

**REJESTRATORY *mR4* i *mR3p* w POMIARACH KOROZYJNYCH**  
**TYPE *mR4* & *mR3p* LOGGERS in CORROSION MEASUREMENTS**

Jacek Barański

L.INSTRUMENTs

Słowa kluczowe: korozja, pomiary korozyjne, rejestratory  
Keywords: corrosion, corrosion measurements, loggers

**Streszczenie**

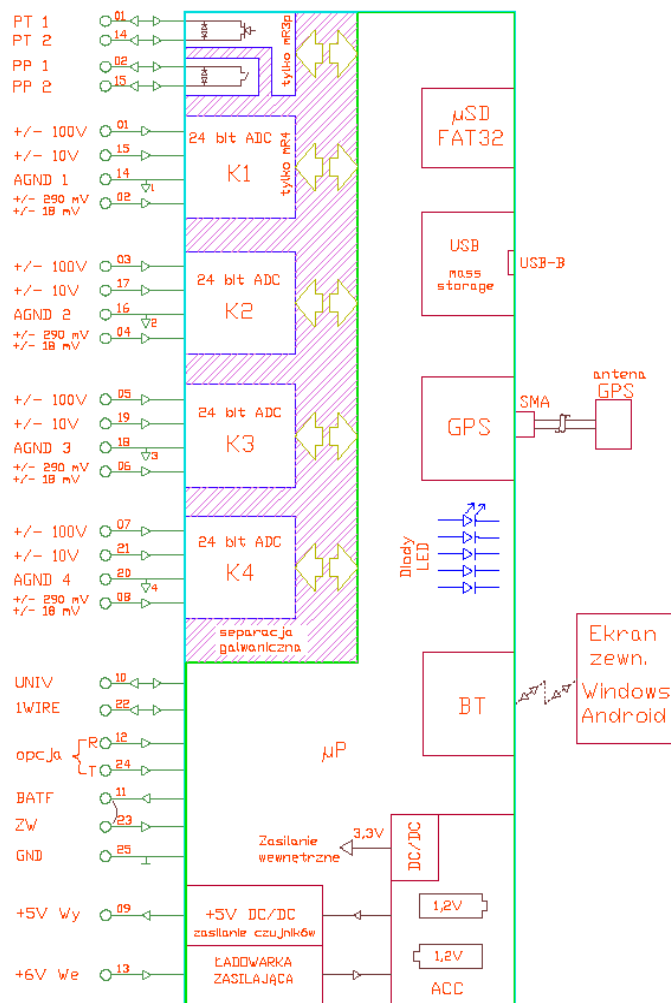
Przedstawiono główne właściwości i zasady działania wysokiej jakości miniaturowych rejestratorów *mR4/mR3p*, dostosowanych do komunikacji z komputerami, tabletami i telefonami komórkowymi. Omówiono niektóre aspekty wykorzystania rejestratorów w pomiarach korozyjnych, m. in. wyświetlanie przebiegów czasowych i korelacji w czasie rzeczywistym, dokładne pomiary mikrowoltowe, równoważenie potencjałów elektrod i zastosowanie w metodach wyłączeniowych.

**Summary**

The paper presents main features and performance of high quality mini-loggers type *mR4* and *mR3p* designed for communicating with computers, tablets and cellular phones. The discussion concerns some logger applications in corrosion measurements, such as real time and correlation plots and accurate microvolt measurements as well as compensation of electrode potentials and ON – OFF measurements.

## Wstęp

Rejestratory **mR4** i **mR3p** są pomyślane jako silne narzędzie wsparcia stosowane w elektrochemicznej ochronie przed korozją w trudnych warunkach rejestracji długoczasowych sygnałów wolnozmiennych. Uniwersalny rejestrator **mR4** został wyposażony w cztery kanały pomiarowe, zaś specjalnie adaptowany rejestrator **mR3p** zawiera trzy kanały, a zamiast czwartego przerywacz. Oba rejestratory spełniając funkcję zapisu pozwalają w czasie rzeczywistym wyświetlać wielkości mierzone i przebiegi czasowe na zewnętrznym ekranie komputera, tabletu lub telefonu komórkowego.



Rys. 1. Schemat blokowy rejestratora **mR4/mR3p**.

W rejestratorze **mR3p** układy przerywające PP i PT zastępują kanał pomiarowy K1 rejestratora **mR4**

Każdy z kanałów jest wyposażony w cztery zakresy napięciowe:  $\pm 100V$ ,  $\pm 10V$ ,  $\pm 290mV$ ,  $\pm 18mV$ , pracujące synchronicznie i między sobą galwanicznie separowane. Dzięki temu w tym samym czasie mogą mierzyć wielkości wzajemnie nie powiązane i to w różnych punktach, a nawet w różnych obiektach, np. potencjały, napięcia i prądy w badanym rurociągu i w konstrukcji obcej. Wielkości mierzone użytkownik przypisuje wybranym przez siebie kanałom. Na marginesie warto wspomnieć, że dołączając właściwe czujniki można mierzyć wszelkie wielkości fizyczne.

Lepsza niż 0.1% dokładność bazowa sprawia, że przyrządy te nadają się bardzo dobrze do użycia w laboratorium, a kieszonkowe rozmiary, niewielka masa i autonomiczne zasilanie predestynują je również do pracy w terenie, np. w słupku stacji pomiarowej. W przyrząd został wbudowany GPS, dzięki czemu do protokołu pomiaru może być automatycznie włączone precyzyjne określenie chwili i miejsca pomiaru.

Do komunikacji można używać komputera stacjonarnego, notebooka, tabletu (USB i *Bluetooth*) pod nadzorem oryginalnego programu *mRgui* (*Windows*) oraz – z pewnymi ograniczeniami wynikającymi z wielkości ekranu – telefonu komórkowego (*Bluetooth*) pod nadzorem oryginalnego programu *mRdroid* (*Android*).

Sygnaly do rejestratora wprowadza się przez złącze 25-pinowe. Obsługę ułatwiają specjalne wtyczki, które nie tylko zawierają zaciski dla przewodów pomiarowych, ale mogą spełniać dodatkowe funkcje. Standardowo każdy rejestrator jest wyposażony we wtyczkę uniwersalną *WU*, wyposażoną w pamięć EEPROM, co umożliwia wcześniejsze przygotowanie, a potem utrzymywanie stałych nastaw, np. jeśli pomiary mają być powtarzane przez dłuższy czas w tych samych warunkach. Użytkownik może też dostosować do swoich indywidualnych potrzeb liczbę i długość przewodów pomiarowych, które dołącza do zacisków wtyczki. Za pomocą kilku różnych odpowiednio nastawionych wtyczek można obsłużyć bogaty program badawczy. Wybiegające poza przewidziany program indywidualne potrzeby użytkownika mogą być zaspokojone przez wykonanie odpowiednio dedykowanej wtyczki *WD*.

Bliższe dane techniczne na stronie [www.linstruments.com.pl](http://www.linstruments.com.pl).

### Zasada działania

Przyrząd generuje dwa strumienie danych, z których jeden, skierowany na zewnątrz przez modem *Bluetooth*, służy do komunikacji rejestratora z komputerem, notebookiem lub tabletem, do wprowadzania nastaw, wyświetlania przebiegów w czasie rzeczywistym, odczytu stanu bieżącego i odczytu danych zapisanych na karcie pamięci microSD.

Drugi strumień jest zapisywany wewnątrz w postaci plików na karcie pamięci. Ze względu na to, że odczyt dużych plików przez modem *Bluetooth* może trwać dość długo, przyrząd jest wyposażony również w interfejs USB klasy *mass storage*, widziany przez system *Windows* jako dysk przenośny. Zapewnia to szybki dostęp do plików. Generowane automatycznie nazwy plików składają się z daty i chwili rozpoczęcia pomiaru oraz numeru fabrycznego, co ułatwia ich wyszukiwanie.

Rejestrator jest nastawiany przez łącze *Bluetooth*. Nastawy są przechowywane w pamięci EEPROM wtyczki lub w pliku **MR.INI** na karcie pamięci microSD. Nastawy pobierane są hierarchicznie. Po starcie przyrząd najpierw pobiera nastawy domyślne (nastawienia producenta), następnie z wtyczki inteligentnej, potem z pliku **MR.INI** (jeśli został utworzony), a na końcu nastawy są pobierane przez łącze *Bluetooth*. Użytkownik dobiera miejsce, z którego są pobierane nastawy według potrzeby. Proces nastawiania jest za-

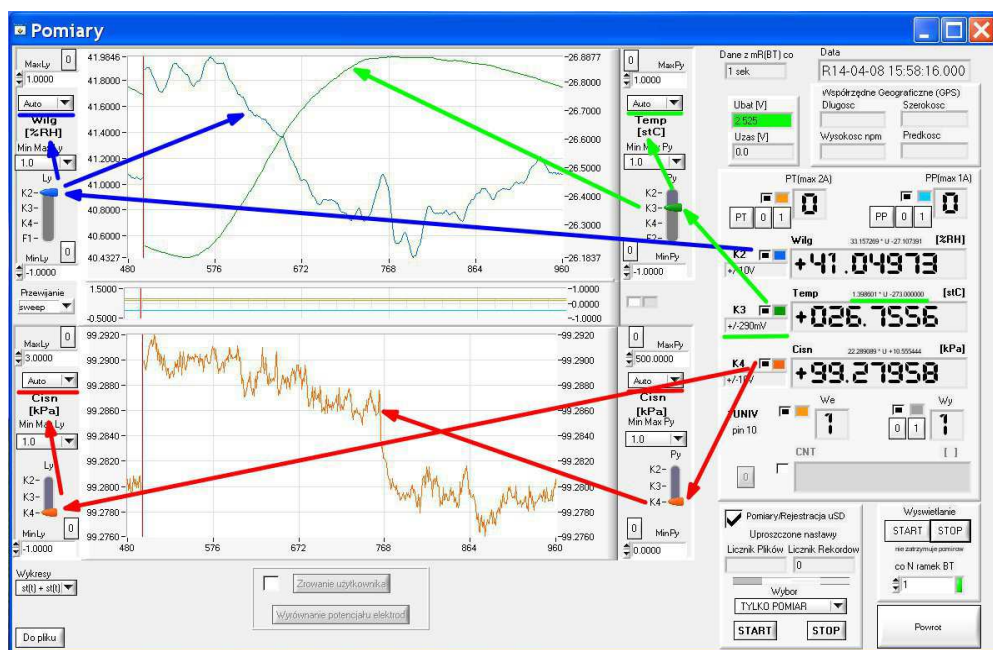
bezpieczony w programie *mRgui* przed przypadkowym włączeniem, ponieważ zatrzymuje bieżące pomiary.

W procesie nastawiania użytkownik nastawia parametry pracy (np. krok próbkowania, czas rejestracji, sposób startu zapisu itd.) i kształtuje strumień danych zapisywanych na kartę mikroSD. Może także skalibrować kanały pomiarowe, wprowadzając odpowiedni zakres i prostoliniową charakterystykę czujnika (dwa punkty), a następnie jednostki, wyrażające wielkość mierzoną.

### Niektóre aspekty wykorzystania rejestratora w pomiarach korozyjnych

W szerokim zakresie możliwości pomiarowych rejestratora na podkreślenie zasługują takie jego możliwości jak wyświetlanie w czasie rzeczywistym przebiegów czasowych i korelacji; pomiary mikrowoltowe; równoważenie potencjałów elektrod; pomiary wyłączeniowe. Przedstawiono je dalej w oparciu o panele (okna) programu *mRgui*.

### Przebiegi czasowe i korelacja



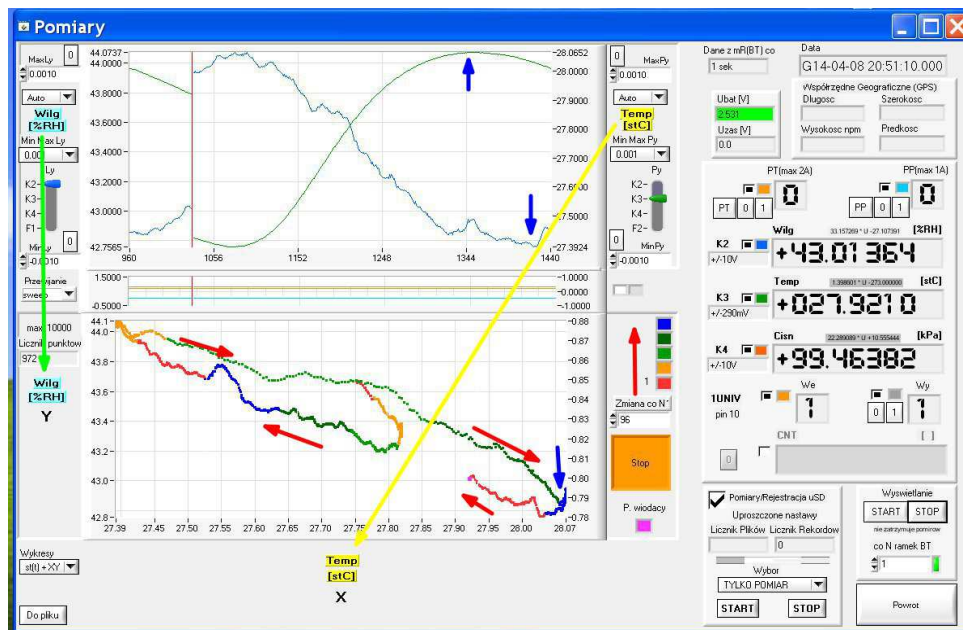
Rys. 2. Wizualizacja przebiegów w funkcji czasu. W górnym okienku zapis dwóch przebiegów, w dolnym zapis jednego przebiegu, pomiędzy nimi okienko dwustanowe

Rys. 2 przedstawia podstawowy panel służący do wyświetlania przebiegów w czasie rzeczywistym. Zawiera on szereg pól i kontrolki, z których najważniejsze są trzy okienka do wyświetlania wykresów: dwa analogowe, a pomiędzy nimi jedno dwustanowe. Na każdym z wykresów analogowych mogą być wyświetlane dwa przebiegi, przypisane odpowiednio do lewej lub prawej osi Y. Za pomocą suwaków Ly i Py, wskazanych strzałkami na rysunku, użytkownik wybiera przebieg i przypisuje jednej z osi. Wykresy skalują się automatycznie albo skalę nastawia się ręcznie. Służy do tego szereg kontrolki umieszczonych

w oknach wykresu w pobliżu osi Y. Każda oś jest skalowana osobno według potrzeb użytkownika.

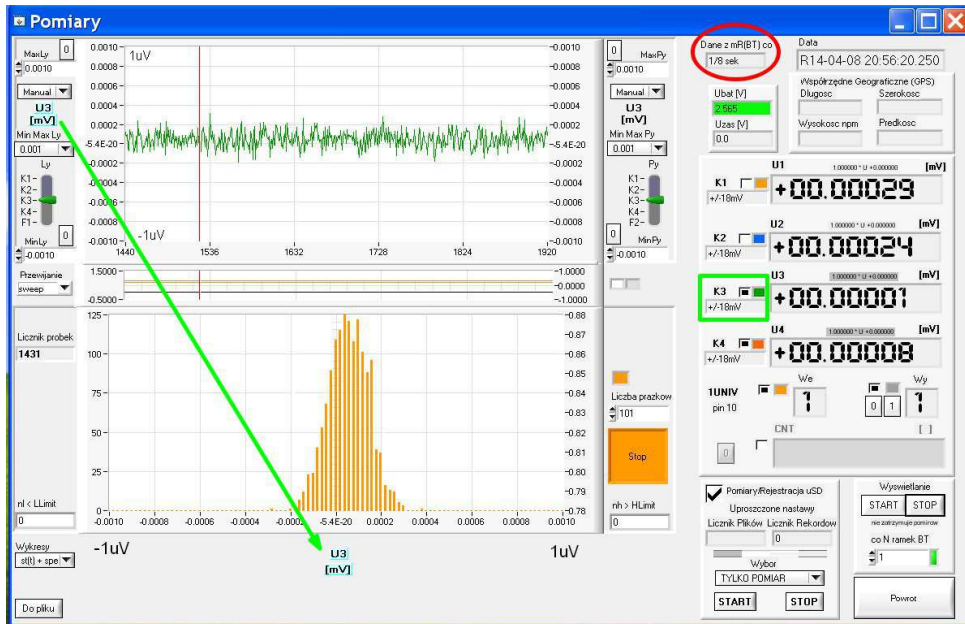
W prawej części panelu znajduje się duże pole, w którym wartości cyfrowe zmierzonych przebiegów i nastawione zakresy są wyświetlane w jednostkach nadanych przebiegom w procesie kalibracji użytkownika. Wybrane kolory kanałów narzucają kolory przebiegów i strzałek suwaków. W pokazanym na rysunku panelu rejestratora *mR3p* znajduje się dodatkowo pole określające stan pracy przerywaczy *PP* (przełącznikowego) i *PT* ( tranzystorowego). Z tego pola można sterować przerywaczami, tzn. włączyć stan niski, stan wysoki lub wcześniej nastawiony cykl przerywania.

Należy zwrócić uwagę na dwa przyciski znajdujące się w lewym dolnym rogu panelu. Przycisk WYKRESY zmienia treść dolnego wykresu Y(t) albo na wykres X-Y (korelacja dwóch zmierzonych wielkości), albo na wykres *spectrum* albo wykres synchronizowany z cyklem przerywania.



Rys. 3. Przykładowa korelacja: wilgotność w funkcji temperatury

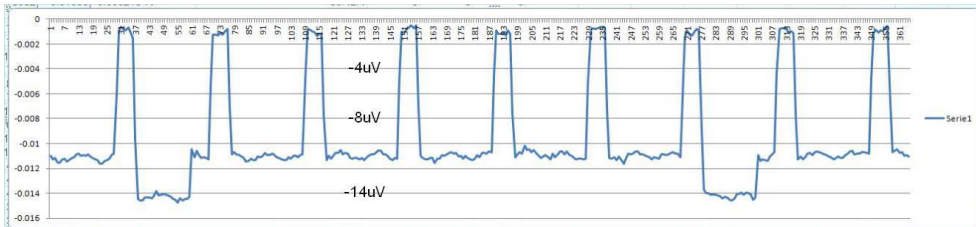
Drugi przycisk DO PLIKU pozwala zapisać rejestrowane dane alternatywnie w stosunku do zapisu na karcie mikroSD. Dane są przechwytywane ze strumienia *Bluetooth* i zapisywane według wyboru, w formacie własnym albo w formacie danych rozumianym przez arkusze kalkulacyjne (Excel, Grapher).



Rys. 4. Spectrum szumu własnego w kanale K3 na zakresie 18mV

Na rys. 3 przedstawiono przykładową korelację dwóch przebiegów. Należy zwracać uwagę na wybór osi współrzędnych dla każdego z przebiegów, ponieważ lewej osi układu współrzędnych korelacji przypisany jest na stałe przebieg wybierany suwakiem Ly (zielona strzałka), a dolnej osi suwakiem Py (żółta strzałka). Po prawej stronie przebiegu korelacji znajduje się pięć kontroltek koloru. Co nastawioną liczbę próbek kolor się zmienia, pozwalając identyfikować na wykresie kierunek przemieszczania punktów (strzałki czerwone).

### Pomiary mikrowoltowe



Rys. 5. Fragment zapisu spadku napięcia na boczniku rurociągowym.

Rys. 4 przedstawia szum własny na najmniejszym zakresie pomiarowym. Jest on dużo mniejszy od  $1\mu\text{V}$  i wynosi około  $500\text{nV}$  (pick-to-pick). Świadczy to o wysokiej jakości przyrządu w roli mikrowoltomierza, dzięki której może być używany do pomiaru nawet bardzo małych prądów w bocznikach rurociągowych o bardzo dużych średnicach.

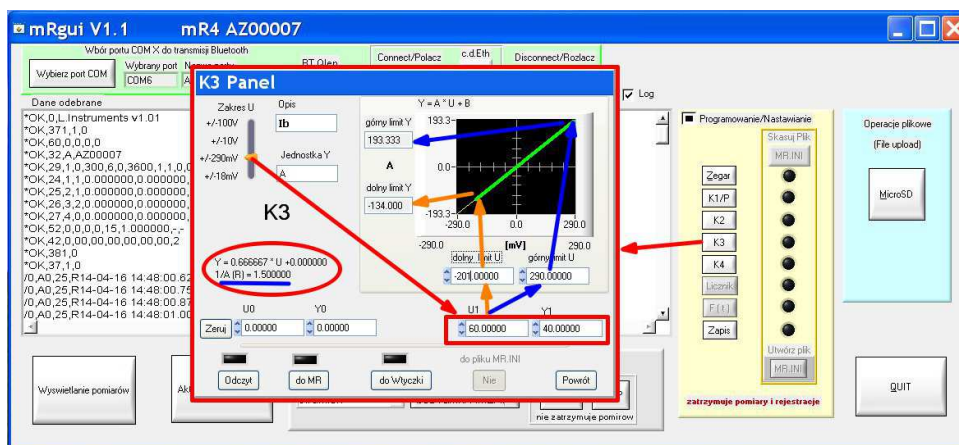
Widać to dobrze na rys. 5, który przedstawia rzeczywisty zapis spadku napięcia na boczniku. Pomiar został zrobiony na rurociągu o bardzo dobrej izolacji, w którym prąd ochrony katodowej był przerywany w cyklu 5s z przerwą 1s. Na rysunku widać także wpływ przerywania prądu ochrony katodowej w cyklu 30s z przerwą 3s w sąsiednim rurociągu, równoległym do badanego. Rysunek przedstawia doskonałą odpowiedź na skok jednostkowy, jakim jest zdarzenie załączenia lub wyłączenia (ON – OFF), bez przeregulowania i długiego dochodzenia do wartości ustalonej.

### Kalibracja użytkownika na przykładzie pomiaru prądu

Kalibracja użytkownika stanowi część procesu nastawiania i pozwala na zmianę mierzonego napięcia na dowolną wielkość fizyczną. Na rys. 6 przedstawiono ją na przykładzie dołączenia bocznika prądowego 40A, 60mV do kanału K3. Przechodząc z pomiaru napięcia na pomiar prądu wybrano zakres 290mV. W dwóch punktach ( $U_0, Y_0$ ) i ( $U_1, Y_1$ ) równania prostej  $Y = A \cdot U + B$  wstawiono odpowiednio wartości (0,0) i (60,40), na podstawie czego obliczono równanie kalibracji  $Y = 0.666667 \cdot U + 0.0$ . W równaniu prostej współczynnik A równy jest tutaj 0.666667, jego odwrotność to rezystancja bocznika:  $1/A = 1.5$ .

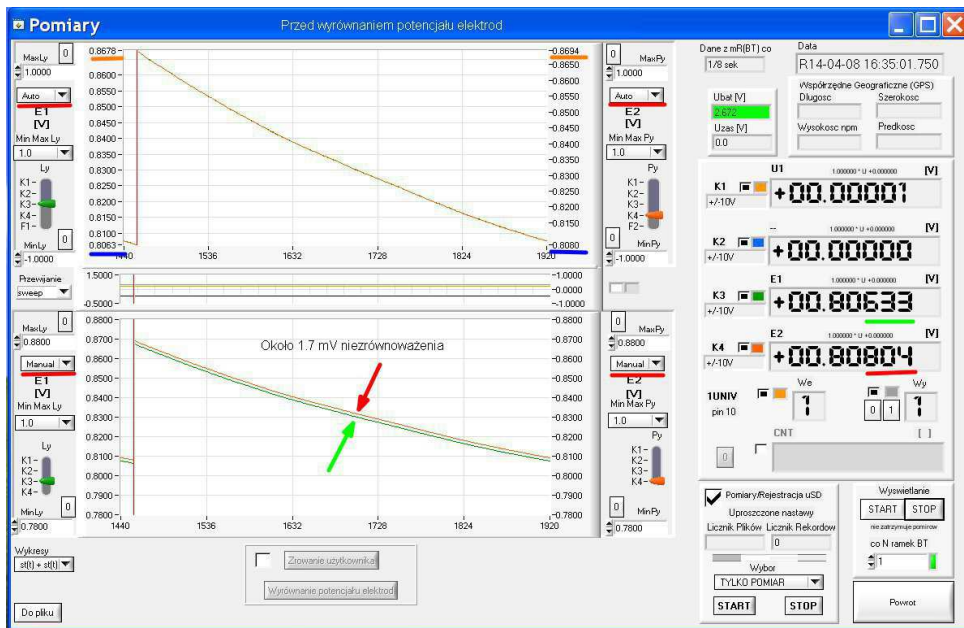
Napięcie jest tu mierzone w mV, a prąd nastawiono w A, zatem rezystancja zostanie wyrażona w mΩ. Zakres można ograniczyć, co może mieć znaczenie przy kalibracji niektórych czujników. Dla przykładu tutaj ograniczono dolny zakres  $U$  do  $-201\text{mV}$ , co pozwala mierzyć prądy powyżej  $-134\text{A}$ . Górny limit opiera się o koniec zakresu, tj.  $+290\text{mV}$ ; daje to możliwość pomiaru prądu do  $+193.3\text{A}$ . Ograniczenie jest wizualizowane w postaci zielonej grubej linii na wykresie o nazwie  $Y = A \cdot U + B$ . Na zakończenie procesu kalibracji użytkownika należy wprowadzić w odpowiednie pola nazwę sygnału i jednostkę mierzoną.

W dolnej części panelu kalibracji znajduje się szereg przycisków. W zależności od ich użycia wyniki kalibracji możemy zapisać do rejestratora, do wtyczki lub przygotować zapis do pliku MR.INI. Poprawny zapis potwierdzi zielony kolor odpowiedniej kontrolki LED.



Rys. 6. Postępowanie w procesie kalibracji użytkownika

## Wyrównanie potencjału elektrod odniesienia



Rys. 7. Potencjały dwóch elektrod różnią się o około 1.7mV

Dokładność pomiaru zależy nie tylko od własności metrologicznych rejestratora, lecz także od poprawnego działania elektrod odniesienia. Rejestrator umożliwia eliminację błędu pomiarowego elektrod, co ma kapitalne znaczenie podczas pomiaru bardzo małych wartości, np. przy wyznaczaniu jednostkowej rezystancji powłoki o wysokim poziomie szczelności.

Na rys. 7, 8 i 9 przedstawiono proces wyrównywania potencjałów elektrod. Na rys. 7 widać potencjały dwóch elektrod. Dolny wykres, skalowany manualnie, pokazuje różnicę potencjału dwóch elektrod, która wynosi około 1.7mV (patrz strzałki).

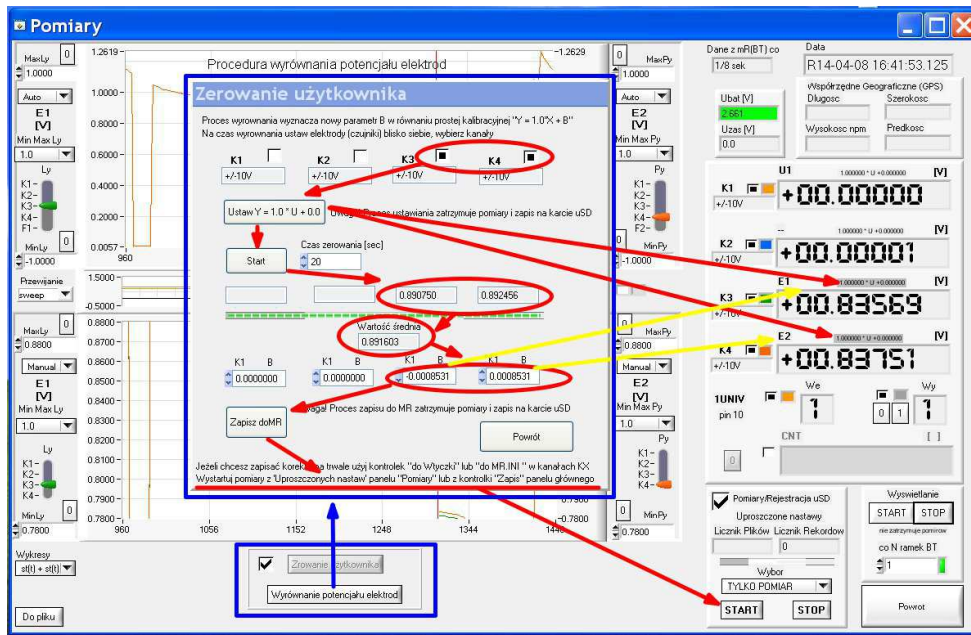
Rys. 8 przedstawia proces wyrównywania potencjałów, w znacznym stopniu automatyczny. W wybranych kanałach, do których dołączone są elektrody, wpisuje się równania prostych o postaci

$$Y = 1.0 \cdot U + 0.0.$$

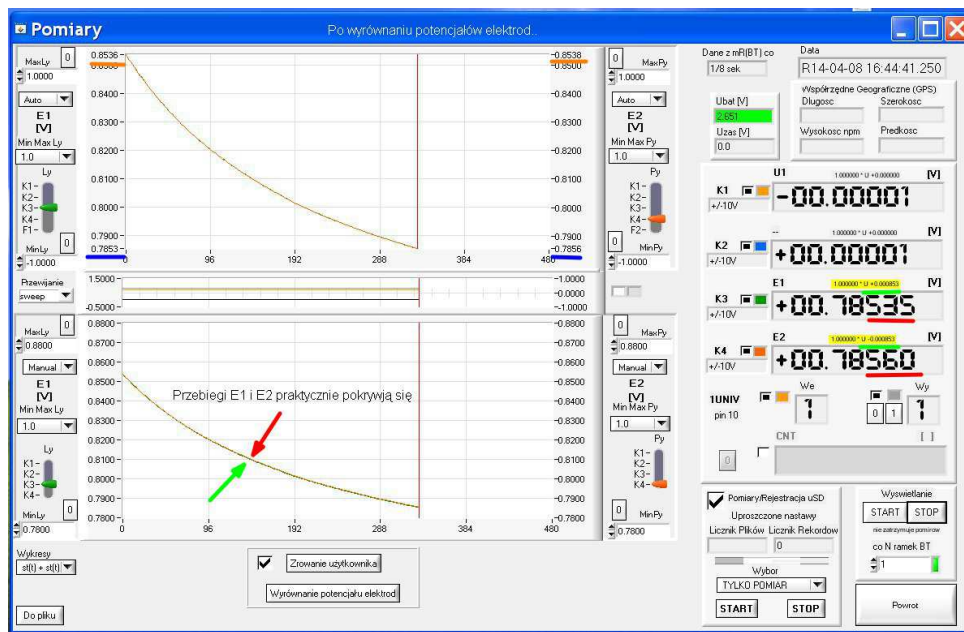
Po ustawieniu elektrod blisko siebie, w punkcie o tym samym potencjale, należy przyciskiem START rozpocząć pomiar potencjału, trwający przez czas nastawiony, np. 20s. Dla każdej z elektrod obliczane są wartości średnie oraz sumaryczna wartość średnia. Różnice między tymi wartościami stanowią poprawki wstawiane do równania kalibracji, obliczane oddzielnie dla każdej elektrody. Równanie to dla każdej z elektrod przyjmie postać

$$Y = 1.0 \cdot U + \text{poprawka elektrody}.$$





Rys. 8. Proces wyrównywania potencjałów elektrod odniesienia



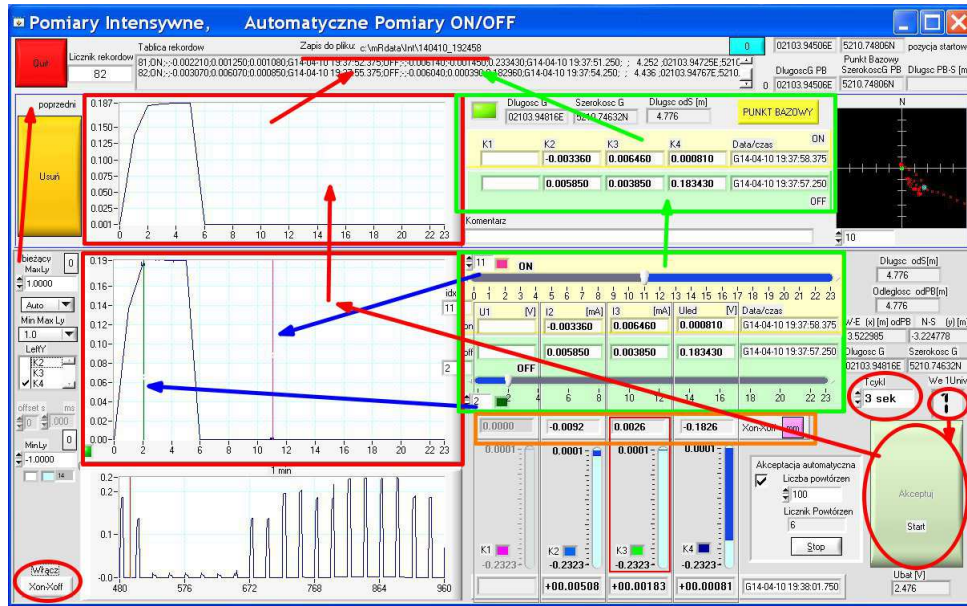
Rys. 9. Potencjały elektrod odniesienia wyrównane po kalibracji

Równanie (podświetlone na żółto) wyświetli się w polu opisu odpowiedniego kanału. Na rys. 9 widać praktycznie równe potencjały elektrod po kalibracji. Średni błąd nie przekracza  $250\mu\text{V}$ . Poprawia to znacznie dokładność wyników pomiaru.

### Pomiary wyłączeniowe

Załączanie i wyłączenie (ON – OFF) prądu ochrony katodowej stosowane w metodach wyłączeniowych wymaga odpowiedniego działania przyrządów pomiarowych. W tym celu zaprojektowano specjalny panel w programie *mRgui* (rys. 8).

W skład panelu wchodzi trzy okna przedstawiające przebiegi oraz szereg kontrolek związanych z nastawianiem cyklu wyłączeniowego, kursorów ON i OFF, skalowaniem wykresów graficznych oraz pomiarem odległości (GPS).



Rys. 10. Postępowanie podczas pomiarów wyłączeniowych

Podstawowe środkowe okno analogowe przedstawia zsynchronizowany z cyklem przerywania wykres przebiegów potencjałów. W tym oknie definiowane są kursory ON i OFF, których pozycje można nastawiać w różnorodny sposób. Przed rozpoczęciem pomiarów użytkownik wybiera cykl przerywania i czeka na przejście znacznika czasowego przez początek minuty, kiedy następuje synchronizacja wykresu z mierzonym przebiegiem. Następnie odpowiednio ustawia dwa kursory, na stan ON i stan OFF i we właściwych polach odczytuje wartości potencjałów ON i OFF, a poniżej ich różnicę. Gdy ustawienie kursorów uzna za prawidłowe, może odblokować pole AUTOMATYCZNE POMIARY i nastawić liczbę cykli ON – OFF. Cykle odbędą się automatycznie, bez konieczności używania przycisku AKCEPTUJ, po czym proces pomiarowy zakończy się.

W pomiarach intensywnych każdy pomiar akceptuje się manualnie przez naciśnięcie przycisku AKCEPTUJ lub przycisku na rękojeści tyczki elektrody odniesienia, dołączonego elektrycznie do wejścia 1UNI. Akceptacja następuje po wizualnej ocenie przyłożeń

nia elektrod w środkowym oknie graficznym. W przypadku akceptacji wyniki ON – OFF są przepisywane do okna górnego. W razie pomyłki można je tu usunąć. Przy kolejnej akceptacji wyniki są przepisywane do tablicy (górną ekranu), a także do odpowiedniego pliku.

W dolnej lewej części ekranu znajduje się dodatkowy wykres, który w zależności od wyboru przedstawia albo ostatnią minutę pomiarów, albo różnicę potencjałów ON – OFF w funkcji wykonywanych kroków pomiarowych. Prawa górna część ekranu opisuje pozycję, w której się odbywa się pomiar i wyświetla długość od początku pomiaru lub od punktu bazowego, który ustawia się zwykle w miejscu zmiany kierunku rurociągu.

W prawym górnym rogu znajduje się wykres, który przedstawia kolejne punkty pomiaru opisane pozycją GPS. Wykres skalowany jest w metrach.

### **Podsumowanie**

Rejestratory *mR4/mR3p* stanowią sprzęt dobrze przystosowany do wykonywania pomiarów korozyjnych w warunkach laboratoryjnych i w terenie, co pozwala wyrazić nadzieję, że będą przydatne nie tylko w rutynowych działaniach kontrolnych, lecz staną się zachętą do rozwoju badań w elektrochemicznej ochronie przed korozją.