

Miernik szybkości korozji MOP-X1

Instrukcja obsługi



W razie problemów

Skontaktuj się z producentem urządzenia.
TERCJA – Systemy Pomiarowe i Komputerowe
80-534 Gdańsk, ul. Starowiejska 63
Polska
tel.: +48 340 88 41
fax: +48 340 88 41
e-mail: kacper@jurak.pl
strona WWW: <http://www.tercja.gda.pl>

Gwarancja

Miernik szybkości korozji MOP-X1 objęty jest 2-letnią ograniczoną gwarancją od momentu zakupu. Gwarancji nie podlegają usterki wynikające z winy użytkownika. Wszelkie ślady uszkodzeń mechanicznych jak i ingerencji wewnętrznej w urządzeniu anulują gwarancję.

Firma TERCJA zastrzega sobie prawo do zmian w konfiguracji sprzętowej i programowej swoich produktów bez wymogu wprowadzania tych zmian w już zakupionych produktach. Wszelkie zmiany mogą być wprowadzane bez dodatkowej informacji.

Disclaimer

Informacje zawarte w tej instrukcji zostały szczegółowo sprawdzone i wydają się poprawne w momencie publikacji tego dokumentu. Firma TERCJA nie ponosi jednak odpowiedzialności za błędy które mogą objawić się w przyszłości.

Prawa autorskie

Copyright 2013 by TERCJA – Systemy Pomiarowe i Komputerowe
Wszystkie prawa zastrzeżone. Bez zgody autora, właściciela prawa autorskich i zarazem ich wydawcy żadna część tej publikacji nie może być reprodukowana lub przekazywana w żadnej formie i żadnymi środkami elektronicznymi, mechanicznymi, za pośrednictwem fotokopiarek czy w inny sposób.

SPIS TREŚCI

1	Wprowadzenie	7
2	Specyfikacja techniczna.....	9
3	Funkcje miernika	11
4	Zawartość zestawu	13
5	Czujniki pomiarowe.....	15
5.1	Czujniki dedykowane.....	17
5.2	Czujniki własne	18
6	Panel czołowy.....	21
7	Złącze.....	23
7.1	Podłączenie własnych czujników.....	23
8	Przygotowanie do użycia.....	25
8.1	Wymiana baterii	26
9	Wykonanie pomiaru	27
10	Menu użytkownika	31
10.1	Opcje miernika	31
10.1.1	Data i godzina.....	31
10.1.2	Automatyczne wyłączenie	31
10.1.3	Ustawienia wyświetlacza i dźwięków.....	32
10.1.4	Przywrócenie wartości domyślnych	33
10.2	Opcje pomiaru.....	33
10.2.1	Jednostki pomiaru.....	34
10.2.2	Automatyczny tryb pomiaru	34
10.2.3	Ustawienia czujników.....	35
10.2.4	Rezystancja środowiska.....	38
10.2.5	Kolejność elektrod.....	38

10.2.6	Kalibracja	40
10.3	Odczyt wyników pomiarów	40
11	Wyniki pomiarów	43
12	Metoda obliczania szybkości korozji.....	47
13	Dodatkowe adaptery	51
13.1	MOP-X1-US.....	51
13.2	MOP-X1-USB.....	52
14	Referencje.....	53
Dodatek A – Podstawy		55

1 WPROWADZENIE

Dziękujemy za zainteresowanie się naszym produktem. Miernik szybkości korozji służy do wyznaczania szybkości z jaką ubywa materiał na skutek korozji, która jest nieuchronna. Wyniki podawane są w bardzo prostych jednostkach mm/rok. Pozwala to oszacować długość życia istniejącej instalacji. Pomiar jest natychmiastowy i odzwierciedla szybkość korozji w momencie pomiaru. Dzięki temu możliwe jest testowanie skuteczności zastosowanej ochrony przeciwkorozyjnej np. inhibitorowej.

Miernik działa na zasadzie ogólnie uznanej metody polaryzacji liniowej (**LPR** – *Linear Polarization Resistance*) i ma zastosowanie w środowiskach przewodzących. Może służyć w ocenie szybkości korozji wszelkich instalacji wodnych wykonanych z różnorodnych metali np. stali konstrukcyjnej, stali nierdzewnej, mosiądzu, miedzi etc.

Jeśli potrzebujecie Państwo mierzyć szybkość korozji w mediach nieprzewodzących takich jak ciekłe węglowodory albo gazy to prosimy zainteresować się naszym innym produktem – rezystometrycznym miernikiem do pomiaru szybkości korozji. Działa on także na ogólnie uznanej zasadzie – rezystometrii.

Mierniki mogą być wykonane także w wersji stacjonarnej i wraz z czujnikami posiadać odpowiednie certyfikaty umożliwiające pracę w strefach zagrożenia wybuchem.

2 SPECYFIKACJA TECHNICZNA

Zasilanie:	4 baterie AA
Czas pracy na naładowanych akumulatorach:	Do 400 godzin*
Czas czuwania	Około 1 rok
Pobór prądu w stanie czuwania:	0,1 mA
Pobór prądu w stanie aktywnym:	4 mA
Pobór prądu podczas pomiaru:	6 mA
Pobór prądu podświetlenia	6 mA
Czas podtrzymania zegara	3 minuty
Wymiary (dł. X szer. X wys.)	185 x 80 x 45 mm
Masa (bez baterii)	570 g
Klasa szczelności	IP 67
Wyświetlacz	Monochromatyczny Podświetlany 128x64
Sygnalizacja	Dźwiękowa

* przy wyłączonym podświetleniu

3 FUNKCJE MIERNIKA

Miernik szybkości korozji **MOP-X1** posiada następujące funkcje:

- Pomiar szybkości korozji metodą polaryzacji liniowej
- Wyświetlanie wyników pomiarów w mm/rok (mmpy) lub mils/rok (mpy)
- Pomiar temperatury jeśli czujnik wyposażony jest w taką funkcję.
- Algorytm oceny jakości pomiaru (w skali 0-100) na podstawie wielu parametrów, takich jak różnica potencjałów między elektrodami, fluktuacje napięciowe i prądowe, przekroczenia zakresów itp.
- Automatyczna sygnalizacja podejrzenia występowania korozji wżerowej jak i uszkodzenia lub zużycia czujnika pomiarowego.
- Automatyczne łączenie się z czujnikiem pomiarowym i pobieranie z niego danych na temat materiału badanego, własności geometrycznych i właściwości środowiska korozyjnego.
- Możliwość zmian funkcji poszczególnych elektrod w czujniku pomiarowym, a co za tym idzie wykonanie trzech niezależnych pomiarów na jednym czujniku.
- Możliwość podłączenia własnych czujników korozji i ustawienia danych na temat materiału badanego, własności geometrycznych i właściwości środowiska korozyjnego.

(OPCJONALNIE – używając przejściówki MOP-X1-US)

- Możliwość szybkiego pomiaru własnymi czujnikami z użyciem empirycznych zależności dla stali konstrukcyjnej i mosiądzu.

(OPCJONALNIE – używając przejściówki MOP-X1-US)

- Możliwość zapisywania do 100 wyników w pamięci urządzenia wraz z ich opisem i możliwość ich późniejszego odczytania
- Możliwość zgrania wyników do komputera, wyeksportowania ich do pliku tekstowego oraz ich analizy w dedykowanym oprogramowaniu *MOPCorr*.

(OPCJONALNIE – używając przejściówki MOP-X1-USB)

4 ZAWARTOŚĆ ZESTAWU

W skład zestawu podstawowego wchodzi:

- Miernik szybkości korozji **MOP-X1**
- Końcówka kalibracyjna
- 4 x akumulatory AA NiMH 2200mAh
- Ładowarka do akumulatorów
- Klucz imbusowy 4 mm
- Instrukcja obsługi
- Walizka do przenoszenia zestawu

Opcjonalnie w skład zestawu wchodzi:

- Przejściówka **MOP-X1-USB**
Umożliwia podłączenie miernik do komputera
- Przejściówka **MOP-X1-US**
Umożliwia użycie własnych, niestandardowych czujników korozji.

5 CZUJNIKI POMIAROWE

Aby wykonać pomiar, oprócz samego miernika niezbędne są także czujniki pomiarowe. Nazywane także czujnikami korozyjnymi.

Najważniejszym elementem czujnika są elektrody. To na nich zachodzi reakcja korozyjna. Przynajmniej jedna z elektrod, ta na której będzie mierzona reakcja korozyjna musi być wykonana z materiału dla którego bada się szybkość korozji. Oczywiście, że najczęściej jest to metal z którego wykonany jest element konstrukcji w którym zamontowano czujnik. Ta elektroda nazywa się elektrodą badaną bądź pracującą.

Pozostałe dwie elektrody to elektroda pomocnicza oraz elektroda odniesienia nazywana też referencyjną.

Najczęściej spotyka się czujniki które mają trzy elektrody. Czasami stosowany jest także układ dwuelektrodowy w którym elektroda pomocnicza i odniesienia są zwarte.

Oprócz elektrod sam czujnik składa się z obudowy w której znajduje się najczęściej gwint służący do wkręcenia czujnika w króciec wychodzący z konstrukcji. Oczywiście możliwe jest zastosowanie innych wymaganych w danej sytuacji metod instalacji czujnika na konstrukcji.

Z czujnika wychodzi przewód zakończony końcówką typu DIN. Do tej końcówki musi być swobodne dojście w celu podłączenia do miernika **MOP-X1** i wykonania pomiaru.

Opcjonalne jest wyposażenie czujnika w sensor temperatury. Istnieje wtedy opcja jednoczesnego pomiaru szybkości korozji jak i temperatury, a wyniki te są ze sobą skorelowane i możliwe później do odczytania i obróbki.

Bardzo częstą praktyką jest wykonywanie trzech elektrod z tego samego (badanego) materiału. Pozwala to na wykonanie na jednym czujniku do trzech pomiarów, zmieniając funkcję poszczególnych elektrod. Dzięki temu można uśrednić wynik z tych trzech pomiarów. Ma to bardzo duże znaczenie w czujnikach zamontowanych już jakiś czas na instalacji, gdyż elektrody w takim czujniku pokrywają się różnymi osadami pochodzącymi z korozji a także ze środowiska. W takim przypadku elektroda eksploatowana cały czas jako elektroda badana mogłaby stracić swoje właściwości. Zmiana funkcji elektrod pozwala na pomiar po kolei wszystkich elektrod jako elektrod badanych.

Sposób konfiguracji kolejności elektrod został opisany w rozdziale 10.2.5.

Oczywiście w przypadku czujników których elektrody nie są wykonane z tego samego materiału włączenie tej funkcji sfałszuje wyniki, a w skrajnym wypadku może doprowadzić do zniszczenia elektrod.

UWAGA: Uśrednienie wyniku z trzech pomiarów nie jest tylko prostym uśrednieniem arytmetycznym. Brane pod uwagę są jakości pojedynczych pomiarów. W związku z tym gdy na którejś konfiguracji elektrod wynik jest niskiej jakości to w małym stopniu wpływa on na wynik ogólny. Pojęcie jakości wyników i algorytm uśredniania wyjaśniono w rozdziale 11.

Wyznaczenie szybkości korozji wymaga podania wielu informacji na temat samego czujnika jak i środowiska w którym on pracuje. Informacje te mogą zostać raz wyznaczone i zapisane na stałe w czujniku, dzięki czemu miernik będzie potrafił z nich skorzystać przy każdym pomiarze. Możliwe jest także podawanie tych parametrów samemu. Zależy to od rodzaju używanego czujnika. Parametry środowiska zostały opisane w rozdziale 12. W przypadku urządzenia MOP-X1 rozróżnia się dwa główne rodzaje czujników – czujniki dedykowane i czujniki własne.

5.1 CZUJNIKI DEDYKOWANE

Czujniki dedykowane to podstawowe czujniki przeznaczone do pracy z tym urządzeniem. Każdy taki czujnik zbudowany jest pod konkretne potrzeby użytkownika. Ma wymagany kształt, rozmiar, rodzaj mocowania do konstrukcji. Co najważniejsze ma w sobie zapisane wszelkie elektrochemiczne parametry środowiska oraz informacje o rodzaju i wielkości użytych elektrod. Informacje te są odczytywane z czujnika w trakcie podłączenia do miernika i wykorzystywane do obliczenia poprawnej szybkości korozji. Niesamowicie ułatwia to pracę, ponieważ

eliminuje potrzebę wpisywania parametrów czujnika przed każdym kolejnym pomiarem na innym czujniku. W przypadku użytkowania czujnika z sensorem temperatury ten jest wykrywany automatycznie, a wynik pomiaru temperatury jest dołączany do wyniku pomiaru szybkości korozji.

Podsumowując: wraz z miernikiem Klientowi dostarczane są czujniki w odpowiedniej ilości oraz o odpowiedniej wymaganej budowie. Czujniki są skonfigurowane do pracy w konkretnym miejscu. Aby wykonać taką konfigurację naszej firmie należy dostarczyć dane na temat metali z których zbudowana jest konstrukcja w miejscu mierzonym, informację o wielkości przepływu lub jego braku medium, oraz najlepiej próbkę tego medium do laboratoryjnego wyznaczenia współczynników elektrochemicznych środowiska.

Dla Klientów pragnących użyć własnych czujników korozyjnych (zakupionych u innego dostawcy bądź wykonanych własnymi środkami) przewidziano taką opcję.

5.2 CZUJNIKI WŁASNE

Możliwe jest użycie czujników nie zawierających w sobie informacji o parametrach środowiska i elektrod. Są to klasyczne czujniki innych firm lub takie wykonane własnoręcznie.

Aby móc skorzystać z takich czujników należy podłączać je poprzez specjalną przejściówkę **MOP-X1-US** (p. rozdział 13).

W takim wypadku wszelkie informacje potrzebne do poprawnego wyznaczenia szybkości korozji należy wprowadzić do

miernika przed pomiarami. Trzeba znać powierzchnię elektrody badanej, rezystywność środowiska, współczynniki Tafela dla danego metalu w danym środowisku, współczynnik związany z metalem korodującym oraz współczynnik związany z rozkładem pola elektrycznego między elektrodami.

Parametry te dokładniej opisane zostały w rozdziale 12, a podstawy elektrochemiczne metody polaryzacji liniowej w dodatku A.

Należy pamiętać że dokładne wyznaczenie współczynników Tafela możliwe jest za pomocą profesjonalnych potencjostatów i na ogół najwygodniej przeprowadza się je w warunkach laboratoryjnych na próbce metalu i środowiska, aczkolwiek w niektórych przypadkach można zakładać pewne przybliżone wartości tych współczynników.

Dla wygody w mierniku umożliwiono wykonanie pomiaru bez wpisywania współczynników Tafela, których wyznaczenie bywa kłopotliwe. Jest to metoda pomiaru zarezerwowana do pomiaru zwykłej stali węglowej lub mosiądzu typu MC70 w typowej, umiarkowanej korozyjnej wodzie. Włączenie tej opcji opisano w rozdziale 10.2.3.

Możliwe stało się to dzięki wzorom empirycznym podanym przez Instytut Chemii Przemysłowej w Warszawie. Wzory te są wynikiem korelacji ponad stu wyników przeprowadzonych w różnych wodach i z różnymi inhibitorami. Użycie tych empirycznych wzorów zapewnia dokładność na poziomie 30% co bardzo często jest wartością akceptowalną. Aby uzyskać lepsze

dokładności należy jednak wyznaczyć charakterystyki Tafela i liczyć szybkość korozji za ich pomocą.

UWAGA: Skorzystanie ze wzorów empirycznych pozwala jedynie na uniknięcie podawania współczynników Tafela i współczynnika alfa dla metalu. Nadal jednak należy wpisać powierzchnię elektrody, rezystywność środowiska i współczynnik rozkładu pola elektrycznego między elektrodami (p. rozdział 11).

UWAGA: Użycie wzorów empirycznych zarezerwowane jest do pomiaru szybkości korozji zwykłej stali węglowej lub mosiądzu typu MC70 w typowej, umiarkowanej korozyjnej wodzie.

W przypadku stosowania czujników własnych należy mieć na uwadze poprawne podłączenie ich do miernika (poprzez przejściówkę MOP-X1-US). Należy zwrócić uwagę aby elektrody były podpięte do odpowiednich pinów na wtyku. Opis złącza w przypadku używania własnych czujników przedstawiono w rozdziale 7.1 .

6 PANEL CZOŁOWY

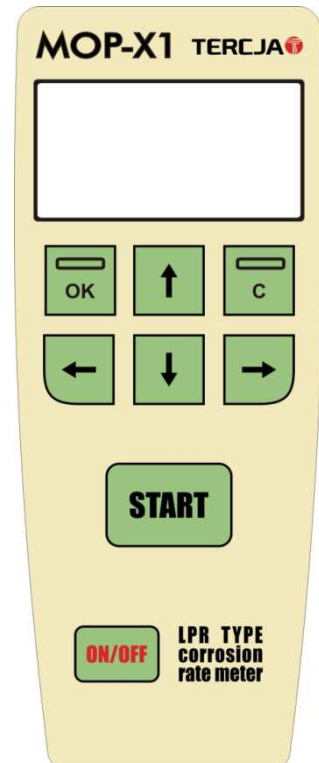
Na rysunku przedstawiono widok frontu urządzenia.

Przycisk **ON/OFF** służy do włączania i wyłączenia miernika.

W celu włączenia lub wyłączenia przyrządu należy go przytrzymać przez około trzy sekundy.

Przyciski **↑↓←→** służą do przemieszczania się po opcjach menu i ustawiania wartości numerycznych oraz liter.

Klawisze **OK** i **C** mają działanie zależne od opcji wyświetlanych w dolnych, skrajnych położeniach ekranu. Najczęściej przycisk **OK** służy do wchodzenia w menu i akceptowania zmian, natomiast przycisk **C** służy do anulowania zmian i powrotu do poprzedniego menu.

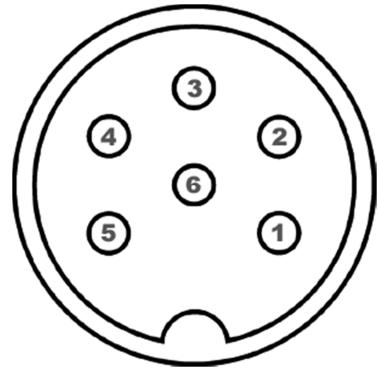


Przycisk **START** w zasadzie służy do rozpoczęcia pomiaru szybkości korozji, chyba że na ekranie podane jest jego inne zastosowanie.

Miernik posiada monochromatyczny, podświetlany wyświetlacz o rozdzielczości 128x64 piksele.

7 ZŁĄCZE

Na spodzie urządzenia znajduje się złącze służące do podłączania czujników pomiarowych jak i podłączenia miernika do komputera za pomocą przejściówki **MOP-X1-USB**. Zastosowano 6-pinowe złącze żeńskie skręcane typu DIN 45 322 z wewnętrznym gwintem zapewniające klasę szczelności IP 67.



Poprawne wpięcie wtyku i zakręcenie nakrętki pozwala zachować zabezpieczenie przed wnikaniem wody jak i zabezpieczenie przed ciałami stałymi IP 67.

UWAGA: Podczas podłączenia jakichkolwiek dodatkowych urządzeń do miernika na ekranie powinien pokazać się komunikat **CONNECTION**. Przy odłączeniu pokazuje się komunikat **DISCONNECT**. W przypadku jakiegokolwiek problemu z dodatkowymi urządzeniami na ekranie ukazuje się komunikat **FAILURE**.

7.1 PODŁĄCZENIE WŁASNYCH CZUJNIKÓW

Stosując przejściówkę **MOP-X1-US** możliwe jest użycie własnych czujników korozji. Czujniki powinny być trójelektrodowe. Jedna elektroda musi być wykonana z tego samego metalu co metal mierzony i nazywa się ją elektrodą badaną. Pozostałe

dwie to odpowiednio elektrody referencyjna (odniesienia) i pomocnicza.

Projektując wtyk należy wiedzieć, że elektrody czujnika powinny być podłączone w złączu do pinów 1, 2 i 3.

Miernik oferuje możliwość przełączania funkcji elektrod opisaną w rozdziale 10.2.5. W związku z powyższym przy każdej konfiguracji elektrod poszczególne piny na złączu też zmieniają funkcję.

W konfiguracji A

Pin 1 – elektroda badana

Pin 2 – elektroda referencyjna

Pin 3 – elektroda pomocnicza

W konfiguracji B

Pin 1 – elektroda referencyjna

Pin 2 – elektroda pomocnicza

Pin 3 – elektroda badana

W konfiguracji C

Pin 1 – elektroda pomocnicza

Pin 2 – elektroda badana

Pin 3 – elektroda referencyjna

8 PRZYGOTOWANIE DO UŻYCIA

Urządzenie komunikuje się z użytkownikiem tylko w języku angielskim, lecz interfejs został tak przygotowany, aby mimo tego był prosty i intuicyjny.

Przed pierwszym użyciem miernik należy skalibrować, a także ustawić w nim poprawną datę i godzinę.

Przy włączeniu urządzenie samo poinformuje o konieczności dokonania tych czynności. Można to także zrobić to samemu. Opcje te znajdują się odpowiednio w:

MENU → MOP SETTINGS → DATE/TIME

MENU → MEASURE SETTINGS → MOP CALIBRATION

Procedurę ustawiania powyższych opcji opisano w rozdziałach 10.1.1 i 10.2.6.

UWAGA: Należy dbać o poprawne ustawienie daty i godziny aby zachować ciągłość serii pomiarów.

UWAGA: Niepoprawna kalibracja może skutkować błędnymi wynikami pomiarów.

8.1 WYMIANA BATERII

Miernik zasilany jest z czterech baterii typu AA (duże paluszki). Można w nim stosować zarówno klasyczne baterie alkaliczne o napięciu 1,5 V jak i akumulatorki o napięciu 1,2 V. W pełni naładowane akumulatory o pojemności 2200 mAh pozwalają nawet na 400 godzin pracy.

W przypadku zbliżania się momentu wyładowania baterii w lewym górnym rogu wyświetlacza ukazuje się komunikat **LOW BATTERY**.

Aby wymienić baterię należy podważyć czarne okrągłe zaślepki i wykręcić dwie śruby zaznaczone na poniższym rysunku. Do odkręcenia należy użyć klucza imbusowego 4 mm.

UWAGA: Aby zachować klasę szczelności IP 67, po wymianie baterii należy obudowę odpowiednio skręcić.

UWAGA: Po wyjęciu baterii na okres dłuższy niż czas podtrzymania może się okazać, że znikną poprawne ustawienia daty i godziny. W takim przypadku urządzenie poinformuje o tym podczas uruchomienia.

9 WYKONANIE POMIARU

Po włączeniu miernika przyciskiem **ON/OFF** można bezzwłocznie przystąpić do wykonania pomiaru. Po podłączeniu miernika do odpowiednio zamontowanego czujnika korozji miernik wykryje jego obecność:

Na ekranie pojawi się napis **CONNECTION**, a po krótkiej chwili jeśli czujnik i przyłącze są sprawne - komunikat **SENSOR DETECTED**.

W tym momencie możliwe jest przejrzanie informacji zapisanych w czujniku, przewijając strony naciskając **MORE**. Informacje zawierają nazwę czujnika i jego numer seryjny, materiał z którego jest on wykonany, powierzchnię czynną elektrod, rezystancję środowiska i współczynniki elektrochemiczne specjalnie wyznaczone dla danego czujnika i miejsca jego zamontowania.

Aby zacząć pomiar należy kliknąć duży przycisk **START** na klawiaturze. W tym momencie urządzenie zaczyna pomiar lub serię pomiarów (w zależności od ustawienia kolejności elektrod – p. rozdział 10.2.4). Gdy pasek postępu dojdzie do końca na ekranie wyświetli się wartość szybkości korozji oraz oszacowana jakość pomiaru.

W tym momencie możliwe jest także zobaczenie raportu z przebiegu pomiaru. Urządzenie potrafi wykryć wszelkie nieprawidłowości związane z pomiarem. Aby zobaczyć raport, choć nie jest to napisane na ekranie, należy wcisnąć duży przycisk **START**. Znajdujące się tam komunikaty informują zarówno

o poprawnym działaniu jak i o zauważonych nieprawidłowościach. Aby przewijać strony z informacjami należy naciskać **MORE**. Więcej na temat tych komunikatów i jakości pomiaru zostało można znaleźć w rozdziale 11.

Po wykonanym pomiarze możliwe jest zapisanie wyniku pod dowolną nazwą w pamięci urządzenia. Podczas wpisywania nazwy pomiaru jako domyślna nazwa pojawia się ostatnio wpisana. Dla wygody sugeruje się aby nazwy składały się z części opisowej i kolejnym numerem np. „zawor1 – 1”, „zawor1 – 2”, „zawor1 – 3” itp..

Aby przemieszczać się pomiędzy polami literowymi należy używać klawiszy ←→, natomiast aby wybrać odpowiedni znak należy użyć klawiszy ↑↓.

Możliwe jest łatwe i automatyczne zgrywanie wyników pomiarów do komputera. Aby podłączyć miernik do komputera poprzez interfejs USB potrzebna jest przejściówka **MOP-X1-USB**. Dołączone oprogramowanie pozwala na gromadzenie wyników i ich eksportowanie do pliku tekstowego. Dla każdego wyniku zapisywany jest numer czujnika w związku z czym można niezależnie śledzić postęp korozji dla każdego czujnika osobno.

Dostępne jest także oprogramowanie *MOPCorr* służące do wizualizacji danych.

UWAGA: Miernik posiada pamięć 100 ostatnich wyników pomiarów. Kolejne wyniki zapisywane są na następnym wolnym miejscu. W momencie wyczerpania wszystkich wolnych miejsc nadpisywane są najstarsze wyniki. Należy o tym pamiętać aby nie utracić starszych, a nie zarchiwizowanych jeszcze wyników pomiarów.

10 MENU UŻYTKOWNIKA

Urządzenie posiada menu w którym można ustawić opcje miernika, opcje pomiaru jak i odczytać zapisane wyniki pomiarów.

10.1 OPCJE MIERNIKA

Możliwe jest ustawienie następujących parametrów związanych z miernikiem.

10.1.1 DATA I GODZINA

Aby ustawić datę i godzinę należy wejść kolejno w:

MENU → MOP SETTINGS → DATE/TIME

Tam posługując się kursorami ←→↑↓ należy ustawić poprawną datę i godzinę. Datę należy ustawić po każdej wymianie baterii. W przypadku błędnych ustawień miernik sam poinformuje o konieczności ustawienia podczas uruchomienia.

UWAGA: Należy dbać o poprawne ustawienie daty i godziny aby zachować ciągłość serii pomiarów.

10.1.2 AUTOMATYCZNE WYŁĄCZANIE

W mierniku można aktywować funkcję automatycznego wyłączenia po określonym czasie. Aby to zrobić należy wejść kolejno w:

MENU → MOP SETTINGS → AUTO OFF

I ustawić funkcję **ACTIVE** na ON. Parametr **TIME** odpowiada za czas po jakim wyłączy się miernik. Czas liczony jest w minutach. Możliwe wartości to: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 45 i 60.

10.1.3 USTAWIENIA WYŚWIETLACZA I DŹWIĘKÓW

W tym menu możliwe jest ustawienie kontrastu wyświetlacza, czas jego podświetlenia jak i włączyć lub wyłączyć dźwięki.

MENU → MOP SETTINGS → DISPLAY & SOUND

Kontrast ustawia się zmieniając ustawienia **CONTRAST** w zakresie 0 – 60.

Czas podświetlenia ustawia się zmieniając ustawienie **BACKLIGHT**. Można je włączyć na stałe (ON), wyłączyć całkowicie (OFF), lub ustawić na pewien czas. Możliwe wartości to: 5, 10, 20, 30 sekund oraz 1 lub 5 minut.

UWAGA: Przy pracy z pełnym podświetleniem miernik zużywa dwukrotnie więcej prądu niż przy pracy z podświetleniem całkowicie wyłączonym. W związku z tym maksymalny czas pracy skraca się do około 200 godzin.

Miernik może wydawać krótkie sygnały dźwiękowe. Możliwe wartości opcji **BEEP** to:

OFF – brak dźwięków

MEASURE – sygnał dźwiękowy po dokonaniu pomiaru

KEYS – sygnał dźwiękowy przy naciskaniu klawiszy

BOTH – sygnał dźwiękowy przy naciskaniu klawiszy jak i po dokonaniu pomiaru

10.1.4 PRZYWRÓCENIE WARTOŚCI DOMYŚLNYCH

Aby przywrócić ustawienia miernika do wartości domyślnych należy wejść kolejno w:

MENU → MOP SETTINGS → LOAD DEFAULTS

Na pytanie „**ARE YOU SURE TO LOAD DEFAULTS?**” należy odpowiedzieć twierdząco naciskając **OK**. Zostaną przywrócone następujące wartości.

10.2 OPCJE POMIARU

Używając tych opcji można ustawić parametry pomiaru takie jak właściwości środowiska oraz używanego czujnika. Przy standardowym użyciu z całego tego menu dostępne są jedynie opcje automatycznego trybu pomiaru i kolejności elektrod. Korzystając z dodatkowego adaptera można uaktywnić pozostałe opcje (patrz informacje w ramkach).

10.2.1 JEDNOSTKI POMIARU

Miernik może prezentować wyniki szybkości w dwóch jednostkach – mm/rok lub milicalach/rok. Aby wybrać wyświetlane jednostki należy wejść w:

MENU → MEASURE SETTINGS → MEASURE MODE

I ustawić odpowiednio opcję **UNITS**. Możliwe ustawienia to:

mmpy – milimetry na rok

mpy – milicale na rok (milsy na rok)

UWAGA: Ustawienie tej opcji ma wpływ tylko na wyświetlanie wyników. W pamięci urządzenia wyniki są zawsze składowane z użyciem jednostki *mmpy*. Przy ustawionych jednostkach *mpy* wyniki są przeliczane na *mpy* tylko w celu wyświetlenia ich na ekranie.

10.2.2 AUTOMATYCZNY TRYB POMIARU

Można ustawić miernik aby sam wykonywał pomiar w określonych odcinkach czasu. W tym celu należy wejść kolejno w:

MENU → MEASURE SETTINGS → MEASURE MODE

Następnie ustawić opcję **MODE** na AUTO oraz zdefiniować co ile godzin miernik automatycznie obudzi się i wykona pomiar. Czas ten ustawia się poprzez opcję **INTERVAL**. Możliwe wartości to: 1, 2, 4, 6, 8, 12, 24, 48, 72 i 96 godzin. Ostatnim krokiem jest ustawienie godziny pierwszego pomiaru – opcja **START**.

Pomiary wykonywane są w cyklu dobowym, co oznacza, że w ciągu doby pierwszy pomiar zostanie wykonany o godzinie ustawionej w opcji **START**. W przypadku ustawienia czasu pomiędzy pomiarami dłuższego niż 24 godziny pomiary dokonywane będą o godzinie ustawionej w opcji **START** co 2, 3, lub 4 doby.

UWAGA: Wszystkie pomiary automatyczne zapisywane są w pamięci pod nazwą **AUTOMEASURE**.

Aby wyłączyć tryb automatycznego pomiaru należy ustawić opcję **MODE** na **MANUAL**.

10.2.3 USTAWIENIA CZUJNIKÓW

W przypadku używania własnych czujników pomiarowych należy zdefiniować ich parametry aby szybkość korozji została wyliczona prawidłowo

UWAGA: Opcje te dostępne są jedynie przy użyciu dodatkowej przejściówki **MOP-X1-US**, która pozwala na podłączenie dowolnego własnego czujnika i ustawienia wszelkich jego parametrów. W przypadku braku tej przejściówki miernik automatycznie pobiera informacje z kompatybilnego z nim czujnika i na ich podstawie dokonuje pomiaru. Możliwość zmiany powyższych opcji jest wtedy nieaktywna, a część z nich pozostaje niewidoczna.

Aby dostać się do ustawień czujników należy wejść kolejno w:

MENU → MEASURE SETTINGS → SENSOR SETTINGS

Skonfigurować można:

AREA - pozwala ustawić powierzchnię badanej elektrody. Maksymalna wartość to 600,00 cm².

MATERIAL – pozwala ustawić metodę wyznaczania szybkości korozji. Miernik potrafi skorzystać ze wzorów empirycznych opracowanych na podstawie wieloletnich obserwacji. W przypadku pomiaru szybkości korozji stali konstrukcyjnej typu **St3S** w standardowej wodzie wodociągowej można wybrać opcję **STEEL**. Przy wykonywaniu pomiarów szybkości korozji miedzi w wodzie wodociągowej można wybrać opcję **BRASS**. Pomiar szybkości korozji praktycznie każdego metalu można wykonać wybierając opcję **COMMON**. Miernik korzysta wówczas z zależności teoretycznych leżących u podstaw techniki polaryzacji liniowej. W tym przypadku należy znać jednak odpowiednie właściwości elektrochemiczne środowiska, które powinny być wyznaczone inną metodą elektrochemiczną np. korzystając ze stałych Tafela. Te właściwości to:

- **Ba** – anodowy współczynnik Tafela. Zakres 0 – 6000 mV.
- **Bc** – katodowy współczynnik Tafela. Zakres 0 – 6000 mV.
- **ALPHA** – współczynnik związany z korodującym metalem. Zakres 0 – 60000.
- **GEOM** – współczynnik rozkładu pola elektrycznego. Zakres 0 – 6000.

Znaczenie powyższych parametrów jak i wzory empiryczne zostały opisane w rozdziale 12 – **Metody wyznaczania szybkości korozji**.

UWAGA: Powyższe parametry są widoczne dopiero po podłączeniu przejściówki **MOP-X1-US**. Bez niej można jedynie zobaczyć wielkość powierzchni elektrody zapisaną na stałe w czujniku dedykowanym, natomiast zapisane w czujniku właściwości elektrochemiczne środowiska można zobaczyć podczas podłączenia czujnika do miernika (p. rozdział 9).

Dysponując przejściówką **MOP-X1-US** możliwy jest pomiar przy pomocy dowolnego czujnika szybkości korozji, w tym takiego wykonanego samodzielnie. Możliwość skorzystania ze wzorów empirycznych ustawiając opcję **MATERIAL** na **STEEL** lub **BRASS** zwalnia z potrzeby znajomości powyższych współczynników elektrochemicznych.

Najczęściej mierzy się właśnie zwykłą stal konstrukcyjną St3S lub podobną stal niestopową w środowiskach o agresywności zbliżonej do wody wodociągowej. W takim przypadku możliwość skorzystania z ustawienia **STEEL** bardzo upraszcza pomiar na niestandardowych elektrodach.

UWAGA: Ustawienie opcji **MATERIAL** na **STEEL** lub **BRASS** dalej wymaga zdefiniowania powierzchni elektrody jak i rezystywności środowiska (p. rozdział 10.2.4).

10.2.4 REZYSTANCJA ŚRODOWISKA

W przypadku wykorzystania niestandardowych czujników należy znać rezystancję pomiędzy elektrodami. Wielkość tą można oszacować lub wyznaczyć. Aby ją wyznaczyć należy zmierzyć rezystywność środowiska np. konduktometrem, a następnie wyliczyć wartość rezystancji na odcinku między powierzchniami elektrod. Ustawienie wartości znacząco niższej od realnej może skutkować dużym błędem pomiaru lub brakiem możliwości zrealizowania pomiaru. Aby ustawić odpowiednią wartość należy wejść kolejno w:

MENU → MEASURE SETTINGS → ENVIRONMENT SETTINGS

I ustawić **RESISTANCE**. Zakres ustawienia to 0 – 60 000 Ω.

UWAGA: Zmiana tego parametru jest możliwa jedynie przy wykorzystaniu własnego czujnika. Czujniki standardowe mają tę wartość zapisaną na stałe i w takim wypadku w tym menu można ją jedynie podejrzeć bez możliwości edycji.

10.2.5 KOLEJNOŚĆ ELEKTROD

Jest to ustawienie które znajduje się w omówionym już menu ustawień czujników (p. rozdział 10.2.3). Zostało opisane oddzielnie ponieważ jako jedyne z tego menu można je zmieniać bez podłączonej przejściówki **MOP-X1-US**.

Czujnik pomiarowy składa się przeważnie z trzech elektrod. Jedna z nich (elektroda badana) wykonana jest z materiału badanego, pozostałe (elektroda referencyjna i elektroda po-

mocnicza) najczęściej też z tego samego materiału. W takim przypadku możliwa jest zamiana funkcji poszczególnych elektrod i wykonanie trzech pomiarów, gdzie w każdym mierzona będzie inna elektroda. Takie podejście pozwala wyciągnąć średnią wartość szybkości korozji z trzech pomiarów. Często jest to najlepsze rozwiązanie ponieważ z biegiem czasu elektrody zużywają się i na którejś konfiguracji mogą dawać słabej jakości wynik.

Aby dostać się do ustawień elektrod należy wejść kolejno w:

MENU → MEASURE SETTINGS → SENSOR SETTINGS

Tutaj należy zmieniać opcję **CONFIG**.

Możliwe ustawienia to **A**, **B**, **C** i **ALL**. Opcja **ALL** wykonuje pomiar kolejno na wszystkich konfiguracjach dając wynik uśredniony. Pozostałe opcje służą do włączenia tylko jednej, konkretnej konfiguracji elektrod nazwanej **A**, **B** lub **C**.

UWAGA: W przypadku ustawionej opcji **ALL** uśrednienie wyniku z trzech pomiarów nie jest tylko prostym uśrednieniem arytmetycznym. Brane pod uwagę są jakości pojedynczych pomiarów. W związku z tym gdy na którejś konfiguracji elektrod wynik jest niskiej jakości to w małym stopniu wpływa on na wynik ogólny. Pojęcie jakości wyników i algorytm uśredniania wyjaśniono w rozdziale 11.

UWAGA: Opcja **ALL** jest domyślnie włączona i zalecana, ale jedynie przy założeniu że wszystkie elektrody czujnika wykonane są z tego samego materiału. Gdy elektrody wykonane są z innych materiałów, co jest możliwe w pewnych specyficznych zastosowaniach to pomiar należy wykonywać na jednym, odpowiednim ustawieniu. Użycie opcji **ALL** może spowodować nieprawidłowe wyniki podczas uśredniania.

10.2.6 KALIBRACJA

Po każdorazowej wymianie baterii urządzenie powinno zostać skalibrowane. Kalibracja polega na zwarcie ze sobą wyprowadzeń trzech elektrod pomiarowych. Aby to ułatwić w zestawie z miernikiem dołączona jest końcówka kalibracyjna.

Aby skalibrować miernik należy wejść kolejno w:

MENU → MEASURE SETTINGS → MOP CALIBRATION

Następnie założyć końcówkę kalibracyjną i nacisnąć przycisk **CALIBRATE**.

UWAGA: Niepoprawna kalibracja może skutkować błędnymi wynikami pomiarów.

10.3 ODCZYT WYNIKÓW POMIARÓW

W tym menu możliwe jest przejście zapisanych wyników pomiarów szybkości korozji. Po menu można się przemieszczać używając klawiszy ↓ i ↑. Zapisane dane zawierają:

- Nazwę pomiaru (wpisywaną przez użytkownika)
- Datę i czas pomiaru
- Wynik pomiaru
- Jakość pomiaru
- Temperatura (jeśli wykorzystany był czujnik z sensorem temperatury)

11 WYNIKI POMIARÓW

Szybkość korozji idealnie można wyznaczyć mierząc nowe, oczyszczone elektrody w dobrych warunkach laboratoryjnych. Środowisko pracy prawdziwych czujników mocno odbiega od warunków laboratoryjnych. Elektrody pokrywają się z czasem produktami korozji i wyniki pomiarów mogą się zmieniać.

Istotnym jest możliwość oceny poprawności wykonania pomiaru. W mierniku **MOP-X1** została zaimplementowana nowatorska metoda oceny jakości wykonania pomiaru. Po każdym pomiarze obliczana jest jego jakość jako liczba w zakresie od 0 do 100.

Jakość pomiaru wyznaczana jest na podstawie wielu czynników automatycznie mierzonych przed właściwym dokonaniem pomiaru. Są to między innymi wartości potencjałów między elektrodami, fluktuacje potencjałowe i prądowe, wszelkie przekroczenia zakresów pomiarowych itp.

Dane te oprócz wykorzystania do obliczenia jakości wyniku służą także do poinformowania użytkownika o poprawności wykonania pomiaru. Informacja ta dostępna jest zaraz po wykonaniu pomiaru (p. rozdział 9).

Możliwe informacje to:

Current values in range in all measured configurations.

Ten komunikat mówi że wartości mierzonego prądu są w zakresie pomiarowym urządzenia.

Voltage values in range in all measured configurations.

Ten komunikat mówi że wartości mierzonego potencjału są w zakresie pomiarowym urządzenia.

General corrosion observed in all measured configurations.

Jest to poprawny komunikat oznaczający, że monitorowana korozja ma postać korozji ogólnej, a więc takiej do jakiej przystosowana jest metoda polaryzacji liniowej. W przypadku fluktuacji potencjałowych zachodzi podejrzenie zachodzenia korozji wżerowej, co urządzenie zakomunikuje komunikatem **Pitting corrosion observed** i pominie taki wynik.

Normal anode current in all measured configurations.

A informacja mówi, że kierunek prądu jest zgodny z kierunkiem polaryzacji (dodatnia polaryzacja, dodatni prąd). Przy źle wyznaczonym potencjale startowym wynikającym np. z dużych jego fluktuacji może się zdarzyć, że prąd będzie miał wartość ujemną, co dyskwalifikuje taki wynik.

Proper environment parameters in all measured configurations.

Ten komunikat mówi, że rezystancja środowiska ni jest ustawiona na za niską wartość.

Powyższe informacje pokazują się gdy na wszystkich konfiguracjach elektrod (A, B i C) nie wystąpią żadne problemy. W przeciwnym przypadku urządzenie poinformuje o konkretnych problemach na konfiguracjach na których one wystąpiły. Dzięki temu możliwe jest szybkie wykrycie problemów z czujnikiem lub czynnikami destabilizującymi pomiar (np. korozja lokalna).

Jeszcze innym komunikatem który może wystąpić jest **Electrodes disconnected**. Komunikat ten mówi, że elektrody nie są podłączone. Sygnalizuje to problem z fizycznym podłączeniem czujnika (np. uszkodzony kabel) lub samych końcówek elektrod w obudowie czujnika.

UWAGA: Powyższe informacje na ekranie wyświetlane są zaraz po wykonaniu pomiaru, aczkolwiek są przechowywane w pamięci razem z wynikami szybkości. Nie ma jednak możliwości obejrzenia ich w menu przeglądania wyników. Dostęp do tych danych możliwy jest po zgraniu wyników na komputer. Istnieje wtedy możliwość obserwacji historii wyników wraz z zauważonymi problemami, co pozwala szybko ocenić rodzaj problemów występujących podczas monitorowania korozji.

Jak wcześniej wspomniano każdy wynik opatrzony jest jego jakością. Jakość ta mieści się w zakresie od 0 do 100 i obliczana jest na podstawie wielu czynników. Dzięki temu możliwe staje się zorientowanie jak bardzo wiarygodny jest wynik. Obserwacja trendu jakości jest równie istotna. Jeśli ona spada to przeważnie oznacza to potrzebę wymiany czujnika z powodu zużycia.

W przypadku korzystania z funkcji wykonania trzech kolejnych pomiarów na jednym czujniku z zamianą funkcji poszczególnych elektrod opisaną w rozdziale 10.2.5 wyniki uśredniają się, ale jest to uśrednianie ważone, gdzie wagą jest jakość poszczególnych pomiarów cząstkowych. Dzięki temu na końcowy wynik wpływ będą miały te pomiary lub pomiar, które mają najwyższe jakości. Uśredniony wynik także ma swoją uśrednioną jakość. Realizuje się to korzystając z poniższych ogólnych równań.

$$V = \frac{V_A \cdot f(Q_A) + V_B \cdot f(Q_B) + V_C \cdot f(Q_C)}{f(Q_A) + f(Q_B) + f(Q_C)} \quad (11.1)$$

$$Q = f(Q_A, Q_B, Q_C) \quad (11.2)$$

Pojedynczy wynik który ma jakość równą zero, nie wpływa na wynik ogólny. Im wyższa jakość pojedynczego pomiaru tym bardziej będzie miał on wpływ na wynik uśredniony. Z tego powodu warto używać funkcji wykonywania pomiaru na kolejnych konfiguracjach. Uśrednienie z trzech wyników daje wynik bardziej miarodajny.

12 METODA OBLICZANIA SZYBKOŚCI KOROZJI

Poniżej przedstawiono zależności służące do wyznaczenia szybkości korozji w klasyczny sposób (z zastosowaniem współczynników Tafela). Wzory empiryczne (p. rozdział 5.2) nie zostały przytoczone.

Szybkość korozji jest wprost proporcjonalna do tzw. prądu korozji I_{corr} , współczynnika związanego z korodującym metalem α oraz odwrotności pola powierzchni.

$$V_{corr} = \frac{I_{corr}\alpha}{S} \quad (12.1)$$

Pomiar szybkości korozji polega na wywołaniu pomiędzy elektrodami pobudzenia U w postaci odpowiedniej różnicy napięć i zmierzeniu wartości prądu I wywołanego tym pobudzeniem. Znając wartość pobudzenia i odpowiedzi można wyznaczyć rezystancję polaryzacyjną R_p .

$$R_p = \frac{U}{I} \quad (12.2)$$

Faktycznie na wartość rezystancji polaryzacyjnej wpływa tzw. spadek omowy IR , który powstaje podczas przepływu prądu przez rezystancję. W przypadku pomiaru LPR rezystancją taką jest rezystancja elektrolitu R_e , czyli cieczy w której dokonuje się pomiaru.

$$R_p = \frac{U - IR_e}{I} \quad (12.3)$$

Znajomość rezystancji elektrolitu między elektrodami jest niezbędna do wykonania poprawnego pomiaru. Czujniki dedykowane są przygotowane do danego środowiska i mają tę wartość zapisaną w sobie. W przypadku używania własnych czujników tę rezystancję należy wpisać w ustawieniach (p. rozdział 10.2.4).

Na spadek omowy wpływ ma także rozmieszczenie elektrod względem siebie. Należy więc uwzględnić współczynnik geometryczny β .

$$R_p = \frac{U - \beta I R_e}{I} \quad (12.4)$$

Najczęściej wykorzystuje się czujniki w których elektrody rozmieszczone są w wierzchołkach trójkąta równobocznego. W takim przypadku współczynnik geometryczny β przyjmuje wartość 0,5. Podobnie jak w poprzednim przypadku, czujniki dedykowane mają ten parametr zapisany w sobie, natomiast dla czujników własnych należy go wpisać w ustawieniach (współczynnik GEOM - p. rozdział 10.2.3).

Prąd korozji I_{corr} wprost proporcjonalny do szybkości korozji (równanie 12.1) wyznacza się z prawa Ohma korzystając z następującej zależności:

$$I_{corr} = \frac{B}{R_p} \quad (12.5)$$

Sam parametr B ma wymiar woltów i związany jest z konkretnym środowiskiem.

$$B = \frac{b_a b_c}{2,303(b_a + b_c)} \quad (12.6)$$

Występujące w nim współczynniki b_a i b_c to współczynniki Tafela, odpowiednio anodowy i katodowy. Współczynniki te wyznacza się laboratoryjnie badając dany metal w środowisku w którym on pracuje. Podobnie jak wcześniej wspomniane parametry, czujniki dedykowane mają te współczynniki zapisane w sobie ponieważ są przygotowane do pracy w konkretnym środowisku. W przypadku użycia własnych czujników należy współczynniki Tafela oszacować we własnym zakresie. Przed pomiarem należy je wpisać do ustawień urządzenia (parametry B_a i B_c - p. rozdział 10.2.3)

UWAGA: Z powodu trudności w wyznaczeniu współczynników Tafela, w pewnych okolicznościach możliwe jest wykonanie pomiaru bez ich znajomości, przy zastosowaniu wzorów empirycznych. Więcej informacji w rozdziale 5.2.

Kolejnym istotnym parametrem równania 12.1 jest współczynnik związany z korodującym metalem α . Zależy on od równoważnika elektrochemicznego metalu E_w i gęstości metalu d .

$$\alpha = \frac{3,27 E_w}{d} \quad (12.7)$$

Występująca w powyższym wzorze stała wartość 3,27 definiuje jednostkę szybkości korozji. W tym przypadku są to milimetry na rok (*mmpy* – *millimeters per year*).

UWAGA: Należy zawsze wyliczać wartość szybkości korozji w *mmpy* ponieważ urządzenie przechowuje wyniki w tej właśnie jednostce i ma możliwość przeliczania ich na inne jednostki.

Równoważnik elektrochemiczny metalu E_w zależy od masy molowej korodującego metalu M_m i ilości elektronów n które on wymienia podczas reakcji utleniania (korozji elektrochemicznej).

$$E_w = \frac{M_m}{n} \quad (12.8)$$

Poniżej przykład obliczenia współczynnika α dla żelaza i jednostki szybkości korozji *milimetry/rok*:

$$\alpha = \frac{3,27 \cdot \frac{56}{2}}{7,86} = 11,65 \quad (12.9)$$

Podobne obliczenia dla miedzi dadzą wartość 12,28.

W czujnikach dedykowanych współczynnik związany z korodującym metalem α jest zapisany na stałe. Dla czujników własnych należy go skalkulować korzystając z powyższych zależności i wpisać w ustawienia (parametr ALPHA - p. rozdział 10.2.3)

Policzoną w powyższy sposób szybkość korozji należy skorygować o wielkość korodującej powierzchni, czyli pole powierzchni elektrody pracującej jako elektroda badana. Jest to parametr S równania 12.1. Podaje się go w cm^2 . Dla czujników własnych należy tą wielkość podać w ustawieniach (parametr AREA – p. rozdział 10.2.3).

13 DODATKOWE ADAPTERY

Do miernika można dołączyć dodatkowe oprzyrządowanie w postaci przejściówek (adapterów). Obecnie oferowane są dwa takie urządzenia.

13.1 MOP-X1-US

Przejściówka ta pozwala na użycie niestandardowych czujników korozji. Standardowo czujniki dostarczane przez naszą firmę komunikują się automatycznie z miernikiem. Zawarte w nich informacje dotyczące czujnika, takie jak elektrochemiczne wielkości związane z badanym metalem czy elektrochemiczne parametry środowiska pracy czujnika są wykorzystywane do obliczenia szybkości korozji i zwalniają użytkownika z konieczności ich każdorazowego samodzielnego wpisywania.

Gdy jednak zachodzi potrzeba użycia czujnika niestandardowego, np. wykonanego we własnym zakresie to można wyłączyć mechanizm automatycznej konfiguracji poprzez podłączenie własnego czujnika poprzez adapter **MOP-X1-US**. W takim przypadku należy samemu podać wszystkie parametry środowiska. W tym celu uaktywniają się odpowiednie opcje w menu użytkownika. Opisane to zostało w rozdziale 10.2.3.

Po podłączeniu przejściówki do miernika ten powinien wyświetlić komunikat **CONNECTION**, a po chwili komunikat **ADAPTER DETECTED**.

13.2 MOP-X1-USB

Ta przejściówka pozwala na podłączenie miernika do komputera w celu zgrania danych pomiarowych. Podłączenie odbywa się poprzez interfejs USB. Dołączone oprogramowanie pozwala archiwizować wyniki pomiarów grupując je w zależności od numeru czujnika. W ten sposób możliwa jest obserwacja wartości szybkości korozji dla każdego czujnika z osobną przez dowolnie długi czas. Wyniki można zapisać w postaci stabelaryzowanego pliku tekstowego dzięki czemu łatwo je wizualizować dowolnym programem do tworzenia wykresów lub w dedykowanym oprogramowaniu *MOPCorr*.

Po podłączeniu adaptera **MOP-X1-USB** do miernika nie sygnalizuje on żadnej akcji. Dopiero po podłączeniu całości do komputera i zainicjowaniu połączenia z oprogramowania na wyświetlaczu miernika pojawia się komunikat **CONNECTION**, a po chwili komunikat **PC-LINK DETECTED**. W tym momencie można zgrywać dane programem *MOPCorr*.

Nie jest wykluczone, że w przyszłości pojawią się nowe adaptory oferujące dodatkowe funkcjonalności. Po wszelkie informacje zachęcamy do kontaktu z naszą firmą.

14 REFERENCJE

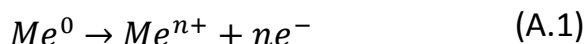
- [1] Koryta J., Dworak J., Bohackova V., Elektrochemia. PWN Warszawa 1980
- [2] Kiszka A., Elektrochemia: Tom I Jonika. WNT Warszawa 2001
- [3] Kiszka A., Elektrochemia: Tom II Elektrodyka. WNT Warszawa 2001
- [4] Krakowiak S., Korozja wżerowa (ćwiczenia laboratoryjne). Gdańsk 1995
- [5] Pourbaix M., Wykłady z korozji elektrochemicznej. PWN Warszawa 1978
- [6] Stern M., Geary A. L., Electrochemical Polarization: I. A Theoretical Analysis of the Shape of Polarization Curves. *Journal of the Electrochemical Society*, Vol. 104, No. 1, 56-63, 1957
- [7] Stern M., A Method For Determining Corrosion Rates From Linear Polarization Data. *Corrosion*, Vol. 14, No. 9, 1958, pages 440t-444t
- [8] Jurak K., Projekt urządzenia do wielopunktowego badania szybkości korozji w warunkach przemysłowych metodą polaryzacji linowej, Politechnika Gdańska 2008

DODATEK A – PODSTAWY METODY

Pomiar szybkości korozji metodą polaryzacji liniowej oparty jest na reakcjach elektrochemicznych. W związku z tym przed wyjaśnieniem samej metody, w tym rozdziale omówione zostały podstawy elektrochemii potrzebne do zrozumienia zagadnienia.

A.1 WPROWADZENIE DO METOD ELEKTROCHEMICZNYCH

Metody elektrochemiczne polegają na badaniu procesów redox w interesującym nas środowisku. Reakjom utlenienia i redukcji towarzyszy wyraźny przepływ ładunku pomiędzy substancjami reagującymi. W ogólnym przypadku proces korozji polega na utlenianiu metalu zgodnie z poniższą reakcją:



Skutkiem uwalniania się podczas tego procesu elektronów jest powstawanie prądu elektrycznego. Co łatwo zauważyć, ilość wymienionych elektronów, a więc i wartość natężenia prądu jest wprost proporcjonalna do ilości metalu który się utlenił. Prąd ten nazywa się *prądem korozji* i oznaczany jest I_{corr} . Jeżeli jego wartość podzieli się przez pole powierzchni korodującego metalu (pole powierzchni elektrody) to otrzymamy wartość nazywaną *gęstością prądu korozji* j_{corr} .

$$j_{corr} = \frac{I_{corr}}{A} \quad (A.2)$$

gdzie:

A - pole powierzchni elektrody

Z jej wartości można obliczyć masę utlenionego metalu. Korzysta się w tym celu z doskonale znanego ogólnego prawa Faraday'a, które wiąże ze sobą ilość przeniesionego ładunku i ilość substancji która się utleniła bądź zredukowała.

$$Q = znF \quad (\text{A.3})$$

gdzie:

Q - ładunek związany z prądem korozji, C

z - liczba elektronów wymienionych w procesie

n - liczba moli substancji która powstała bądź przereagowała

F - stała Faradaya (ładunek jednego mola elektronów), $96485C \cdot mol^{-1}$

Niestety nie istnieje możliwość bezpośredniego pomiaru prądu korozji, ponieważ w tym celu należałoby umieścić amperomierz pomiędzy cząsteczką utleniającą się, a redukującą, co jest oczywiście nierealne. Na szczęście istnieje możliwość pośredniego wyznaczenia tej wartości poprzez pomiar zmian pa-

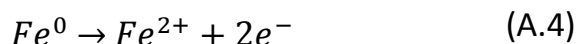
rametrów elektrycznych badanego układu (potencjał, prąd płynący przez elektrodę pracującą).

Dzięki metodom elektrochemicznym istnieje możliwość otrzymywania wartości chwilowej szybkości korozji, a nie tak jak w przypadku metod nie elektrochemicznych wartości uśrednionej w czasie, co zostanie wyjaśnione w dalszej części pracy.

A.2 POTENCJAŁ RÓWNOWAGOWY E_R I POTENCJAŁ KOROZYJNY E_{CORR}

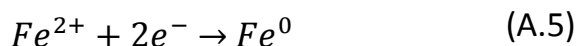
Dalsze rozważania na temat metod pomiaru szybkości korozji należy zacząć od przypomnienia sobie podstawowych faktów z dziedziny elektrochemii.

Dla przykładu, gdy zanurzy się żelazną płytkę w roztworze jonów żelaza, to płytka ta uzyska pewien potencjał elektryczny. Wiąże się on z reakcjami które zachodzą. Następuje utlenianie żelaza:



czyli metaliczne żelazo oddaje do roztworu jony, a w swojej sieci krystalicznej zostawia elektrony, które to właśnie nadają płytce potencjał.

Nie należy zapominać, że każdej reakcji chemicznej towarzyszy w mniejszym lub większym stopniu reakcja odwrotna:



W przypadku omawianego układu szybkość reakcji odwrotnej jest na tyle duża, że można mówić o równowadze termodynamicznej. Czyli jednocześnie z utlenianiem żelaza zachodzi też równorzędnie jego redukcja. Szybkości obu reakcji opisują równania kinetyczne:

$$V_{ox} = k_{ox} \cdot C_{red} \quad (A.6)$$

$$V_{red} = k_{red} \cdot C_{ox} \quad (A.7)$$

gdzie:

V_{ox}, V_{red} - szybkości reakcji utleniania i redukcji

k_{ox}, k_{red} - współczynniki szybkości reakcji utleniania i redukcji

C_{ox}, C_{red} - stężenia molowe form utlenionej i zredukowanej

Po chwili czasu te prędkości się zrównają:

$$V_{ox} = V_{red} \quad (A.8)$$

W tej samej chwili czasu więc, tyle samo żelaza się będzie utleniało co redukowało. Układ uzyska stan równowagi termodynamicznej. Obserwując go w skali makro można odnieść wrażenie, że reakcja roztwarzania żelaza po chwili stanęła, ponieważ płytka nie zmniejsza już swojej masy, a stężenie jonów Fe^{2+} nie ulega zmianie.

W takich warunkach także wspomniany już potencjał nie ulega zmianie, nazywa się go dlatego potencjałem równowagowym E_r . Jego wartość można obliczyć korzystając z równania Nernsta:

$$E_r = E_0 + \frac{RT}{zF} \ln \frac{a_{ox}}{a_{red}} \quad (\text{A.9})$$

gdzie:

E_r - potencjał równowagowy, V

E_0 - potencjał standardowy, V , dla układu Fe/Fe^{2+} wynosi - $0,76V$

R - uniwersalna stała gazowa, $8,31 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

T - temperatura, K

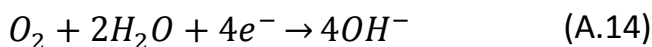
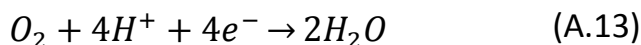
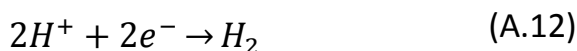
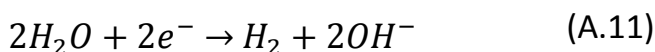
a_{ox} - aktywność formy utlenionej, w tym przypadku jonów Fe^{2+}

a_{red} - aktywność formy zredukowanej, w tym przypadku aktywność płytki żelaznej

Przy niskich stężeniach substancji bez żadnych przeciwwskazań można przyjąć, że aktywności jonów są równe ich stężeniom molowym, a aktywność stałego metalu jest zawsze równa 1, dlatego równanie (A.9) upraszcza się do formy:

$$E_r = E_0 + \frac{RT}{zF} \ln c_{ox} \quad (\text{A.10})$$

Rozważamy procesy korozyjne, które w większości przypadków odbiegają od podanego powyżej prostego przykładu, dlatego też wyobraźmy sobie, że reakcją przeciwną do utleniania nie jest redukcja Fe^{2+} do Fe, lecz redukcja innej substancji, zwanej depolaryzátorem. Takimi depolaryzátoremí są wszelkie cząsteczki zdolne do przyjęcia elektronów, a więc bardzo często np. woda, kationy wodorowe, tlen redukujące się wg rwnan:



W takim przypadku także można powiedzieć o równowadze termodynamicznej, gdy szybkość utleniania żelaza i szybkość redukcji depolaryztora są równe. Niestety elektrony wyprodukowane podczas utleniania żelaza (A.4) nie powodują jego ponownej redukcji (A.5), tylko redukcj innej substancji, dlatego też w dużym uproszczeniu można powiedzieć, iż elazna ptka sukcesywnie zanika, przechodząc do roztworu. Cały czas zachowuje ona jednak pewien potencjał, w takim układzie z depolaryztorem zwanym *potencjałem korozyjnym* E_{corr} , który jest szczególnym przypadkiem potencjału równowagowego. Nazywany jest także *potencjałem miesznym*, ponieważ na jego wartość wpływa zarówno proces utleniania metalu jak i proces depolaryzcji.

Podsumowując, metal znajdujący się w elektrolitycznym środowisku korozyjnym nieodwracalnie przechodzi w stan utleniony, czyli koroduje, uzyskując pewien potencjał zwany korozyjnym, zależny od wielu czynników – rodzaju metalu, składu jakościowego i ilościowego środowiska korozyjnego, temperatury.

A.3 PRĄD WYMIANY I_0 I PRĄD KOROZJI I_{CORR}

W rozdziale A.1 zostało napisane, że reakcjom redox towarzyszy przepływ ładunku, którego nośnikiem są elektrony, a więc mamy do czynienia z przepływem prądu elektrycznego.

Przy potencjale równowagowym szybkość utleniania jest taka sama jak szybkość redukcji, czyli prąd związany z reakcją utleniania, nazywany *prądem anodowym* I_a jest taki sam co do wartości jak prąd związany z reakcją redukcji – *prąd katodowy* I_c . Taki prąd płynący przy równowadze nazywany jest *prądem wymiany* I_0 .

W elektrochemii przyjęto rozróżniać prąd anodowy od katodowego poprzez traktowanie prądu anodowego jako dodatniego, natomiast prądu katodowego jako ujemnego. W związku z tym wartość prądu wymiany jest równa wartości bezwzględnej wartości prądu anodowego lub katodowego przy potencjale równowagowym:

$$I_0 = |I_a| = |I_c| \quad (\text{A.15})$$

Można także powiedzieć o wartości prądu wypadkowego, która jest sumą wartości prądu anodowego i katodowego:

$$I = I_a = I_c \quad (\text{A.16})$$

Oczywiście przy potencjale równowagowym, gdy prądy anodowy i katodowy są równe co do wartości, ale przeciwne co do znaku, to prąd wypadkowy jest zerowy:

$$I = I_a = I_c = 0 \quad (\text{A.17})$$

Gdy utlenia się metal, a redukuje inna substancja i ustala się równowaga przy pewnym potencjale korozyjnym E_{corr} , także mamy do czynienia z prądem wymiany. W tym przypadku jednak taki prąd wymiany nazywany jest *prądem koroзии* I_{corr} . W każdym badaniu elektrochemicznym dąży się właśnie do wyznaczenia tej wartości, ponieważ jak zostało wspomniane, gęstość prądu koroзии jest wprost proporcjonalna do szybkości koroзии, a samo obliczenie szybkości ubytku sprowadza się do prostego użycia prawa Faradaya.

A.4 NADPOTENCJAŁ, KRZYWE POLARYZACYJNE, RÓWNANIE BUTLERA-VOLMERA

Stan równowagi łatwo zaburzyć, wystarczy np. do układu będącego w stanie równowagi podłączyć zewnętrzny prąd. Zależnie od wartości przyłożonego napięcia uzyskuje się różne efekty. Jeśli przyłożony do układu potencjał jest wyższy od potencjału równowagowego, to mówi się o polaryzacji anodowej i w takim przypadku szybkość reakcji anodowej zaczyna być wyższa niż reakcji katodowej, co objawia się wypadkowym prądem dodatnim. Jak wynika z równania A.16 w takim przypadku prąd anodowy jest wyższy od prądu katodowego. Odwrotnie, kiedy przyłożony potencjał jest niższy od potencjału

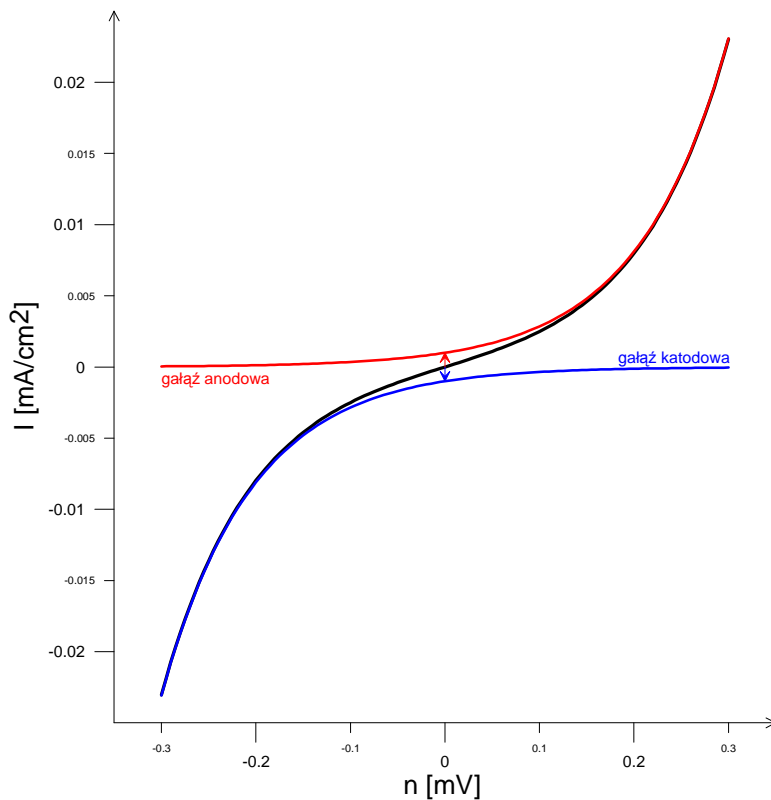
równowagowego, to mówi się o polaryzacji katodowej, i reakcja redukcji jest szybsza od reakcji utleniania – prąd katodowy jest wyższy niż anodowy, prąd wypadkowy jest więc ujemny. Odchylenie potencjału od równowagi nazywa się *nadpotencjałem* η .

$$\eta = E - E_r \quad (\text{A.18})$$

gdzie:

- η - nadpotencjał, V
- E - przyłożony potencjał, V
- E_r - potencjał równowagowy, V

Bardzo istotne jest to, że zależność wartości prądu od nadpotencjału jest eksponencjalna, czyli czym szybciej zmienia się wartość nadpotencjału tym szybciej zmienia się wartość prądu. Ilustruje to wykres A.1.



Rys.
A.1.
Przy-

kładowy wykres równania Butlera-Volmera

Na czerwono zaznaczona została gałąź anodowa. Da się zauważyć, że dla ujemnych i niskich dodatnich nadpotencjałów prąd związany z procesem utleniania jest znikomy, prawie równy zero, jednak zaczyna silnie rosnąć wraz z dodatnim nadpotencjałem. Analogiczna, odwrotna sytuacja ma miejsce w przypadku procesu redukcji, tu wartość prądu katodowego zaznaczonego na niebiesko jest największa w przypadku ujemnego nadpotencjału.

Przebieg czarnej linii jest wykresem sumy prądów anodowego i katodowego, czyli prądu wypadkowego w dziedzinie nadpotencjału. Wykres ten (A.1) powstaje z rozwiązania *równania Butlera-Volmera*:

$$i = i_0 \left\{ \exp \left[\frac{(1 - \beta)F\eta}{RT} \right] - \exp \left[\frac{-\beta F\eta}{RT} \right] \right\} \quad (\text{A.19})$$

gdzie:

i - gęstość prądu wypadkowego, A

i_0 - gęstość prądu wymiany danego układu, A

β - współczynnik symetrii

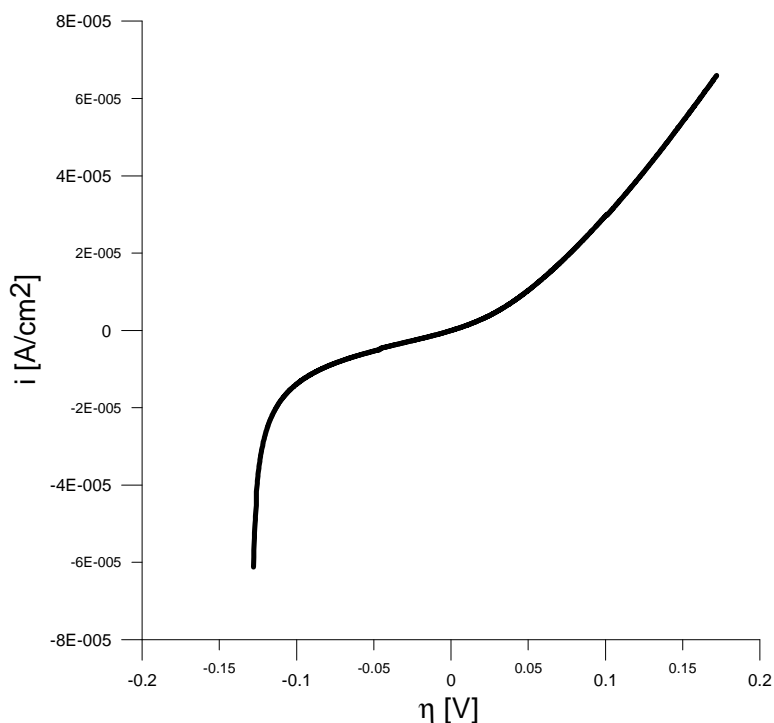
Pierwsza część eksponencjalna równania opisuje krzywą anodową, natomiast druga część eksponencjalna krzywą katodową. Analiza wykresu dostarcza ciekawych wniosków. Przy ujemnych nadpotencjałach prąd katodowy jest o wiele rzędów wielkości większy od anodowego, co oznacza że przy takiej polaryzacji reakcja redukcji jest o wiele rzędów szybsza od reakcji utleniania. Można powiedzieć, że praktycznie zachodzi tylko redukcja.

Analogicznie jest dla dodatnich nadpotencjałów, tam można zaniedbać szybkość reakcji redukcji, natomiast utlenianie biegnie bardzo szybko. Widać także, że przy potencjale równowagowym, a więc przy nadpotencjale równym zero, prąd wypadkowy jest zerowy, a więc płynie tylko prąd wymiany. Wartość prądu wymiany na wykresie jest oznaczona strzałką – czerwo-

ną dla prądu wymiany anodowego i niebieską dla prądu wymiany katodowego. Oczywiście ich wartości bezwzględne są sobie równe.

Należy zaznaczyć, że powyższa postać równania Butlera-Volmera (A.19) ma sens tylko wtedy gdy szybkość reakcji półokowych jest kontrolowana aktywacyjnie, a więc wtedy, gdy najwolniejszym ich etapem jest etap przeniesienia elektronu z/na substancję elektroaktywną. W przypadku gdy inne czynniki np. szybkość dotarcia jonów do lub na powierzchnię elektrody (kontrola dyfuzyjna) są wolniejsze od reakcji przeniesienia ładunku to wykres prąd-napięcie uzyskuje zupełnie inny wygląd.

Na rysunku (A.1) przedstawiony został modelowy wykres równania Butlera-Volmera, przy współczynniku symetrii $\beta=0,5$, zakładając odwracalną reakcję redox. Rzeczywiste wykresy uzyskuje się w laboratorium, polaryzując próbkę ujemnie i dodatnio od potencjału równowagowego i mierząc płynący prąd. Należy też zaznaczyć, że w przypadku wieloetapowych reakcji, w równaniu Butlera-Volmera współczynnik symetrii β zastępuje się *ogólnym współczynnikiem przeniesienia ładunku* α osobnym dla procesu katodowego i anodowego (α_c i α_a). Jego wartość może przekraczać wartość 1.



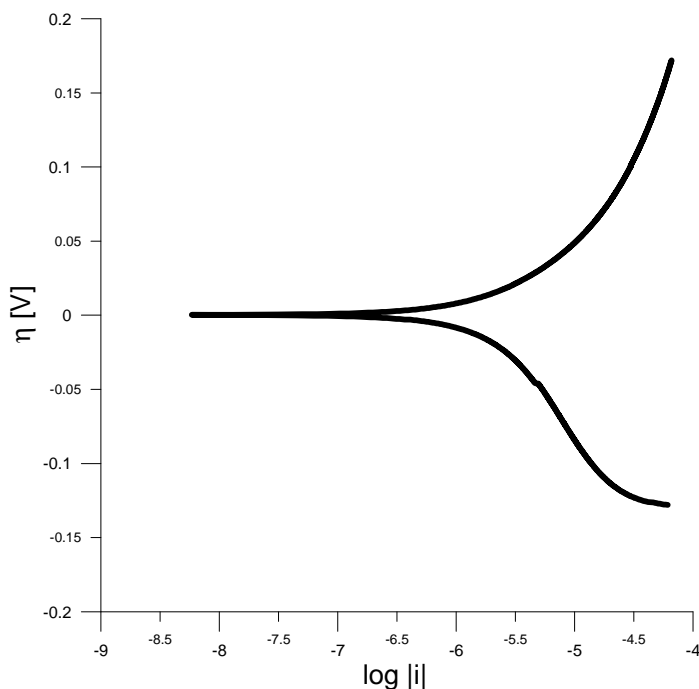
Rys. A.2. Wykres polaryzacyjny dla żeliwa eksponowanego w wodzie wodociągowej

Na rysunku A.2 przedstawiono rzeczywisty wykres polaryzacyjny dla żeliwa eksponowanego w wodzie wodociągowej. Potencjał korozyjny, od którego odchylano równowagę wynosił -0,835 V.

Po krótkim przypomnieniu sobie podstawowych zagadnień z zakresu elektrochemii, można zacząć omawiać konkretne metody prowadzące do oszacowania wartości prądu korozyjnego, a więc szybkości korozji.

A.5 KRZYWE TAFELA (TP – TAFEL PLOT)

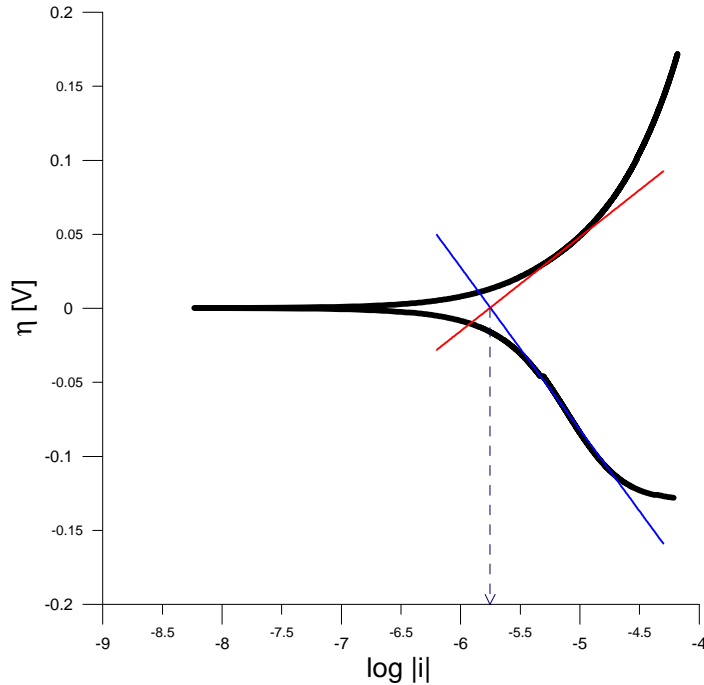
Jeśli przedstawić wykres nadpotencjał - gęstość prądu w postaci logarytmu dziesiętnego z wartości bezwzględnej gęstości prądu do nadpotencjału, to uzyskuje się tzw. Wykres Tafela. Przedstawiony na rysunku A.3 wykres Tafela jest efektem przekształcenia wykresu A.2.



Rys. A.3. Wykres Tafela dla żeliwa eksponowanego w wodzie wodociągowej

Gałąź górna jest częścią anodową, dolna katodową. Jeśli ekstrapolować ich prostoliniowe części to uzyskuje się dwie proste przecinające się. Punkt przecięcia wypada przy wartości

logarytmu z gęstości prądu korozji na osi odciętych i przy potencjale korozyjnym na osi rzędnych.



Rys. A.4. Ekstrapolacja krzywych Tafela dla żeliwa eksponowanego w wodzie wodociągowej

Równania tych prostych można wyznaczyć korzystając z równania Butlera-Volmera (A.19).

Dla dużego dodatniego nadpotencjału (anodowego – $\eta > 100\text{mV}$) można zaniedbać część katodową, ponieważ jest ona o rzędy wielkości mniejsza niż anodowa:

$$i = i_0 \left\{ \exp \left[\frac{(1 - \beta)F\eta}{RT} \right] \right\} \quad (\text{A.20})$$

Po obustronnym zlogarytmowaniu powyższego równania i wyznaczeniu nadpotencjału otrzymuje się:

$$\eta_a = -\frac{RT}{(1-\beta)F} \ln i_0 + \frac{RT}{(1-\beta)F} \ln i_a \quad (\text{A.21})$$

Po dalszych przekształceniach uzyskuje się równanie liniowe, zwane *równaniem Tafela dla procesu anodowego*:

$$\eta_a = a_a + b_a \log i_a \quad (\text{A.22})$$

gdzie:

$$a_a = -2,303 \frac{RT}{(1-\beta)F} \log i_0 \quad (\text{A.23})$$

$$b_a = 2,303 \frac{RT}{(1-\beta)F} \quad (\text{A.24})$$

a_a i b_a zwane są *współczynnikami Tafela dla procesu anodowego* i jak widać są parametrami w liniowym równaniu Tafela. Przy ich pomocy można obliczyć wartość współczynnika symetrii jak i gęstość prądu wymiany, a więc w przypadku korozji gęstość prądu korozji.

Podobną procedurę można powtórzyć dla dużych nadpotencjałów katodowych ($\eta < 100\text{mV}$), pomijając w równaniu Butlera-Volmera (A.19) znikomą część anodową. Otrzymane *równanie Tafela dla procesu katodowego* ma następującą postać:

$$\eta_c = a_c + b_c \log(-i_c) \quad (\text{A.25})$$

a współczynniki Tafela dla procesu katodowego:

$$a_c = 2,303 \frac{RT}{\beta F} \log i_0 \quad (\text{A.26})$$

$$b_c = 2,303 \frac{RT}{\beta F} \quad (\text{A.27})$$

Polaryzując badany układ anodowo i katodowo, a z wyników wyznaczając krzywe Tafela, można wyznaczyć gęstość prądu korozji, a więc jej szybkość. Metoda posiada jednak pewne wady, które ograniczają ją do użycia tylko w warunkach laboratoryjnych. Badania nie można przeprowadzić bezpośrednio na konstrukcji, należy wykonać próbkę do badania w laboratorium. Potrzebna jest wykwalifikowana osoba, która dokona odpowiedniej ekstrapolacji otrzymanych krzywych, który to zabieg jest podstawą otrzymania poprawnego wyniku. Dodatkowo otrzymanie krzywych wymaga przyłożenia wysokich potencjałów, co może spowodować takie zaburzenie stanu równowagi, że otrzymany wynik szybkości korozji nie będzie poprawny.

Ekstrapolacji krzywych Tafela używa się jednak często w celu wyznaczenia anodowych i katodowych współczynników Tafela, a dokładniej współczynników nachyleń prostych (b) niezbędnych do wyznaczenia szybkości korozji następną opisaną metodą – metodą polaryzacji liniowej.

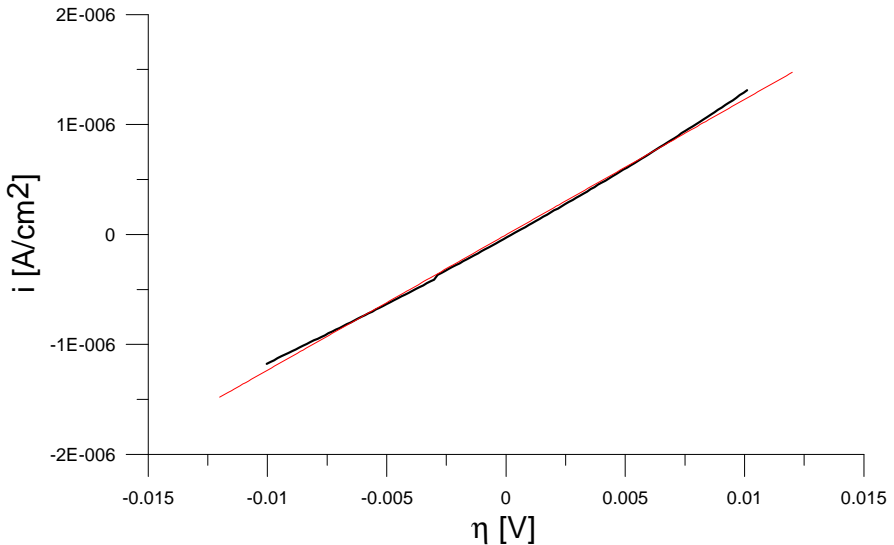
A.6 POLARYZACJA LINIOWA (LPR – LINEAR POLARIZATION RESISTANCE)

W bardzo niewielkim zakresie nadpotencjałów ($-20mV < \eta < 20mV$) równanie Butlera-Volmera (A.19) można znacznie uprościć pozbywając się wyrażen eksponencjalnych. Przyjmuje ono wtedy postać liniowej zależności prądu elektrody od przyłożonego nadpotencjału:

$$i = i_0 \left(\frac{\eta F}{RT} \right) \quad (\text{A.28})$$

Kiedy spojrzeć na wykres A.1 można zauważyć, że w pobliżu niskich nadpotencjałów jest on liniowy, właśnie ten obszar opisuje równanie A.28.

Badanie szybkości korozji za pomocą techniki LPR polega na nieznanym tylko odchyleniu stanu równowagi (maksymalnie o $20mV$) w obie strony i mierzeniu płynącego prądu. Otrzymana zależność powinna mieć charakter prostoliniowy. Realny wykres polaryzacji liniowej został przedstawiony na rysunku A.5



Rys. A.5. Wykres polaryzacji liniowej dla żeliwa eksponowanego w wodzie wodociągowej

W tym momencie można zdefiniować nowy parametr zwany *rezystancją polaryzacyjną* R_p , która ma bezpośredni związek z reakcją przeniesienia ładunku. Możliwe jest jej wyznaczenie po ustaleniu nachylenia prostej polaryzacyjnej:

$$R_p = \left. \frac{\Delta E}{\Delta I} \right|_{\Delta E \rightarrow 0} \quad (\text{A.29})$$

Rezystancję polaryzacyjną łatwo sobie wyobrazić jako opór przy wymuszaniu reakcji elektrodowej za pomocą polaryzacji. Im większy przyłożony nadpotencjał, i tym mniejszy będzie prąd tym wywołany, a więc reakcja elektrodowa wolniejsza, tym większa będzie wartość R_p . Rezystancja polaryzacyjna jest w bardzo prosty sposób związana z gęstością prądu korozji:

$$i_{corr} = \frac{B}{R_p} \quad (\text{A.30})$$

Parametr B związany jest z badanym układem korozyjnym, ma wymiar woltów. W praktyce używa się miliwoltów. Dla większości układów korozyjnych przyjmuje on wartości w przedziale $18mV$ do $59mV$, lecz najczęściej mieści się w zakresie od $20mV$ do $30mV$. Wyznacza się go stosując *równanie Sterna-Gearyego*, w którym to właśnie używa się, jak wspomniano w poprzednim rozdziale, anodowych i katodowych współczynników nachyleń prostych Tafela:

$$B = \frac{b_a b_c}{2,303(b_a + b_c)} \quad (\text{A.31})$$

Wyrażenie na prąd korozji przyjmie więc ostateczną postać:

$$B = \frac{b_a b_c}{2,303(b_a + b_c)} \cdot \frac{1}{R_p} \quad (\text{A.32})$$

Parametr B można też wyznaczyć kilkoma innymi metodami:

- używając metod grawimetrycznych
- używając odpowiednich technik zmiennoprądowych
- znaleźć w wartościach literaturowych

Polaryzacja liniowa jest bardzo często stosowaną techniką do szybkiego, ciągłego i nieniszczącego monitorowania szybkości korozji. O jej przydatności świadczy pięćdziesięcioletnia kariera tej metody w walce z korozją. Stosuje się ją w takich instalacjach jak:

- systemy chłodzenia wodą

- systemy przygotowywania i dystrybucji wody pitnej
- systemy oczyszczania ścieków
- obróbka minerałów
- produkcja papieru
- przetwórstwo węglowodorów

Technika ta najlepiej sprawdza się gdy używa się jej do monitoringu ciągłego, analizując wyniki w dziedzinie czasu. Polaryzacja może odbywać się zarówno w stronę katodową i anodową, jak też, jeśli zachodzi taka potrzeba tylko w stronę anodową, lub tylko w stronę katodową.

W terenowych instalacjach istnieje możliwość użycia systemu dwuelektrodowego (elektroda pracująca i elektroda referencyjna), jak i klasycznego trójelektrodowego (elektroda pracująca, elektroda referencyjna i elektroda pomocnicza). W przypadku systemu dwuelektrodowego, elektrody wykonuje się z tego samego metalu. W systemie trójelektrodowym elektroda referencyjna może być typową elektrodą odniesienia, używaną w laboratorium (np. chlorosrebrową). W obu przypadkach elektrody wykonuje się w postaci prętów lub cienkich krążków i rozmieszcza symetrycznie względem siebie.

Metoda posiada także pewne wady. Ograniczona jest do środowisk elektrolitycznych. Należy uważnie rozmieszczać elektrody, unikając np. niepełnego ich zanurzenia. LPR sprawdza się także tylko w przypadku korozji równomiernej, ewentualnie można za jej pomocą ocenić występowanie korozji lokalnej. Układy z burzliwym przepływem, wykazujące silny dryft potencjałowy, oscylacje, szумы elektrochemiczne bardzo

utrudniają uzyskanie poprawnych wyników za pomocą polaryzacji liniowej. Wymagane jest także stosowanie aparatury odpowiedniej klasy, ponieważ przy tak małych wartościach napięcia można doprowadzić do dużych błędów ($1mV$ niepoprawności przy $10mV$ polaryzacji to 10% błędu). Metoda LPR obarczona jest też błędem składowej omowej. Pomiędzy elektrodą pracującą, a referencyjną następuje spadek napięcia na oporze elektrolitu:

$$R_p = R_p^0 + R_\Omega \quad (\text{A.33})$$

Spadek ten należy wstępnie oszacować i o jego wartość zwiększać napięcie polaryzujące.

Metoda polaryzacji liniowej pomimo swych wad, gdy jest dobrze skalibrowana, sprawdza się doskonale w nadających się do jej zastosowania środowiskach. Mimo, że wyniki terenowe nie są tak idealne jak w przypadku badań laboratoryjnych, to i tak dają możliwość swobodnego szacowania zniszczeń korozyjnych.