzacji I_p

y [cm]	1,0	0,5	0,0	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0
$I_p/I_{p, \max}$ [%]	100	100	100	68	53	38	19
c [mm]	15	55,23	54,49	53,79	34,67	26,91	18,83
	25	54,60	53,30	52,11	31,61	26,96	19,22
	35	69,80	56,49	60,75	38,75	29,41	20,57
R_t [kΩ cm ²]							

W modelu tym jednym z głównych elementów układu są krzywoliniowe betonowe ścieżki przewodzenia prądu, które zawierają fragmenty walcowej poboczniczy pręta zbrojeniowego, analogiczne do badanych w niniejszym artykule.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Zybura A., Jaśniok M., Jaśniok T., O trwałości, diagnostyce i obserwacji konstrukcji żelbetonowych, Inżynieria i Budownictwo, tom 66, nr 10, s. 519–525, 2010
[2] M. Jaśniok and T. Jaśniok, Metody diagnostyki zagrożenia korozyjnego zbrojenia w konstrukcjach żelbetonowych. Zaawansowane badania elektrochemiczne (cz. IV), Przegląd Budowlany, nr 7–8, s. 36–43, 2007
[3] Hsieh G., Experimental limitations in impedance spectroscopy: Part III. Effect of reference electrode geometry/position, Solid State Ionics, tom 96, nr 3–4, s. 153–172, 1997
[4] Jaśniok M., Analiza porównawcza badań zasięgów polaryzacji

zmiennoprądowej na stali zbrojeniowej w warunkach pasywacji i korozji, Ochrona przed Korozją, nr 1, s. 35–41, 2008

- [5] Jaśniok M., Modelowanie układu stal-beton w pomiarach szybkości korozji zbrojenia metodą spektroskopii impedancyjnej, Gliwice, 2013
[6] Lemoine L., Wenger F., Galland J., 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, 1990, s. 118–133
[7] Feliu V., Gonzalez J. A., Andrade C., Feliu S., Equivalent Circuit for Modelling the Steel-Concrete Interface: I. Experimental Evidence and Theoretical Predictions, Corrosion Science, tom 40, nr 6, s. 975–993, 1998
[8] Jaśniok M., Investigation and modelling of the impact of reinforcement diameter in concrete on shapes of impedance spectra, in Procedia Engineering, 2013, tom 57, s. 456–465
[9] Jaśniok M., Analysis of the thickness of steel rebars cover in concrete effect on the impedance spectra in the reinforced concrete, Cement Wapno Beton, nr 1, s. 46–58, 2014
[10] Jaśniok M., Studies on the Effect of a Limited Polarization Range of Reinforcement on Impedance Spectra Shapes of Steel in Concrete, Procedia Engineering, tom 108, s. 332–339, 2015



62. Konferencja Naukowa 11-16 września 2016

Tematyka części ogólnej:
**Budownictwo prefabrykowane
w Polsce - stan i perspektywy**

ORGANIZATORZY

Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej
Polskiej Akademii Nauk

Komitet Nauki Polskiego Związku
Inżynierów i Techników Budownictwa

Wydział Budownictwa,
Architektury i Inżynierii Środowiska
Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego
w Bydgoszczy

KONTAKT

Wydział Budownictwa,
Architektury i Inżynierii Środowiska
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
w Bydgoszczy

Al. prof. S. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz

tel. Sekretariat WBAiIŚ: 52 340-85-00

tel. Sekretariat Konferencji: 52 340-85-00

fax: 52 340-80-55

e-mail: bydgoszcz.krynica@utp.edu.pl

www.bydgoszcz.krynica.utp.edu.pl