



**PRÓBY ZASTOSOWANIA POMIARÓW HARMONICZNYCH DO KONTROLI
SZYBKOŚCI KOROZJI STALI POLARYZOWANEJ KATODOWO**

**ATTEMPTS OF USING HARMONIC MEASUREMENTS FOR THE CORROSION
RATE CONTROL OF CATHODICALLY POLARIZED STEEL**

Jezmar Jankowski

Politechnika Gdańska
Katedra Technologii Zabezpieczeń Przeciwkorozyjnych

Słowa kluczowe: stal, woda wodociągowa, polaryzacja katodowa, analiza harmoniczna, korozymetria rezystancyjna, pomiary szybkości korozji

Keywords: steel, tap water, cathodic polarization, harmonic analysis, electrical resistance technique, corrosion rate measurements

Streszczenie

Przedstawiono próby wykorzystania analizy harmonicznej do określania szybkości korozji polaryzowanej katodowo stali węglowej w środowisku przepływającej wody wodociągowej. Zastosowano nowy sposób interpretacji wyników pomiarów harmonicznych polegający na rekonstrukcji na ich podstawie stałoprądowych charakterystyk polaryzacyjnych pozbawionych składowej omowej i oddziaływań pojemnościowych warstwy podwójnej. Analiza matematyczna uzyskanych w ten sposób krzywych polaryzacji pozwoliła na wyznaczenie cząstkowego prądu anodowego i współczynników Tafela stali polaryzowanej katodowo w zakresie potencjałów od -550 do -800 mV wzgl. NEK. Wyniki pomiarów harmonicznych weryfikowano techniką rezystometryczną uzyskując zadowalającą zgodność danych.

Summary

The attempts of using harmonic analysis for determination of the corrosion rate of carbon steel in flowing tap water have been presented. A new method of interpretation of the harmonic measurements has been applied which allowed to reconstruct the DC polarization characteristics free of the IR drop and double layer capacity interactions. Computer analysis of the polarization curves obtained in this way allowed to determine the partial anodic current and Tafel slopes of cathodically polarized steel in the potential range of -550 to -800 mV vs. SCE. The results of harmonic measurements have been verified using electrical resistance technique. The satisfactory agreement of data has been obtained.

1. WPROWADZENIE

W ostatnich latach do kontroli szybkości korozji układów polaryzowanych katodowo podejmowane są coraz częściej próby wykorzystania metod elektrochemicznych. Stan badań w tym zakresie przedstawiono w pracy [1]. Dysponowanie metodą pozwalającą na określanie chwilowej szybkości korozji metali w warunkach polaryzacji katodowej może mieć kluczowe znaczenie dla opracowania nowej generacji technik monitorowania skuteczności ochrony katodowej (OK). Techniki te powinny opierać się na koncepcji tzw. kinetycznych kryteriów OK [2] i przyczynić się do znacznego zwiększenia efektywności tej szeroko stosowanej technologii zabezpieczeń przeciwkorozyjnych. Obecnie skuteczność OK określana jest metodami pośrednimi (na podstawie pomiarów potencjałowych) lub metod iteracyjnych oceny postępu korozji charakteryzujących się dużą bezwładnością czasową, tj. pomiarów grawimetrycznych lub rezystometrycznych [3].

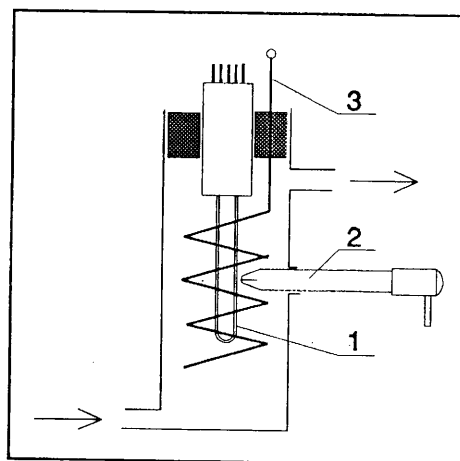
Duże nadzieje na zastosowanie praktyczne do monitorowania skuteczności OK metodą "on-line" budzą dwie zmiennoprądowe techniki pomiarowe – elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna (EIS) oraz analiza harmoniczna (HA). Najbardziej obiecująca wydaje się metoda analizy harmonicznej. Metoda HA wykorzystuje nieliniową naturę procesów korozyjnych i na podstawie pojedynczego pomiaru przy wybranej częstotliwości pozwala wyznaczyć zarówno prąd korozyjny, jak i współczynniki Tafela. Pomiary polegają najczęściej na pobudzeniu badanego układu napięciowym sygnałem sinusoidalnym o częstotliwości f i analizie odpowiedzi prądowej, obejmującej składową stałą I_{of} (tzw. zerową harmoniczną), pierwszą (podstawową) harmoniczną I_{1f} oraz wyższe harmoniczne $I_{2f}, I_{3f} \dots I_{nf}$ o częstotliwościach równym całkowitym wielokrotnościom sygnału pomiarowego. Pierwsze i jak dotąd jedyne opisane w literaturze próby zastosowania pomiarów harmonicznych do oceny szybkości korozji chronionych katodowo metali przeprowadzili badacze amerykańscy [4–5]. Przedstawili oni opis teoretyczny problemu oraz rozwinęli technikę badawczą dokonując pomiarów sygnałów harmonicznych w szerokim zakresie częstotliwości od 1 Hz do 10 kHz. Zastosowana przez nich metoda jest określana w literaturze jako harmoniczna spektroskopia impedancyjna (HIS) i bazuje na pomiarze czterech pierwszych składowych harmonicznych $I_{of} + I_{1f}$ odpowiedzi prądowej elektrody. Opracowana procedura obróbki matematycznej wyników polega na rozwiązaniu metodą numeryczną układu równań z czterema niewiadomymi, co pozwala na wyznaczenie szukanych wartości polaryzacji ΔE , współczynników Tafela b_a i b_k oraz prądu korozyjnego I_{KOR} . Autorzy uzyskali obiecujące wyniki dla stopów miedzi z niklem, stali i tytanu polaryzowanych w wodzie morskiej. Metoda wymaga jednak dalszych badań, bowiem jej przydatność do kontroli bardziej złożonych układów korozyjnych z udziałem polaryzacji omowej i dyfuzyjnej nie została jeszcze potwierdzona [6].

Systematyczne badania nad zastosowaniem metody HA do monitorowania procesów korozyjnych podjęto w ostatnich latach w Politechnice Gdańskiej. W pracach [7–11] przedstawiono aspekty teoretyczne metody HA. Natomiast w pracach [12,13] opisano próby praktycznego zastosowania analizy harmonicznej do monitorowania szybkości korozji swobodnie korodującej stali w środowisku przepływającej wody wodociągowej. Uzyskano bardzo dobrą zgodność wyników pomiarów harmonicznych i grawimetrycznych (różnice nie przekraczające 8%), stanowiącą podstawę do rozszerzenia zakresu badań o układy polaryzowane.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki obliczeń szybkości korozji stali polaryzowanej katodowo w wodzie wodociągowej w zakresie potencjałów od $-0,550$ do $-0,800$ V wzgl. NEK uzyskane na podstawie pomiarów prądów harmonicznych analizowanych wg nowej, nie stosowanej dotychczas metody. Ze względu na minimalne ubytki metalu w warunkach polaryzacji katodowej, do weryfikacji pomiarów elektrochemicznych zastosowano w tym przypadku czułą technikę rezystometryczną, która w przeciwieństwie do grawimetrii pozwoliła na wielokrotną kontrolę postępu korozji badanych elektrod w warunkach ich ekspozycji.

2. METODYKA BADAŃ

Badaniom poddano stal węglową R35 eksponowaną przez ok. 240 godz. w gdańskiej zimnej wodzie wodociągowej. Parametry wody podczas badań utrzymywały się w zakresie: temperatura $14+18^{\circ}\text{C}$, pH $7,25+7,43$, przewodnictwo elektrolityczne $530+700$ $\mu\text{S}/\text{cm}$, natlenienie $30+90$ %, liniowa prędkość przepływu $0,5\pm 0,05$ m/min. W charakterze elektrod do pomiarów elektrochemicznych zastosowano czujniki umożliwiające niezależną kontrolę szybkości korozji metodą rezystometryczną. Czujniki te produkcji firmy MIKRON w Warszawie posiadały kształt litery "U" uformowanej z cienkościennej rurki stalowej o wymiarach $\varnothing 1 \times 0,2$ mm i powierzchni zewnętrznej, eksponowanej w wodzie $S=2,45$ cm^2 . Czujniki umieszczono w naczyniach przepływowych ze szkła organicznego wyposażonych w elektrody pomocnicze z platynowanego tytanu oraz kalomelowe elektrody odniesienia (NEK). Widok pojedynczej celki pomiarowej przedstawiono na rys. 1.



Rys.1. Naczynko przepływowe do pomiarów elektrochemicznych i rezystometrycznych szybkości korozji stali:

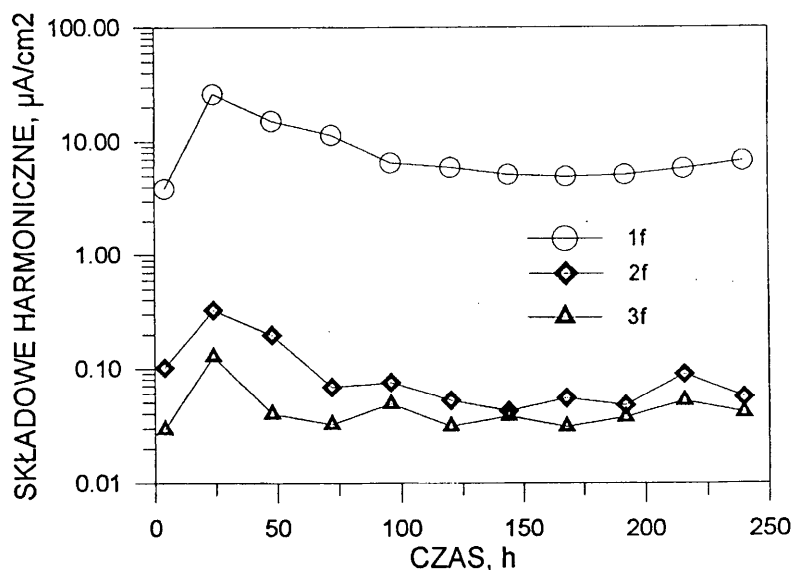
- 1 - elektroda badana (czujnik ER),
- 2 - elektroda odniesienia (NEK),
- 3 - elektroda pomocnicza (Ti/Pt).

Równolegle badano 6 spolaryzowanych katodowo w różnym stopniu elektrod stalowych (umieszczonych w osobnych celkach pomiarowych A do F), których potencjały utrzymywano na określonym poziomie stosując w tym celu potencjostat 10-ćcio kanałowy ATLAS 9231. Przez pierwszą dobę pozostawiono elektrody swobodnie korodujące w celu ustalenia potencjałów korozyjnych. Ukształtowały się one w warunkach prowadzenia eksperymentu w przedziale -525 ± 10 mV wzgl. NEK, w związku z czym przyjęto do badań zakres polaryzacji katodowej stali od -550 mV do -800 mV wzgl. NEK (w odstępach co 50 mV).

Do pomiarów elektrochemicznych szybkości korozji metodą analizy harmonicznej wykorzystano zestaw pomiarowy SOLARTRON 1280B sterowany za pomocą oprogramowania OmegaPro. Badane elektrody stalowe, spolaryzowane uprzednio do odpowiedniej wartości potencjału E , pobudzano napięciowym sygnałem sinusoidalnym o amplitudzie $U_o = 20$ mV i częstotliwościach 0,1, 0,05 i 0,03 Hz. W niniejszej pracy przedstawiono jedynie wyniki uzyskane dla częstotliwości 0,1 Hz. Mierzono i rejestrowano w postaci plików tekstowych przewidzianych do dalszej obróbki składowe rzeczywiste i urojone pierwszych trzech harmonicznych odpowiedzi prądowej – I_{1f} , I_{2f} , I_{3f} oraz prąd stały polaryzacji katodowej I_{OK} z uwzględnieniem komponentu I_{of} . Pomiarów harmonicznych wykonywano raz na dobę, odłączając na czas pomiarów elektrodę badaną od potencjostatu ATLAS i utrzymując w tym czasie wymaganą wartość polaryzacji katodowej za pomocą aparatury SOLARTRON. Pomiar rezystometryczne ubytków korozyjnych stali prowadzono za pomocą korozymetru cyfrowego PMK-D1 produkcji krajowej również w odstępach ok. 1–do dniowych.

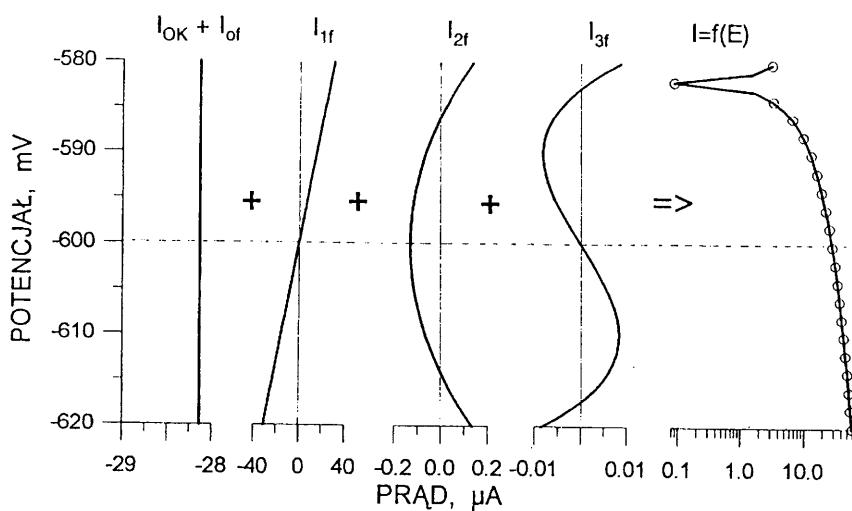
3. WYNIKI BADAŃ I.SPOSÓB ICH ANALIZY

Dane wyjściowe do dalszych obliczeń i analiz stanowiły wartości prądów harmonicznych wyznaczone dla spolaryzowanych katodowo elektrod stalowych w środowisku gdańskiej wody wodociągowej. Przykładowe wyniki pomiarów uzyskane dla elektrody spolaryzowanej do potencjału -550 mV wzgl. NEK przedstawiono w postaci graficznej na rys. 2. Wykres ten obrazuje przebieg zmian wartości skutecznych trzech kolejnych składowych harmonicznych podczas 10–cio dobowej ekspozycji.



Rys.2. Składowe harmoniczne odpowiedzi prądowej elektrody stalowej w wodzie pobudzonej sygnałem sinusoidalnym ($U_o=20$ mV, $f=0,1$ Hz) przy potencjale -550 mV w funkcji czasu

Na podstawie wyznaczonych prądów harmonicznycy podjęto następnę próby rekonstrukcji stacjonarnych charakterystyk stałoprądowych $E=f(I)$ badanych elektrod w zakresie potencjału $E \pm U_o \sin(\omega t)$. Charakterystyki te wyznaczano za pomocą opracowanego w tym celu programu komputerowego HAKPOL [14], który pozwala na wyliczenie dla określonego zakresu potencjału w odstępach co 1 mV wartości prądów polaryzacji na podstawie odpowiedniej procedury sumowania poszczęólnych składowycy harmonicznycy prądu z uwzględnieniem kątów przesunięć fazowych. Zastosowana procedura jest zbliżona do odwrotnej transformaty Fouriera, która pozwala na pełne odtworzenie przebiegu funkcji okresowej, jeżeli sumowanie rozciągnę się na wszystkie składowe harmoniczne. W tym przypadku sumowanie ograniczono do 5-ciu składnikóy tj. prądu stałego I_{OK} , zerowej harmonicznej I_{of} oraz trzech pierwszycy składowycy I_{1f} , I_{2f} , I_{3f} . Ponadto program HAKPOL umożliwia dokonanie korekty krzywej polaryzacji o składową IR, jeżeli znana jest wartość rezystancji omowej R_s , tj. rezystancji elektrolitu i warstw powierzchniowych na elektrodzie badanej. Rezystancję omową wszystkich elektrod stalowych wyznaczano techniką impedancyjną korzystając z tej samej aparatury SOLARTRON w zakresie pomiaróy wysokoczęstotliwościowych. Przykładową syntezę krzywej polaryzacji dla elektrody stalowej spolaryzowanej do potencjału -600 mV zilustrowano na rys. 3.



Rys.3. Sposób rekonstrukcji krzywej polaryzacji elektrody stalowej na podstawie pomiaróy prądóy harmonicznycy ($E = -600$ mV, $U_o = 20$ mV)

Wyznaczone w wyżej opisany sposób charakterystyki polaryzacyjne, zapisane na nośniku magnetycznym w postaci zbioróy danych obejmujęcycy kilkadziesiąt par współrzędnych potencjał-prąd, posłużyły następnę do określenia parametróy kinetycznych korozji elektrochemicznej stali w wodzie za pomocą dostępnego oprogramowania. Korzystając z krajowego programu POLAROPT [15], przeznaczonego do analizy krzywych polaryzacji wg

kilku założonych modeli, znaleziono metodą najlepszego dopasowania poszukiwane parametry kinetyczne. W najprostszym ujęciu, zakładając kontrolę aktywacyjną procesu korozyjnego, wyznaczono wartości prądu korozyjnego j_{KOR} , potencjału korozyjnego E_{KOR} i współczynników Tafela reakcji anodowej b_A i katodowej b_K . Otrzymane w ten sposób dane pozwoliły na wyliczenie cząstkowych prądów anodowych elektrod stalowych w warunkach polaryzacji katodowej wg wzoru:

$$j_A = j_{KOR} \exp \left[\frac{2,303(E - E_{KOR})}{b_A} \right]$$

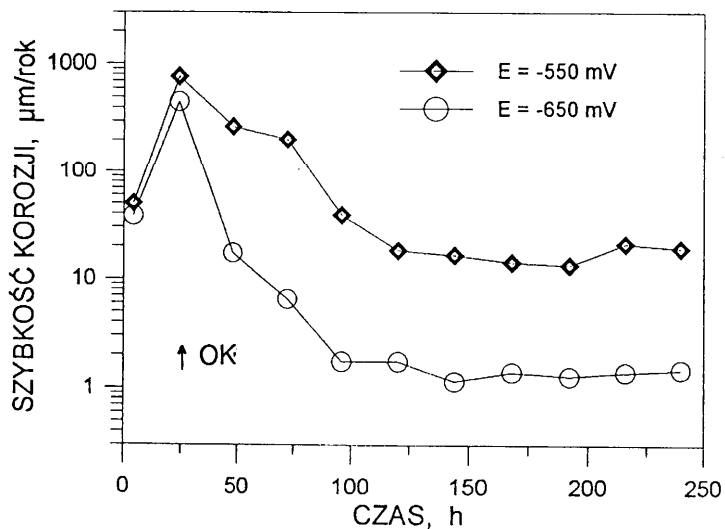
Przykładowe zestawienie wyników obliczeń powyższych parametrów dla jednej z elektrod zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Parametry korozji elektrochemicznej wyznaczone dla elektrody stalowej spolaryzowanej do potencjału -550 mV wzgl. NEK w funkcji czasu

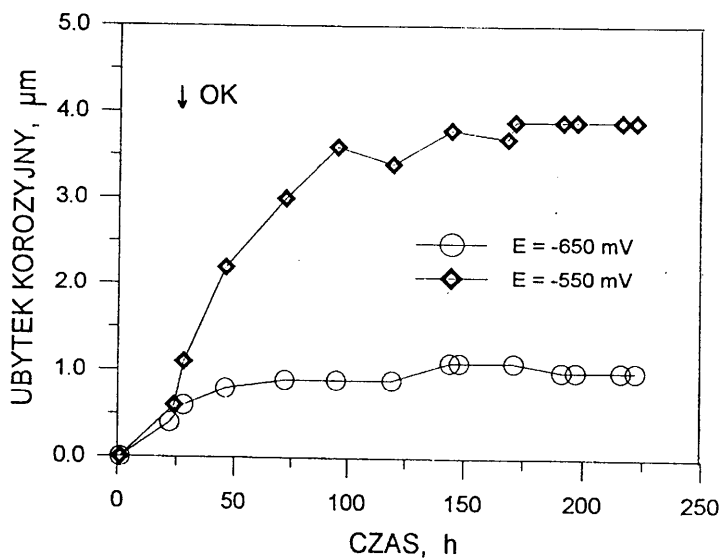
Czas h	E_{KOR} mV/NEK	j_{KOR} $\mu A/cm^2$	b_a mV	b_k mV	j_A $\mu A/cm^2$
2	-537	4,32	55	65	4,32
24	-535	66,0	101	85	66,0
48	-550	23,0	79	110	23,0
72	-554	15,6	97	88	17,6
96	-512	9,98	78	112	3,35
120	-497	8,00	75	119	1,57
144	-502	6,85	76	117	1,44
168	-495	6,49	76	117	1,23
192	-493	6,70	75	119	1,16
216	-502	7,61	77	115	1,81
240	-495	8,78	76	117	1,66

Przyjmując, że prąd korozyjny o gęstości $1 \mu A/cm^2$ jest równoważny liniowej szybkości korozji stali węglowej $11,63 \mu m/rok$, wyznaczono zależności szybkości korozji polaryzowanej katodowo stali od czasu ekspozycji.

Przykładowe zależności $V_{KOR} = f(t)$ dla stali spolaryzowanej do potencjałów -550 i -650 mV wzgl. NEK pokazano na rys. 4. Na rys. 5 przedstawiono zależność ubytków korozyjnych wyznaczonych dla tych samych elektrod metodą korozymetrii rezystancyjnej.



Rys.4. Zależność szybkości korozji polaryzowanej katodowo stali od czasu wyznaczona na podstawie pomiarów harmonicznych



Rys.5. Zależność ubytku korozyjnego polaryzowanej katodowo stali od czasu wyznaczona na podstawie pomiarów rezystometrycznych

Ponieważ dane te nie są ze sobą bezpośrednio porównywalne (chwilowe szybkości korozji uzyskane metodą HA oraz zsumowane ubytki korozyjne metodą rezystometryczną), określono metodą iteracyjną średnie wartości szybkości korozji badanych elektrod stalowych za cały okres ekspozycji. Zestawienie wyliczonych w ten sposób średnich szybkości korozji wyznaczonych dwiema niezależnymi technikami zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie szybkości korozji elektrod stalowych w wodzie wyznaczonych w warunkach polaryzacji katodowej metodą analizy harmonicznej i rezystometryczną

Elektroda	Potencjał wzgl. NEK, mV	Średnia szybkość korozji, $\mu\text{m}/\text{rok}$	
		Analiza harmoniczna	Rezystometria
A	-550	130	139
B	-600	112	96
C	-650	48	35
D	-700	39	30
E	-750	40	33
F	-800	28	24

4. PODSUMOWANIE WYNIKÓW I WNIOSKI

Uzyskane wyniki badań laboratoryjnych wykazały ogólnie dość dobrą zgodność szybkości korozji stali polaryzowanej katodowo w środowisku wodnym wyznaczonej na podstawie pomiarów harmonicznych i rezystometrycznych. Najlepszą zgodność otrzymano w przypadku niepełnej ochrony katodowej stali w wodzie, tj. próbek A i B spolaryzowanych do potencjałów -550 i -600 mV względem NEK. W tych warunkach, ze względu na wyższą szybkość korozji, możliwe było jej dokładniejsze określenie zarówno metodą elektrochemiczną, jak i rezystometryczną. Różnice w wyznaczonych szybkościach korozji nie przekraczały 20 %.

Przy głębszej polaryzacji katodowej pomiary i ich interpretacja stają znacznie trudniejsze. Dużym utrudnieniem w prowadzeniu tego typu badań jest brak precyzyjnej metody odniesienia, pozwalającej na pełną weryfikację testowanych metod elektrochemicznych. Zastosowana metoda rezystometryczna, pomimo wysokiej czułości nie zapewniła w warunkach eksperymentu wystarczająco wysokiej dokładności danych odnośnie mierzonych minimalnych ubytków korozyjnych. Wykres 5 pokazuje obecność znacznego rozrzutu wyników pomiarów rezystometrycznych spowodowanych prawdopodobnie tzw. szumem termicznym. W konsekwencji

wencji próbki stali C+F spolaryzowane do potencjałów w zakresie -650 do -800 mV wykazały w granicach błędu zbliżone ubytki korozyjne. Metoda HA również nie wykazała w tym zakresie polaryzacji katodowej istotnego zróżnicowania wyników.

We wszystkich badanych przypadkach można stwierdzić ogólną zgodność zmian szybkości korozji w czasie wyznaczonych nową metodą analizy harmonicznej oraz rezystometryczną. Obie metody potwierdziły zgodną z przewidywaniami wysoką szybkość korozji stali w pierwszym okresie ekspozycji, malejącą szybko do bardzo małych wartości po załączeniu ochrony katodowej. W związku powyższym nie zaobserwowano zerowych ubytków korozyjnych nawet na próbkach E i F spolaryzowanych do potencjałów -750 i -800 mV wzgl. NEK, zapewniających teoretycznie pełną ochronę katodową stali w wodzie. Efekt ochronny uzyskany w końcowej fazie badań został tutaj w pewnym stopniu zamaskowany korozją stali przebiegającą w pierwszych dniach ekspozycji, która była trudna do wyeliminowania.

Pozytywnie należy ocenić przydatność opracowanej metody syntezy krzywych polaryzacji na podstawie zmierzonych składowych harmonicznich. Metoda ta była jak dotąd testowana wyłącznie dla modelu elektrycznego reakcji elektrodowej [16]. W niniejszej pracy zastosowano ją po raz pierwszy dla rzeczywistych układów korozyjnych. Okazało się, że pozwala ona na stosunkowo precyzyjne odtworzenie fragmentu badanej charakterystyki potencjałowo-prądowej elektrody zarówno w zakresie potencjału korozyjnego, jak i polaryzacji katodowej lub anodowej, a następnie dokonanie jej analizy matematycznej za pomocą znanych metod. Pomimo przyjęcia do obliczeń prostego modelu polaryzacji aktywacyjnej i analizy wyznaczonych krzywych w stosunkowo wąskim zakresie potencjału nie przekraczającym 40 mV, uzyskano dość wiarygodne dane dotyczące wartości potencjałów i prądów korozyjnych oraz współczynników Tafela, które umożliwiły w następnym etapie oszacowanie cząstkowych prądów anodowych badanych elektrod stalowych w warunkach polaryzacji katodowej.

Reasumując, można uznać przeprowadzone próby laboratoryjne kontroli szybkości korozji stali polaryzowanej katodowo w środowisku wodnym metodą HA za udane. Celowe wydaje się prowadzenie dalszych badań nad praktycznym wykorzystaniem metody analizy harmonicznej do monitorowania szybkości korozji konstrukcji stalowych chronionych katodowo.

Praca została zrealizowana w ramach projektu badawczego 7T08B04010 finansowanego przez Komitet Badań Naukowych.

5. LITERATURA

- [1] J. Jankowski: *Wykorzystanie metod elektrochemicznych DC i AC do określania szybkości korozji metali w warunkach polaryzacji katodowej*, praca przygotowana na Konferencję "Współczesne metody badań i ochrony materiałów przed korozją", Szklarska Poręba, czerwiec 1998.
- [2] R. Juchniewicz, J. Jankowski, W. Sokólski, J. Walaszkowski: *Kryteria ochrony katodowej konstrukcji stalowych*, *Ochrona przed korozją*, 36, 121 (1993).

- [3] J. Jankowski, J. Szukalski: *Zastosowanie korozymetrii rezystancyjnej do pomiarów skuteczności ochrony katodowej konstrukcji podziemnych*, Materiały IV Krajowej Konferencji "Pomiary korozyjne w ochronie elektrochemicznej", Jurata 1996, s.51-58
- [4] M. C. McKubre: *The Electrochemical Measurement of Corrosion Rate in Cathodically Protected System*, EPRI Report CS-5695, Palo Alto 1983, 1988.
- [5] M. C. McKubre, B. C. Syrett: *Harmonic Impedance Spectroscopy for the Determination of Corrosion Rate in Cathodically protected Systems*, in: "Corrosion Monitoring in Industrial Plants Using Nondestructive Testing and Electrochemical Methods", G. C. Moran and P. Labine (Eds.) ASTM 908, Philadelphia 1986.
- [6] N. G. Thompson, B. C. Syrett: *Corrosion Monitoring Using Harmonic Impedance Spectroscopy*, Proc. CORROSION'93, Paper No. 429, NACE, Houston 1993.
- [7] K. Darowicki: *Wpływ rezystancji elektrolitu i pojemności podwójnej warstwy elektrycznej na poszczególne składowe prądu reakcji elektrodowej*, Materiały Sympozjum "Nowe osiągnięcia w badaniach i inżynierii korozyjnej", Poraj 1994, s. 120-124.
- [8] K. Darowicki: *Frequency Dispersion of Harmonic Components of the Current of an Electrode Process*, J. Electroanal. Chem. **394**, 81 (1995).
- [9] J. Jankowski: *Określanie szybkości korozji metodą analizy harmonicznej – wpływ amplitudy sygnału pomiarowego na dokładność wyników*, Materiały V Ogólnopolskiej Konferencji KOROZJA'96, Gdańsk 1996, t.2, s. 555-558
- [10] J. Jankowski: *Określanie szybkości korozji metodą analizy harmonicznej – wpływ dokładności obliczeń funkcji Bessela na uzyskane wyniki*, Materiały V Ogólnopolskiej Konferencji KOROZJA'96, Gdańsk 1996, t.2, s. 559-562
- [11] J. Jankowski: *Analiza harmoniczna układów chronionych katodowo*, Materiały Sympozjum "Nowe osiągnięcia w badaniach i inżynierii korozyjnej", Poraj 1997, s. 68-73.
- [12] J. Jankowski, J. Majewska: *Monitorowanie szybkości korozji stali w wodzie wodociągowej z wykorzystaniem technik zmiennoprądowych*, Ochrona przed korozją, **41**, 127 (1998).
- [13] J. Jankowski, J. Majewska: *Corrosion Monitoring of Steel in Tap Water Using Harmonic Analysis*, Proc. EUROCORR'97, Trondheim 1997, Vol.II, s. 651-656
- [14] J. Jankowski: *Program komputerowy HAKPOL*, Gdańsk 1997.
- [15] J. Karciarz: *Program komputerowy POLAROPT*, Gdańsk 1990.
- [16] J. Jankowski: *A New Approach to Harmonic Analysis*, praca zgłoszona na EURO-CORR'98.