

XVI KRAJOWA KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA

Pomiary korozyjne w ochronie katodowej

Wybrane zagadnienia pomiarowe z użyciem rejestratorów mR4 i wtyczek dedykowanych

**Jacek Barański
L.INSTRUMENTS s.c.**

JASTARNIA 2022

Zagadnienia prezentacji

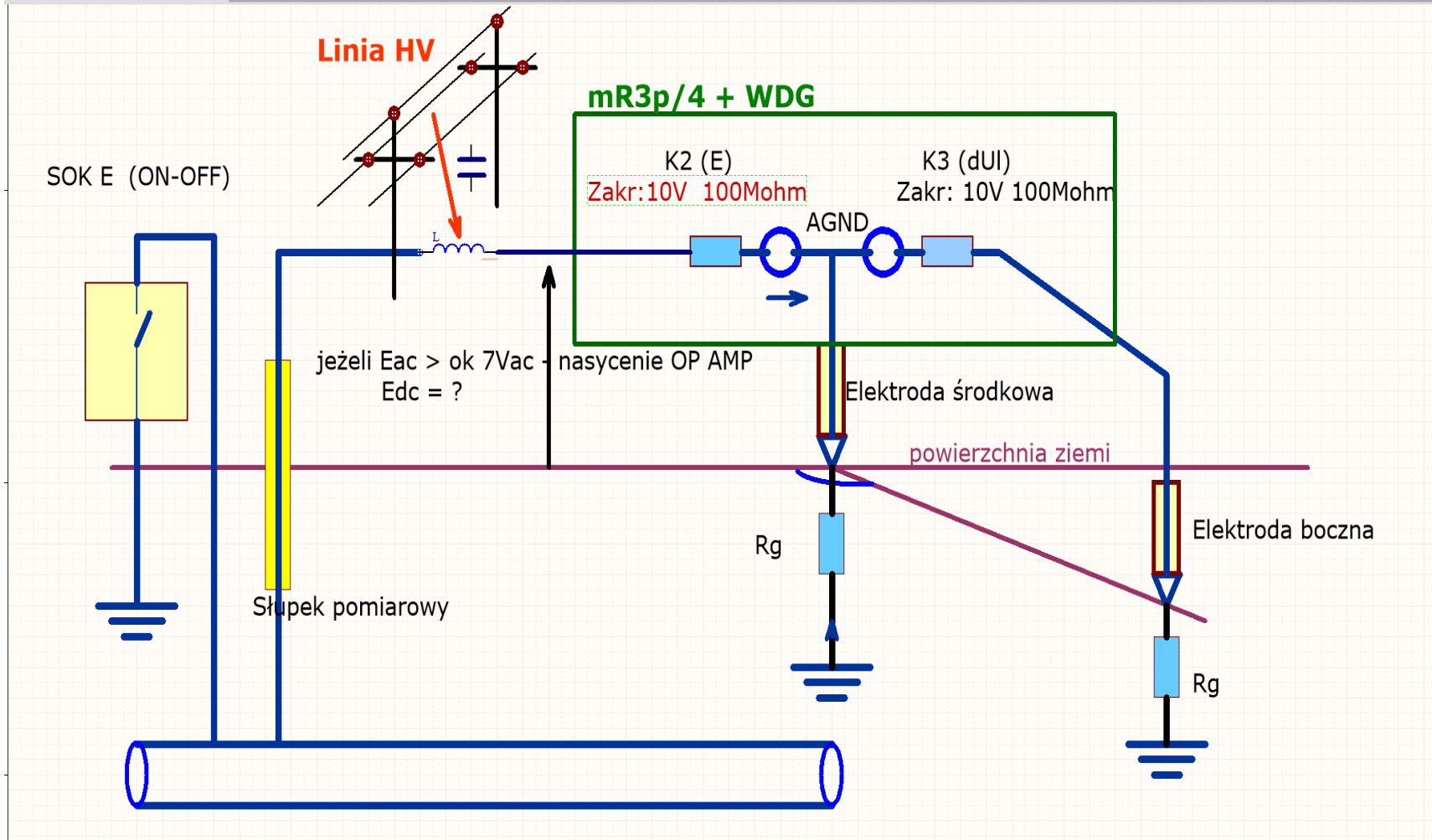
- 1) Pomiarы intensywne – problemy pomiarowe i modyfikacje wtyczki WDG
- 2) Program „2plikiW1wspólny” – synchronizacja pomiarów wykonywanych w dwóch różnych punktach pomiarowych w tym samym czasie w celu wyznaczenia rezystancji odcinkowej
- 3) Implementacja Normy PN-EN ISO 21857 w programie mRgraph3p4



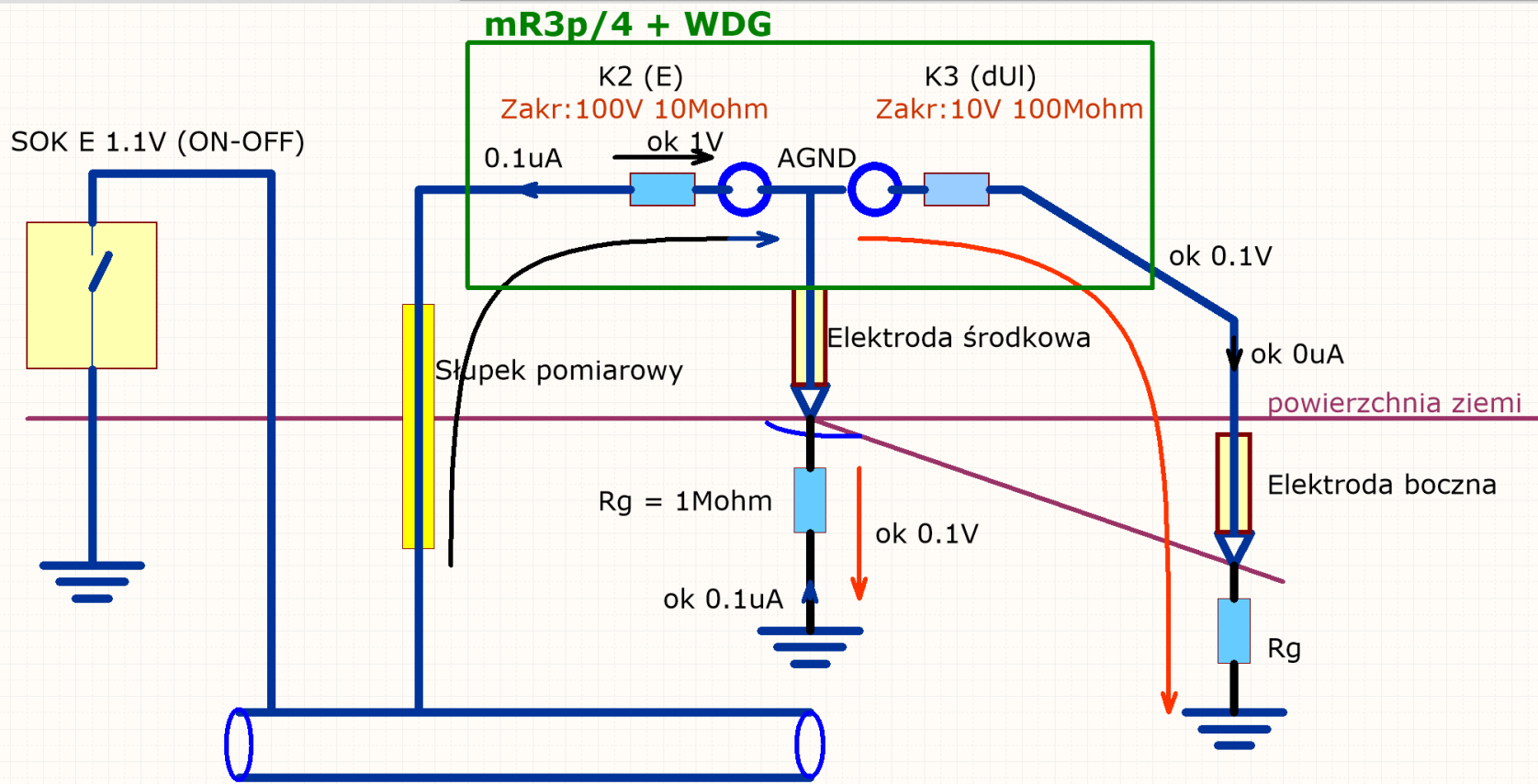
Sprzęt do pomiarów intensywnych – *mR4* + wtyczka *WDG* + antena *GPS* + tablet



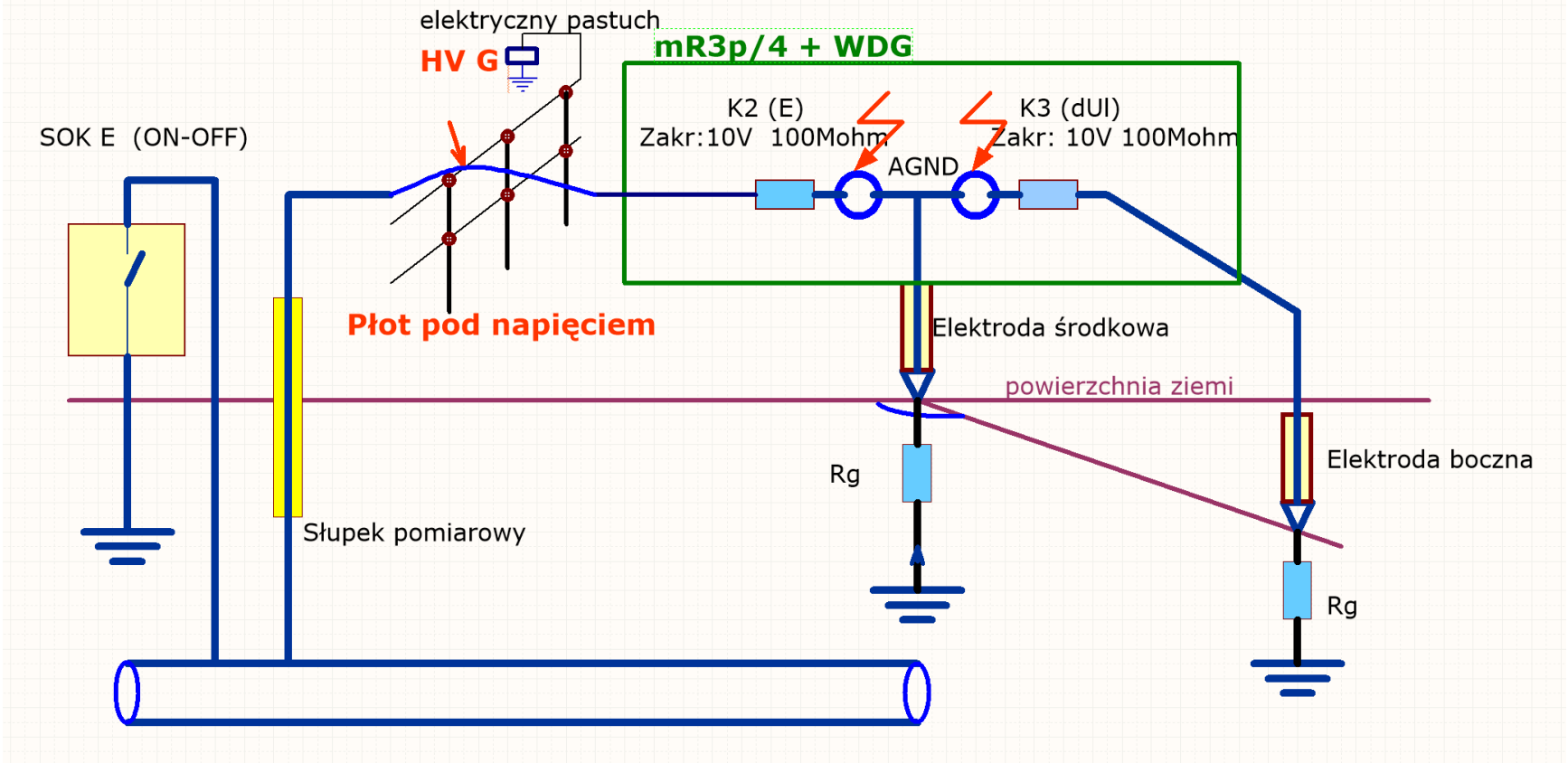
Pomiary w terenie z wykorzystaniem *mR4* oraz wtyczek *WDG*



Skutkiem oddziaływania linii wysokiego napięcia na nasycenie się wzmacniaczy na zakresie 10 V (100 M Ω) jest niewłaściwy pomiar potencjału



Błędne pojawianie się gradientu wskutek przepływu prądu przez wejście do pomiaru potencjału (kanał K2, zakres 100 V [10 MΩ], pomiar E) w terenie mocno wysuszonym i o bardzo dużej rezystywności gruntu. Wartości liczbowe prądów i spadków napięć są hipotetyczne



Niebezpieczeństwo uszkodzenia przyrządu wskutek przetarcia się lub przebicia izolacji na przewodzie doprowadzającym potencjał do układu pomiarowego na płocie pod napięciem (pastuch elektryczny)

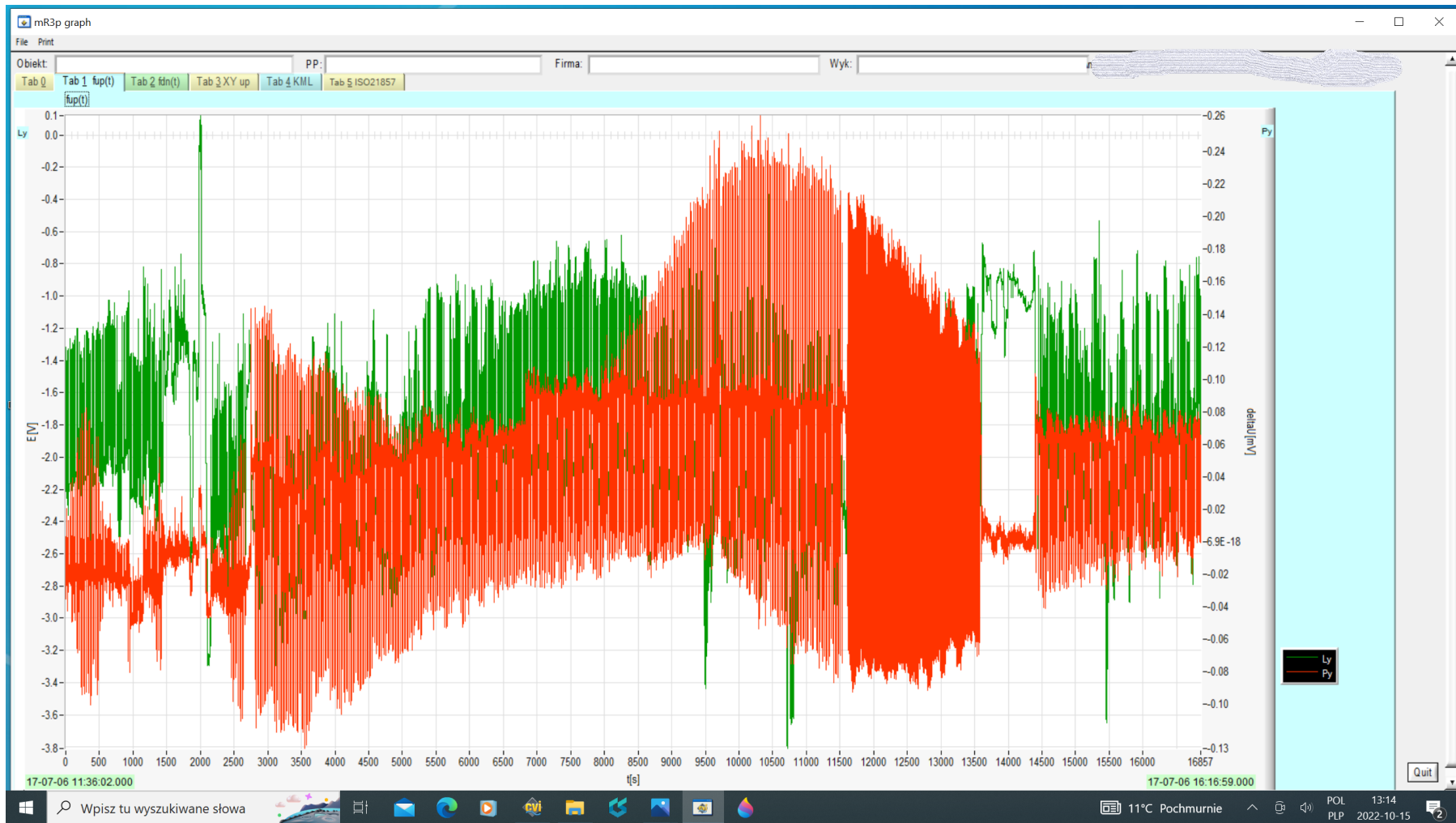


Pomiary intensywne, metoda dwuelektrodowa, wizualizacja defektu na mapie 3D.
Kolor zielony – potencjał
Kolor czerwony – gradient

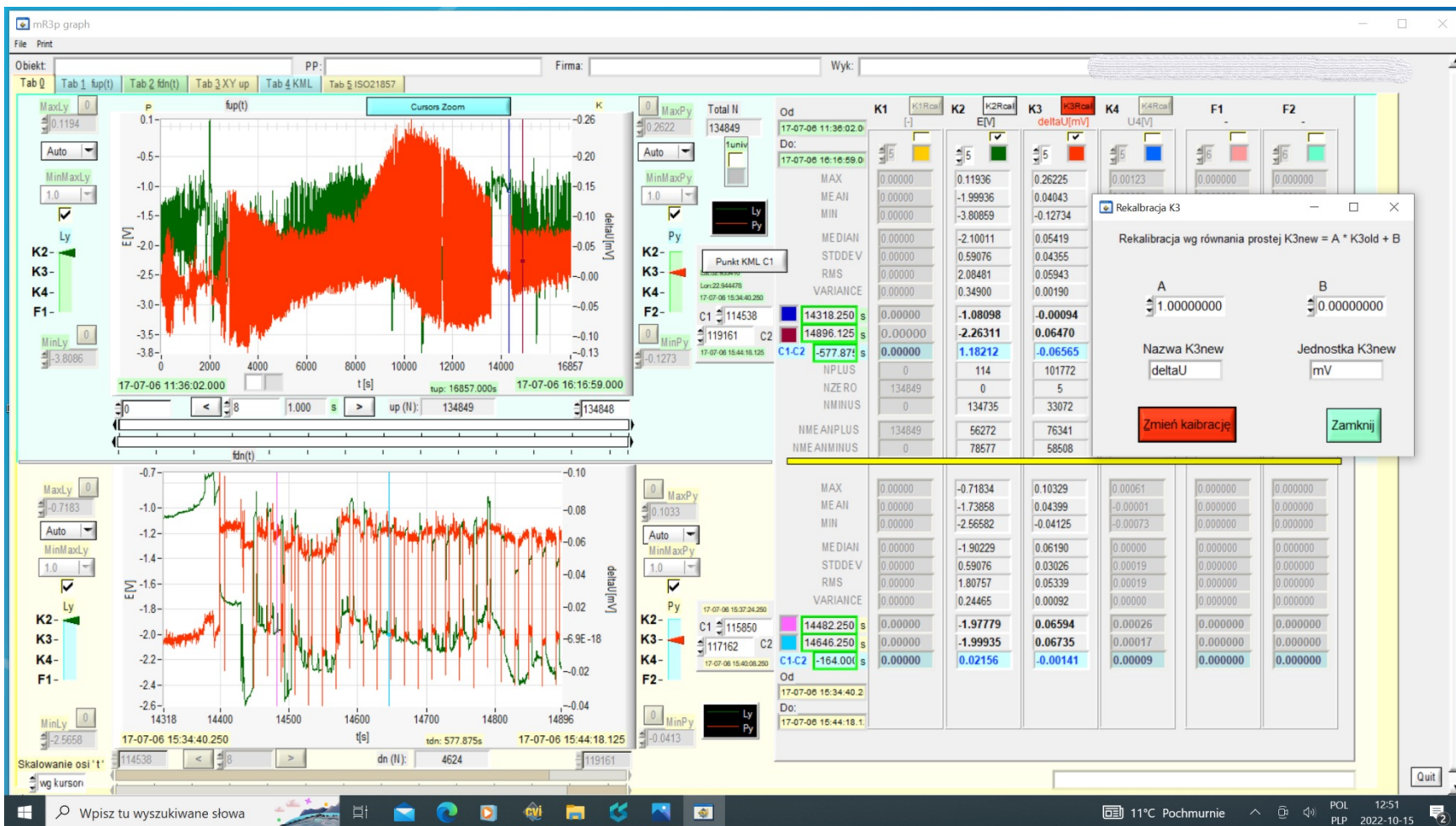


Pomiary gradientu (DCVG), wizualizacja dwóch defektów: jeden przy drodze, drugi przy linii kolejowej

„2plikiW1wspólny”



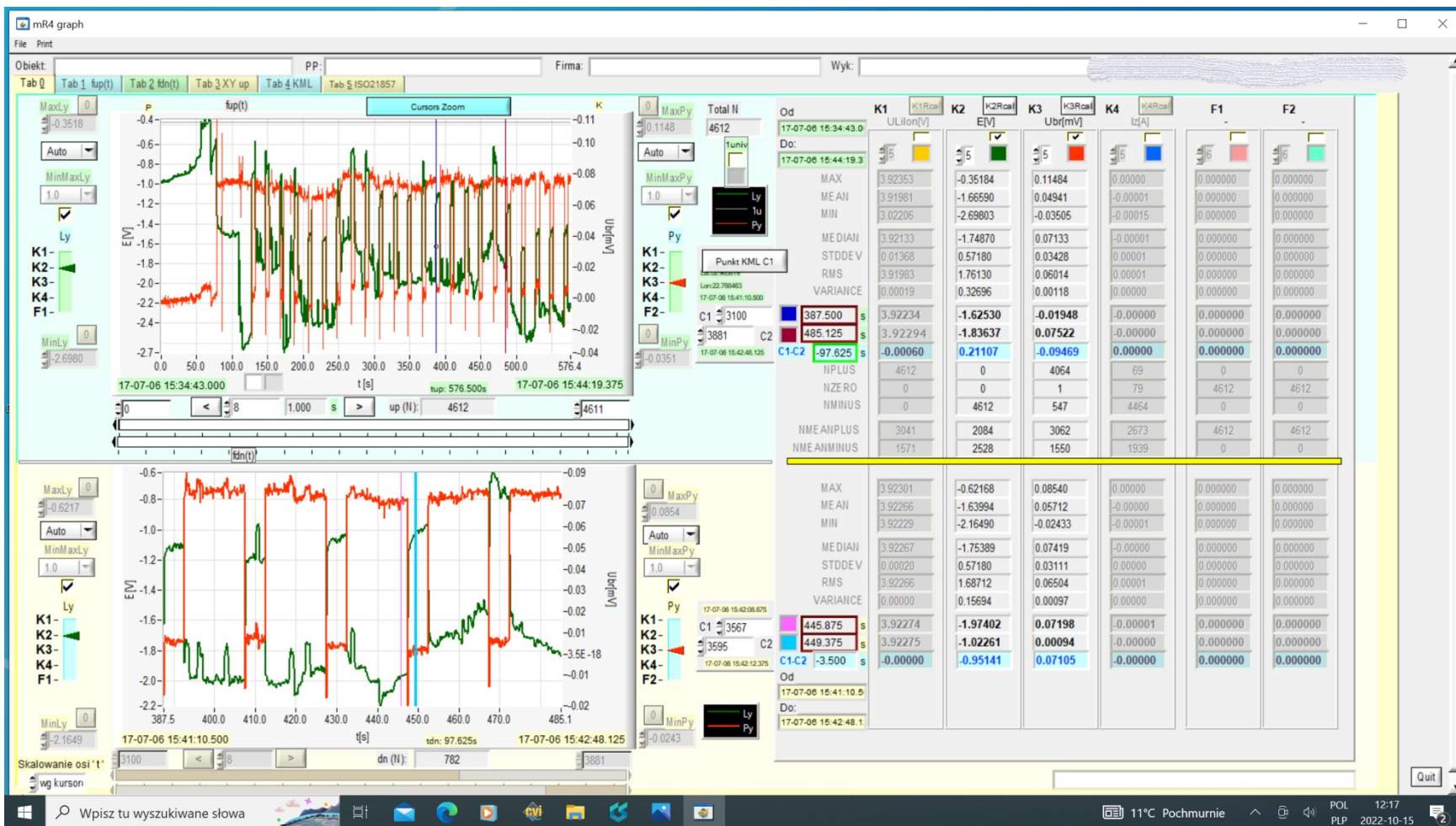
Rejestracja potencjału E i spadku napięcia ΔU w punkcie prądowym 1.
Czas rejestracji ok. 4 godz. 40 min, krok próbkowania: 1/8 sek



Rejestracja potencjału E i spadku napięcia ΔU w punkcie prądowym 1.

Czas rejestracji ok. 4 godz. 40 min, krok próbkowania: 1/8 sek

Dolny wykres – fragment górnego wykresu (pomiędzy dwoma kursorami) w powiększeniu



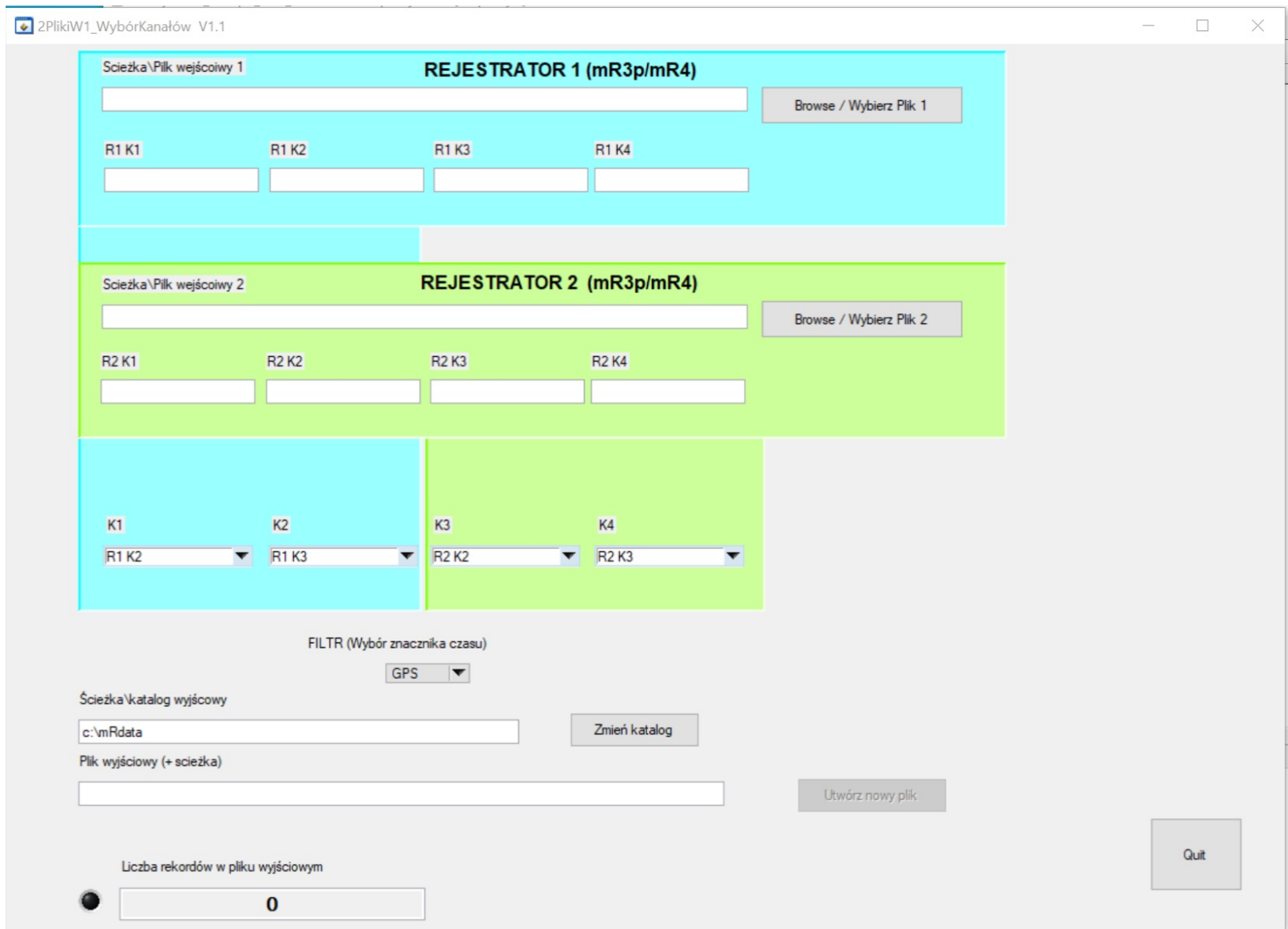
Rejestracja potencjału E i spadku napięcia ΔU w punkcie prądowym 2.

Czas rejestracji ok. 10 min, krok próbkowania: 1/8 sek

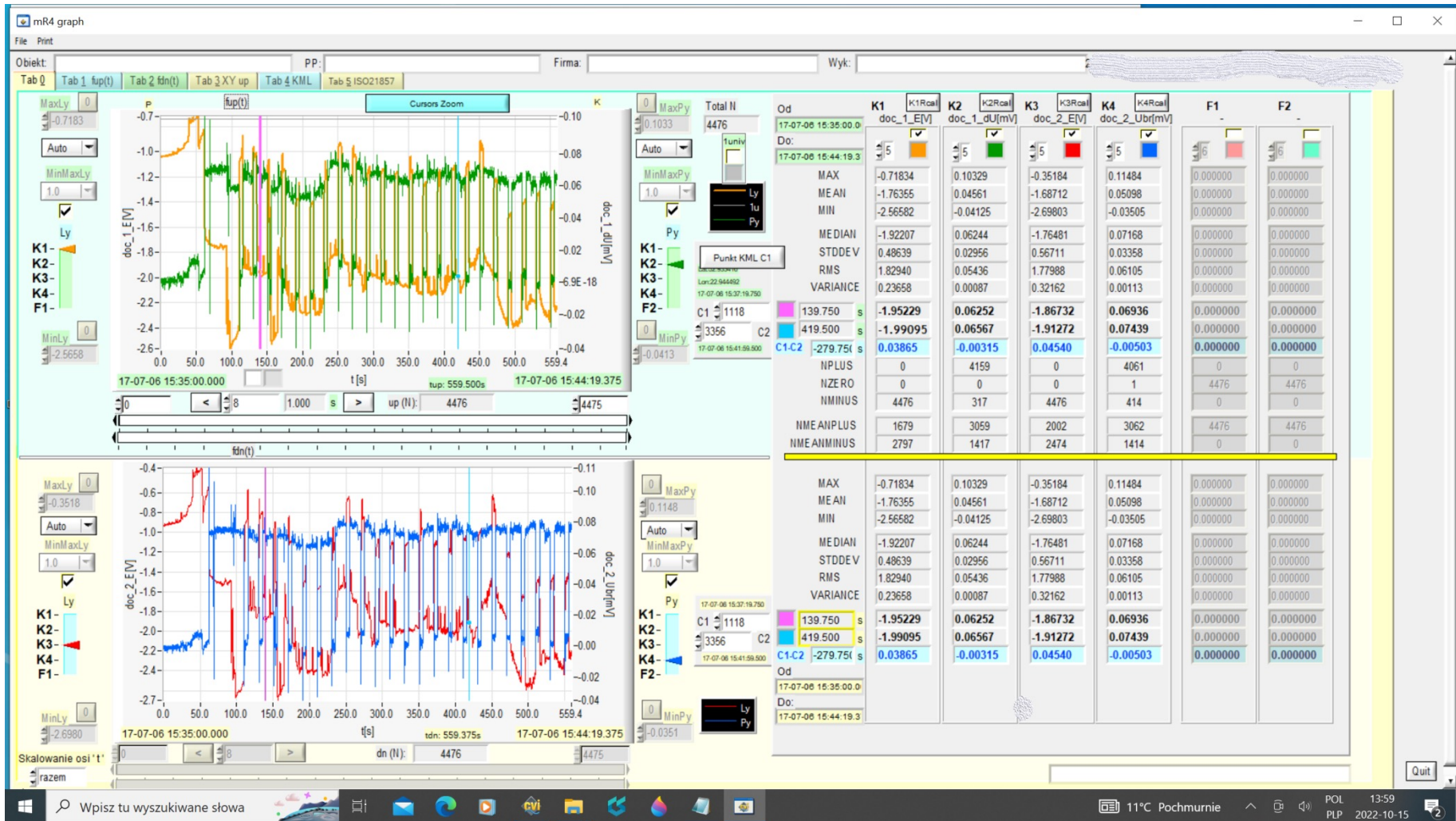
Dolny wykres – fragment górnego wykresu (pomiędzy dwoma kursorami) w powiększeniu



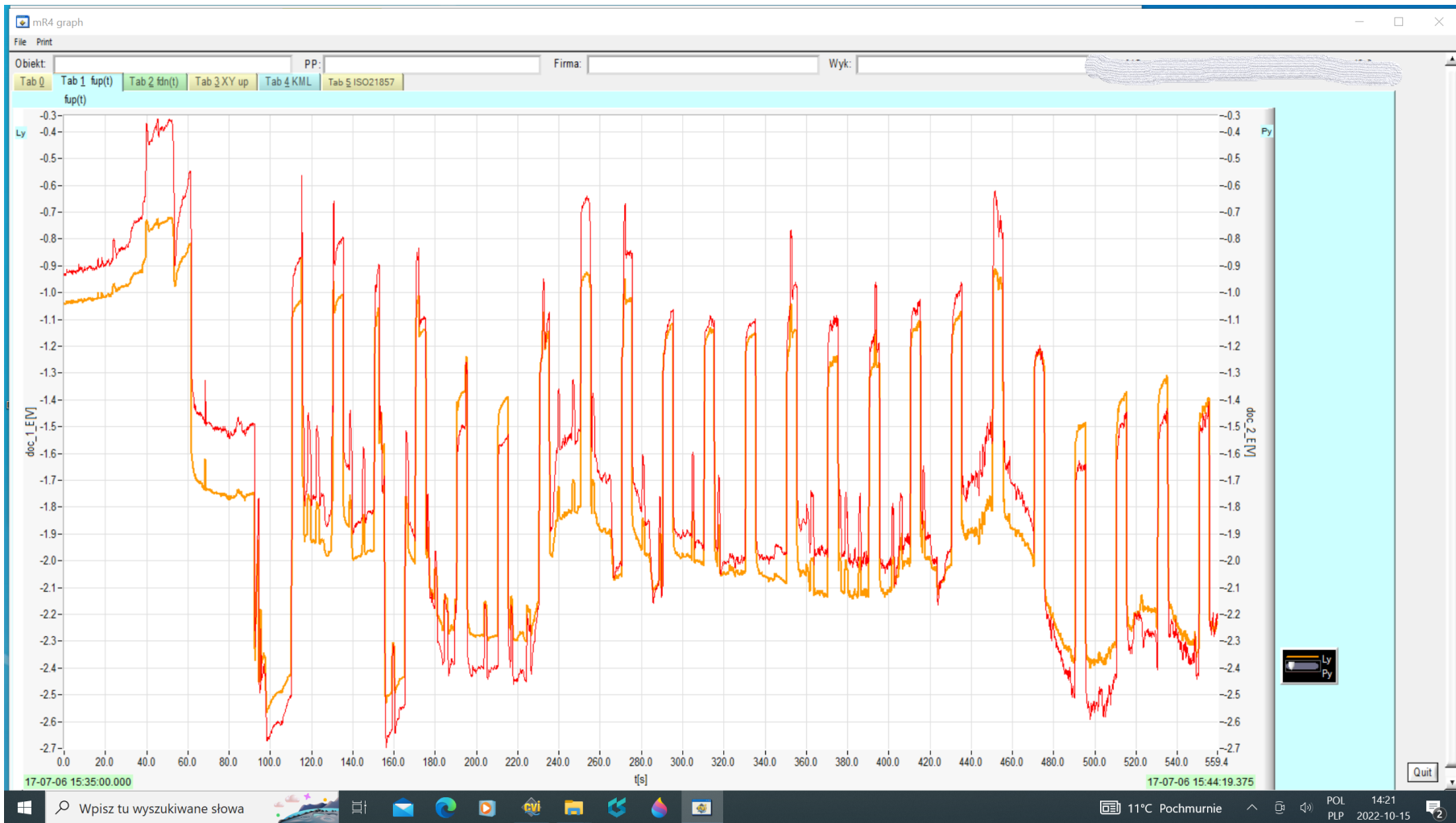
Rejestracja potencjału E i spadku napięcia ΔU w punkcie pomiarowym 2.
Czas rejestracji ok. 10 min, krok próbkowania: 1/8 sek



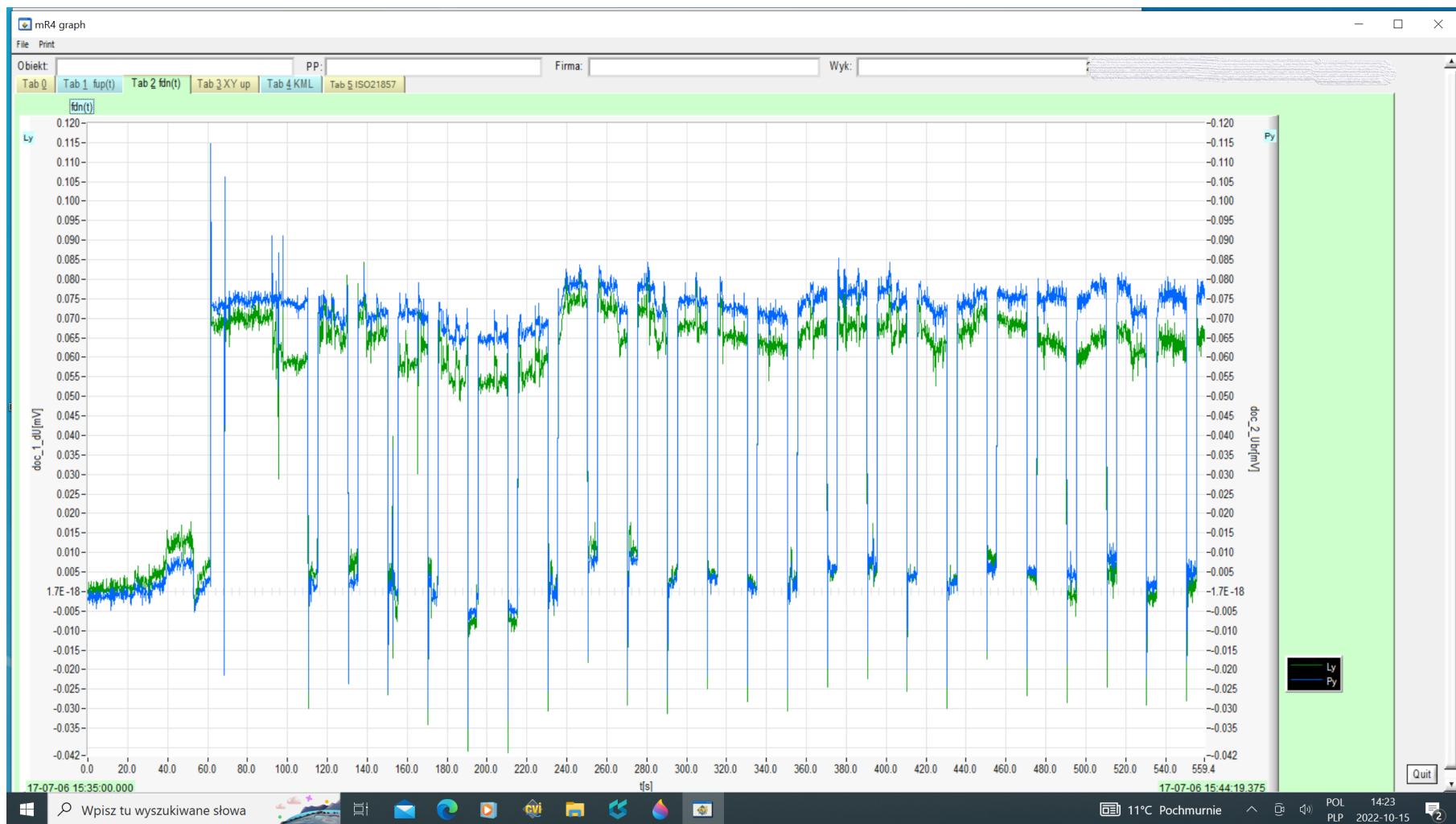
Interfejs programu „2PlikiW1wspólny”



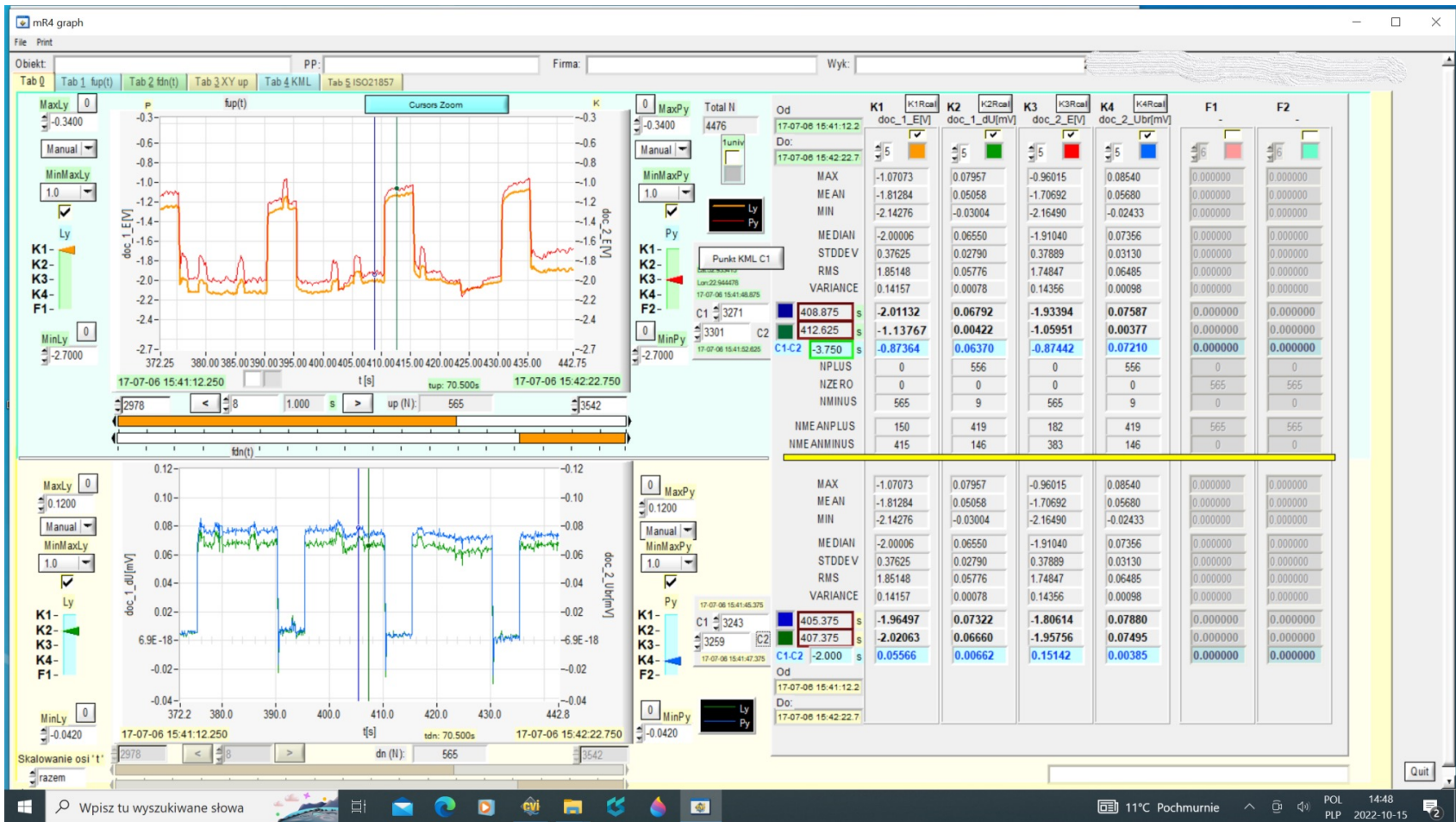
Wykres górny – E i ΔU – punkt pomiarowy 1
 Wykres dolny – E i ΔU – punkt pomiarowy 2



Nałożone potencjały E , zarejestrowane w punktach pomiarowych: 2 i 1
Kolor ciemnożółty – punkt pomiarowy 1
Kolor czerwony – punkt pomiarowy 2



Nałożone spadki napięcia ΔU (prądy, po przeskalowaniu) w punktach pomiarowych:
 1 (kolor zielony) oraz 2 (kolor niebieski)



Obliczenia statystyczne dla ustawionych kursorów:

- wykres górny – kursory na wskazują na cykl ON-OFF zależny od SOK
- wykres dolny – kursory wskazują na zakłócenie od obcego źródła
- potencjał E : pp 1 – kolor ciemnożółty, pp 2 – kolor czerwony
- spadek napięcia ΔU : pp 1 – kolor zielony, pp 2 – kolor niebieski



POLSKA NORMA

ICS 75.200

PN-EN ISO 21857

Wprowadza
EN ISO 21857:2021, IDT
ISO 21857:2021, IDT
Zastępuje

Przemysł naftowy, petrochemiczny i gazowniczy

**Zapobieganie korozji systemów rurociągów spowodowanej
występowaniem prądów błędzących**

Norma Europejska EN ISO 21857:2021 Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Prevention of corrosion on pipeline systems influenced by stray currents (ISO 21857:2021) ma status Polskiej Normy

© Copyright by PKN, Warszawa 2022

nr ref. PN-EN ISO 21857:2022-03

Wszelkie prawa autorskie zastrzeżone. Żadna część niniejszej publikacji nie może być zwielokrotniana jakkolwiek techniką bez pisemnej zgody Prezesa Polskiego Komitetu Normalizacyjnego

ISBN 978-83-8285-512-8

Tabela 1 – Przegląd kryteriów oceny oddziaływania prądów błędzących (PN EN ISO 21857)

	Bez ochrony katodowej	Z ochroną katodową
Konstrukcje stalowe i żeliwne		
Oddziaływanie anodowe (tj. Gdy potencjał jest bardziej anodowy niż potencjał w okresach braku oddziaływania)	Anodowe przesunięcie potencjału (w stosunku do E_{oc}) ΔE_a (w tym spadek IR-drop): $\Delta E_a \leq 300 \text{ mV}$ ($\rho > 200 \Omega \cdot \text{m}$) lub $\Delta E_a \leq 1,5 \text{ mV}(\Omega \cdot \text{m})^{-1} \cdot \rho$ ($15 \Omega \cdot \text{m} \leq \rho \leq 200 \Omega \cdot \text{m}$) lub ($\Delta E_a \leq 20 \text{ mV}$ ($\rho < 15 \Omega \cdot \text{m}$)) lub anodowe przesunięcie potencjału (w stosunku do E_{oc}) $\Delta E_{a,IR-free}$ (bez spadku IR-drop): $\Delta E_{a,IR-free} \leq 20 \text{ mV}$ Patrz 8.3.1.1.2	Potencjał IR-free, $E_{IR-free}$: $E_{IR-free} \leq E_p$ (E_p = potencjał ochrony zgodnie z Przepisem [Z]) Patrz 8.3.1.1.3
Stała czasowa		
Oddziaływanie katodowe	Katodowe przesunięcie potencjału, ΔE_c : $\Delta E_c \leq 500 \text{ mV}$ (w tym spadek, IR-drop) Patrz 8.3.1.2	
Stała czasowa		
Oddziaływanie anodowe/katodowe	Uśrednione anodowe przesunięcie potencjału (w stosunku do E_{oc}) $\Delta E_{a,avg}$: $\Delta E_{a,avg} \leq \Delta E_a$ Patrz 8.3.1.1.2	Potencjał IR-free, $\Delta E_{IR-free}$: $E_{IR-free} \leq \Delta E_p$ (E_p = potencjał ochrony zgodnie z Przepisem [Z]) Przesunięcie E_{corros} : $E_{corros} \leq E_{ref} - \Delta E_{a,avg}$ Patrz 8.3.1.1.3 ^a
Time variant		
	Uśrednione katodowe przesunięcie potencjału $\Delta E_{c,avg}$: $\Delta E_{c,avg} \leq 500 \text{ mV}$ (w tym spadek, IR-drop) Patrz 8.3.1.2	
Wszystkie warunki	Wartość projektowa szybkości korozji Patrz 8.2	$v_{max} \leq 0,01 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ Patrz 8.2
Stal w betonie, bez ochrony katodowej		
Oddziaływanie anodowe	Anodowe przesunięcie potencjału (w stosunku do E_{oc}) ΔE_a : $\Delta E_a \leq 200 \text{ mV}$ Patrz 8.4.1	
Stała czasowa		
Zmienna czasowa	$\Delta E_{a,avg} \leq 200 \text{ mV}$ Patrz 8.4.2	
^a Dalsze informacje dostępne w Aneksach A oraz J.		

Tabela 2 – Dopuszczalne anodowe przesunięcia potencjału (ΔE_a) dla zakopanych w gruncie lub zanurzonych konstrukcji stalowych lub żeliwnych bez ochrony katodowej (PN EN ISO 21857)

Rezystywność elektrolitu ($\Omega \cdot m$)	Maksymalne anodowe przesunięcie potencjału ΔE_a (mV) (w tym spadek IR-drop)	Maksymalne anodowe przesunięcie potencjału $\Delta E_{a,IR-free}$ (mV) (bez spadku IR-drop)
≥ 200	300	20
15 to 200	$1,5 \text{ mV } (\Omega \cdot m)^{-1} \cdot \rho^a$	20
< 15	20	20

^a ρ w $\Omega \cdot m$

Konstrukcje chronione katodowo – kryteria oceny ochrony

Norma omawia następujące **cztery metody pomiarowe [a),b),c),d)]** służące do określania zagrożenia dla obiektów chronionych katodowo:

- a) oddziaływanie zewnętrznych źródeł na obiekt uważa się za dopuszczalne, jeżeli potencjał $E_{\text{IR-FREE}}$ mieści się w granicach określonych w Przypisie Normy [7: ISO 15589-1] dla potencjału ochronnego E_p :

$$E_{\text{IR-FREE}} \leq E_p$$

Potencjał $E_{\text{IR-FREE}}$ można zmierzyć za pomocą elektrod symulacyjnych (ang. *coupons*).

Konstrukcje chronione katodowo

– kryteria oceny ochrony

- b) potencjał referencyjny E_{ref} , przy którym uzyskuje się efektywną ochronę katodową, zgodnie z Przypisem [7: ISO 15589-1], jest określany przy braku oddziaływania źródeł prądów błędzących (np. przy ograniczonym ruchu pociągów w porze nocnej). Następnie określane jest średnie przesunięcie potencjału anodowego $\Delta E_{\text{a,avg}}$ w reprezentatywnym przedziale czasu, zwykle 24 h, przy działającym w trybie ciągłym systemie ochrony katodowej (tryb ON-OFF wyłączony). Poziom ochrony katodowej uznaje się za wystarczający, jeżeli spełniony jest warunek:

$$E_{\text{on,avg}} \leq E_{\text{ref}} - \Delta E_{\text{a,avg}}$$

Uwaga: metoda ta zakłada, że maksymalny czas trwania interwału anodowego ($T_{\text{a,max}}$) nie przekracza **250 s**.

Konstrukcje chronione katodowo

– kryteria oceny ochrony

- c) metoda ładunkowa Q opisana jest w Załączniku J . Metoda Q wykorzystuje stosunek ładunku anodowego i katodowego w celu określenia, czy poziom oddziaływania jest dopuszczalny. Stosunek ładunku Q określony jest wzorem:

$$Q = \frac{(|Q_c| - |Q_a|)}{|Q_a|} = \frac{E_{ref} - E_{on, avg}}{\Delta E_{a, avg}} = \left(\frac{J_{ref} - J_{on, avg}}{\Delta J_{a, avg}} \right)$$

Ochronę uznaje się za zapewnioną, gdy spełniony jest warunek:

$$Q > 0,004 \text{ s}^{-1} \cdot T_{a, max}$$

gdzie $T_{a, max}$ to wyrażony w sekundach najdłuższy przedział czasowy oddziaływania anodowego.

W Załączniku J Normy podano, że alternatywnie do pomiaru potencjału z użyciem wartości referencyjnej E_{ref} (Metoda 1c) można użyć pomiaru gęstości prądu na elektrodzie symulacyjnej z użyciem odniesienia J_{ref} (Metoda 2c).

Dodatkowo Norma podaje, że wyniki testu są bardziej ostrożne (ang. *conservative*) przy $T_{a, max} < 250 \text{ s}$, a mniej ostrożne (ang. *conservative*) przy $T_{a, max} > 250 \text{ s}$.

Konstrukcje chronione katodowo – kryteria oceny ochrony

- d) w Załączniku A Normy opisano metodę czwartą dotyczącą pomiaru potencjału oraz prądu w obwodzie specjalnej, przenośnej sondy pomiarowej.

Metoda ta, wykorzystywana w Holandii, stosowana jest, gdy potencjał załączeniowy mieści się w granicach od **-0,85 V do -1,0 V_{CSE}**.

Opiera się ona na wyliczeniach procentowych dla najgorszej godziny w ciągu 24 h rejestracji (tj. takiej godziny, w której występują albo największe pozytywne fluktuacje prądu w obwodzie sondy pomiarowej, albo największe pozytywne fluktuacje potencjału) w odniesieniu do wartości zmierzonej podczas ciszy nocnej.

Uwaga: na obecnym etapie wspomniana metoda nie jest przedmiotem wdrożenia w oprogramowaniu mRgraph3p4.

Implementacja Normy PN-EN ISO 21857 w programie mRgraph3p4

Obliczenia statystyczne dla rejestracji 24 h (lub wielokrotności dobowej)

$$E_{on,avg} = \sum E_{on}(t)/N$$

$$E' = E_{on}(t) - E_{ref}; \text{ if } (E' < 0) \text{ wstaw } E' = 0; \Delta E_{a,avg} = \sum E' / N$$

$$E'' = E_{on}(t) - E_{ref}; \text{ if } (E' > 0) \text{ wstaw } E'' = 0; \Delta E_{c,avg} = \sum E'' / N$$

Kryterium b)

wystarczający poziom ochrony katodowej uznaje się za zapewniony, gdy spełniony jest warunek:

$$E_{on,avg} \leq E_{ref} - E_{a,avg}$$

E_{ref} – jest określony w czasie braku oddziaływania prądów błędzących, tj. w czasie ciszy nocnej

Kryterium c) – ładunkowe

$$Q_1 = \frac{(|Qc| - |Qa|)}{|Qa|} = \frac{E_{ref} - E_{on,avg}}{\Delta E_{a,avg}}$$

(przykład 1
Annex J wg Normy)

$$Q_2 = (|\Delta E_{c,avg}| + |\Delta E_{a,avg}|) / \Delta E_{a,avg}$$

(przykład 2
Annex J wg Normy)

$$\text{Factor} = 0,004 \text{ s}^{-1} \cdot T_{a,max}$$

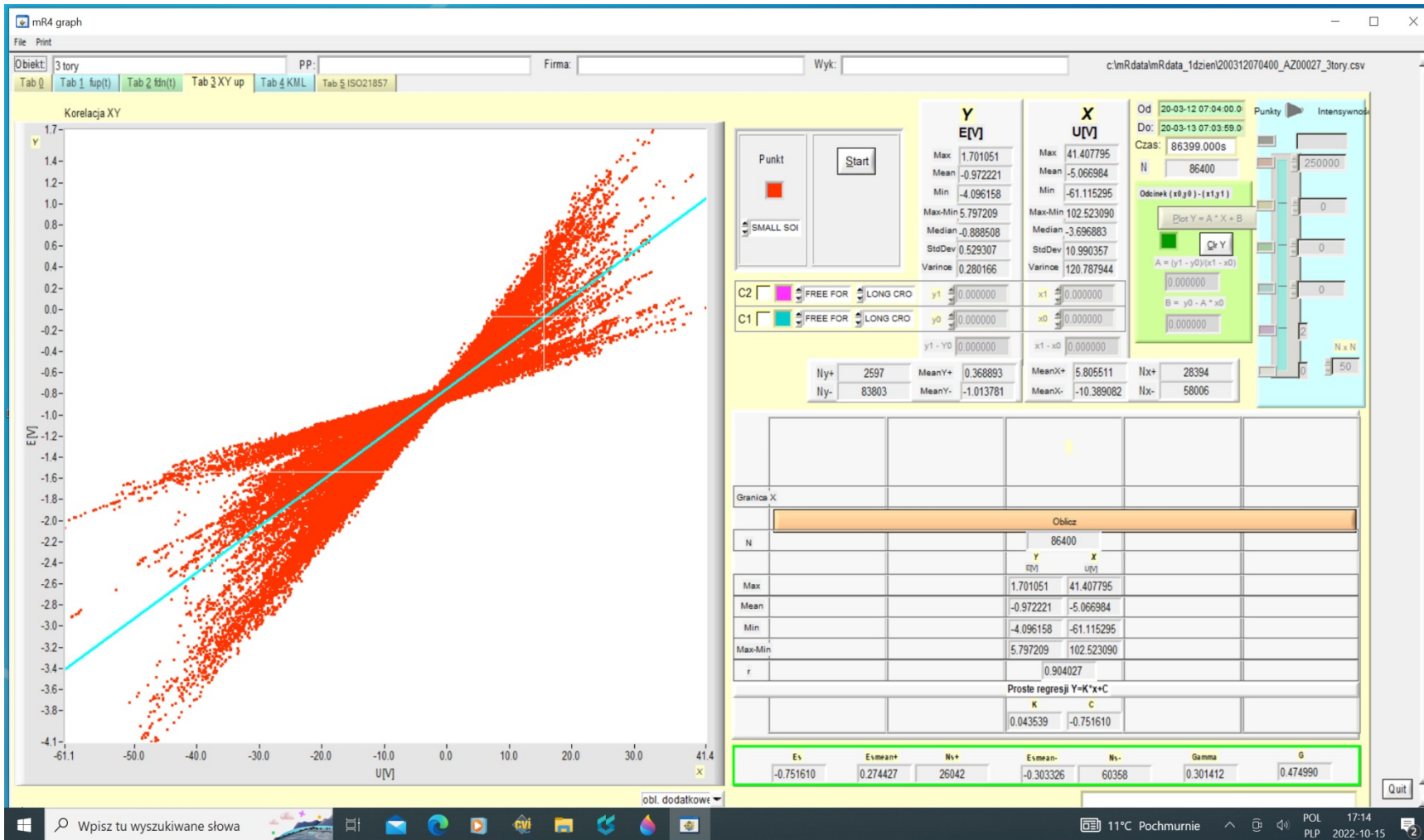
- poziom ochrony jest wystarczający, gdy spełniony jest warunek:

$$Q > \text{Factor}$$

Uwaga: obliczenia dla gęstości prądu można wykonać według wyżej wymienionych wzorów, wpisując zamiast potencjału E gęstość prądu J .

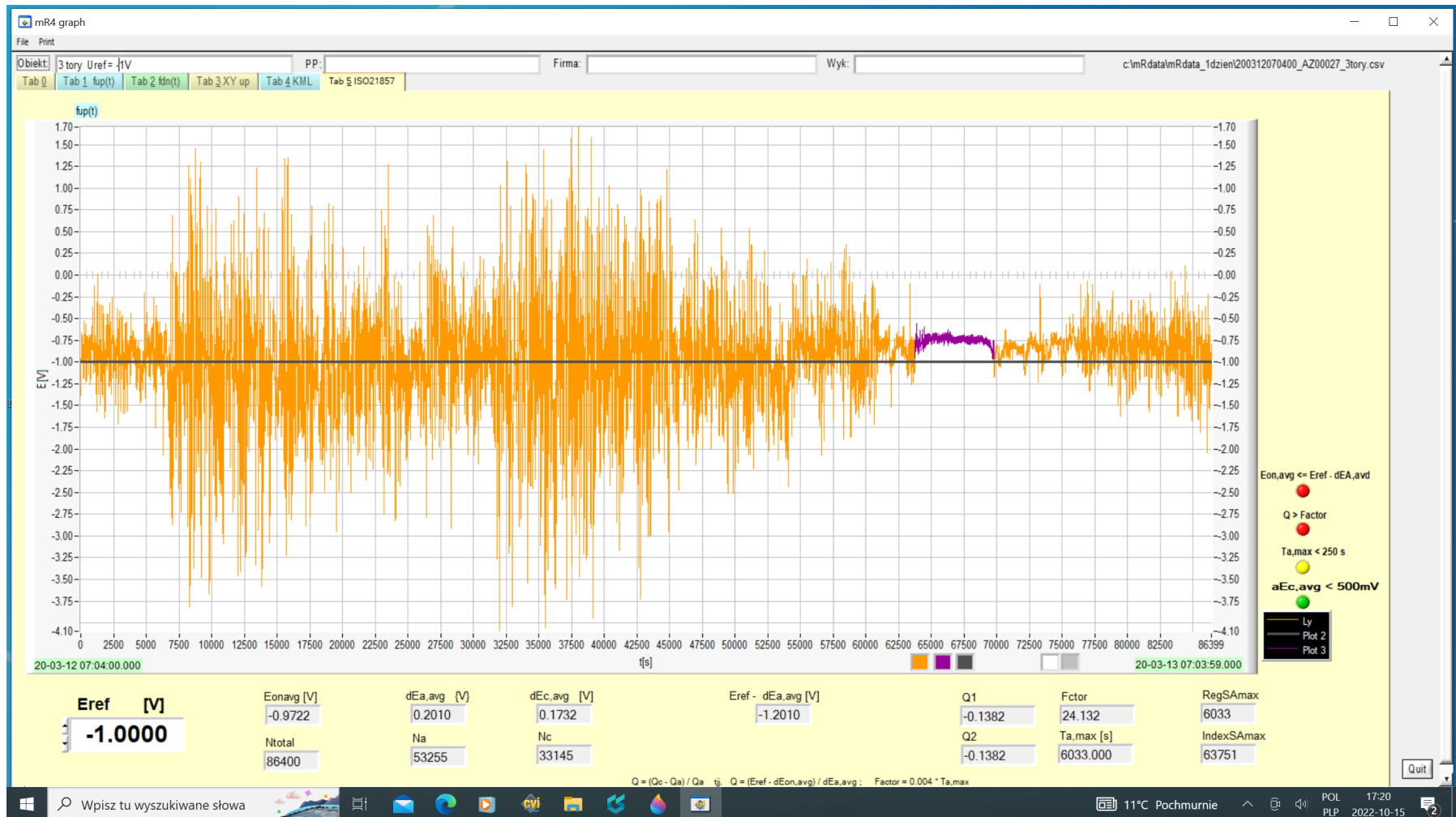
Tabela J.1 – Przykłady poziomów odniesienia

	<u>Przykłady poziomów odniesienia</u>	Uwagi
Konstrukcje chronione katodowo zakopane w gruncie (tj. cząsteczki o wielkości mniejszej niż żwir średnioziarnisty, zgodnie z definicją w ISO 14688-1) lub zanurzone w wodzie o podwyższonej twardości (twardość całkowita przekraczająca 1,3 mmol/l)	$E_{ref} = -1,0 \text{ V}_{CSE}$ $J_{ref} = 0,02 \text{ A}\cdot\text{m}^{-2}$	Ocena staje się bardziej ostrożna/wyważona, jeżeli E_{ref} przyjmuje wartość bardziej ujemną (raczej ujemną) lub jeżeli J_{ref} przyjmuje wartość wyższą (bardziej katodową)
Konstrukcje chronione katodowo, zakopane w podłożu o wyjątkowej charakterystyce, tj. w podłożu miękkim wskutek wód gruntowych (twardość całkowita poniżej 1,3 mmol/l) w połączeniu z grubym materiałem podłoża (np. żwir średnioziarnisty, zgodnie z definicją w ISO 14688-1)	<p>Potencjał referencyjny E_{ref} jest potencjałem załączeniowym E_{on} konstrukcji, wymaganym dla celów skutecznej ochrony katodowej;</p> <p>W przypadku elektrod symulacyjnych wielkość J_{ref} definiuje się jako gęstość prądu, wymaganą w celu uzyskania potencjału ochrony</p>	Oceny potencjału referencyjnego E_{ref} można dokonać na podstawie danych operacyjnych lub rozważań teoretycznych, np. biorąc pod uwagę ostrożne założenia dotyczące potencjału ochrony $E_{IR-free}$, gęstości prądu ochrony (uwzględniając minimum 0,2 A/m ²), geometrii defektu powłoki i rezystywności gruntu.
Stal w betonie	Potencjał referencyjny E_{ref} jest szacowany na podstawie zapisu potencjału, gdy źródło oddziaływania nie jest aktywne.	

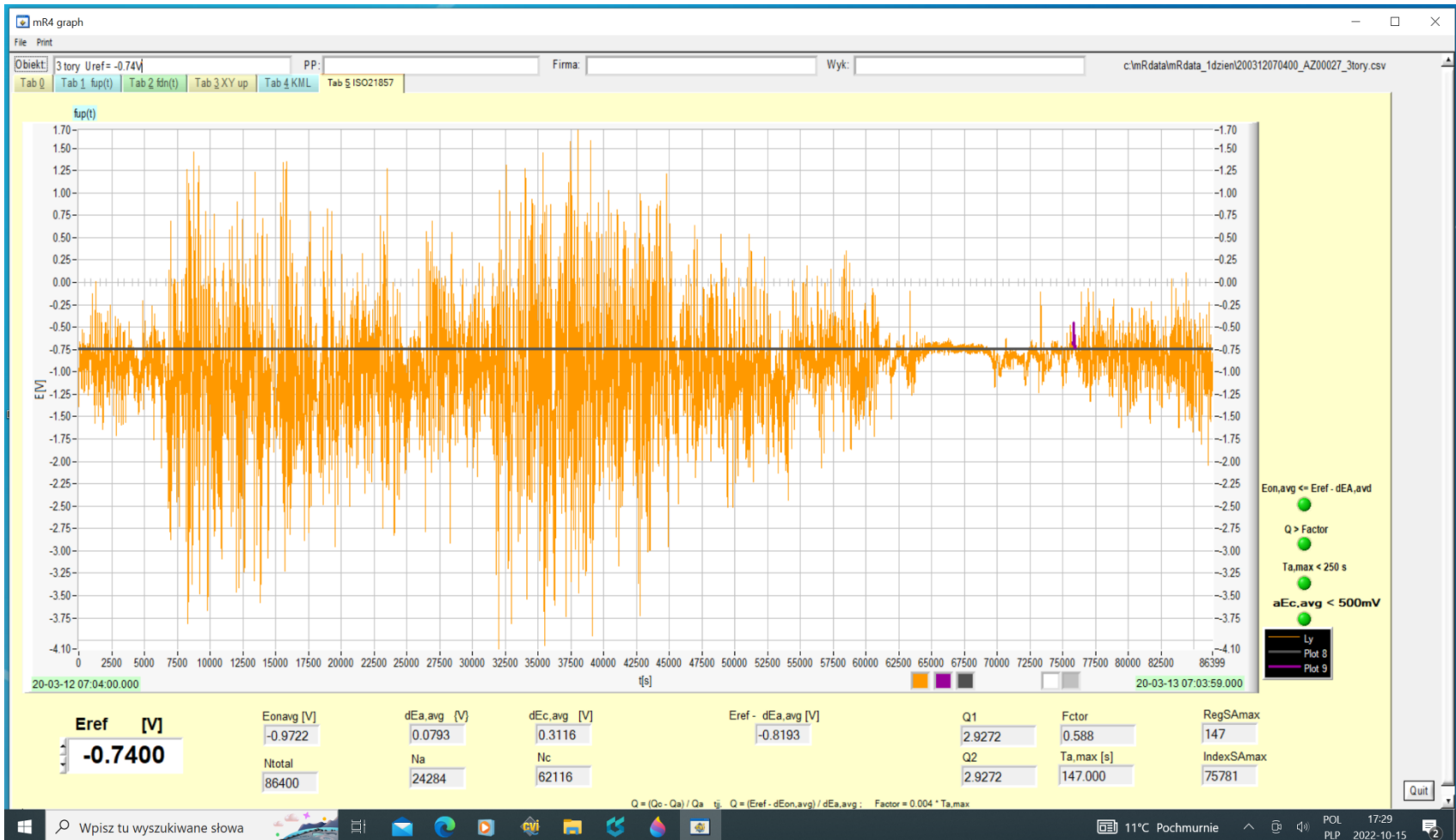


Korelacja potencjału E i napięcia U – trzy tory

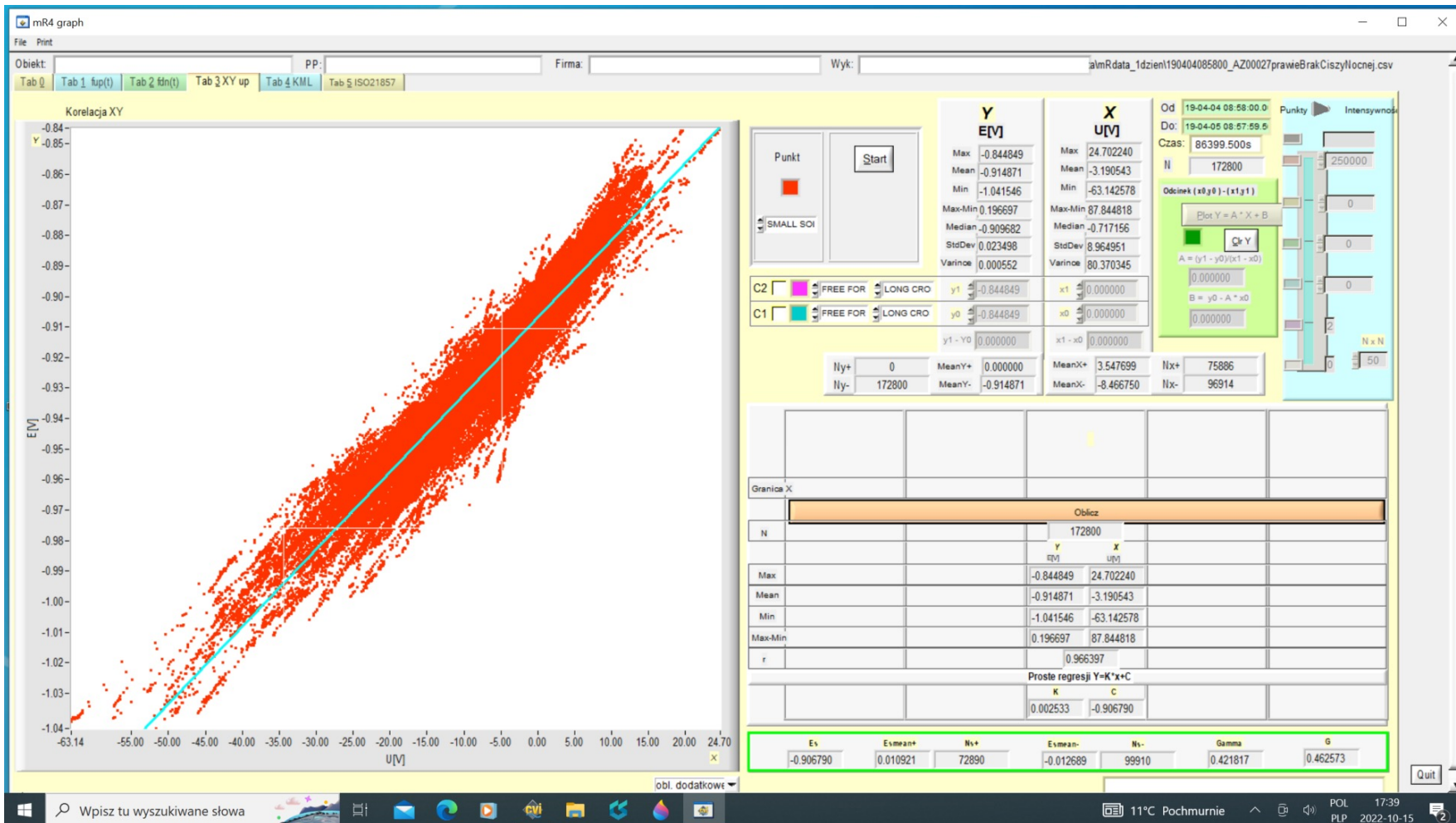
Panel do kryteriów potencjałowych (metoda b) i c)) – według Normy ISO PN EN 21857



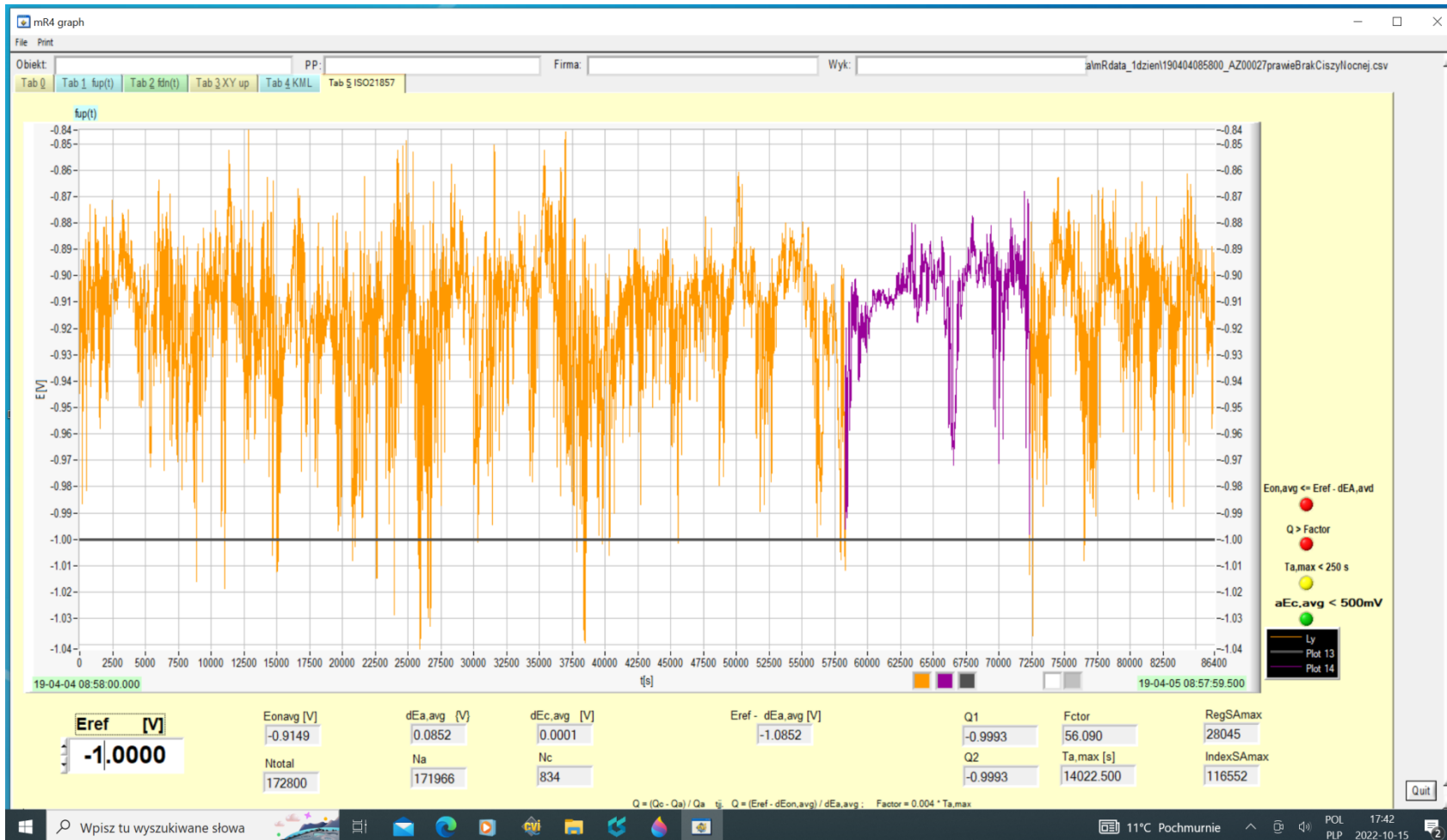
Dobowa rejestracja potencjału w punkcie pomiarowym (torowisko – trzy tory)
Potencjał $E_{ref} = -1$ V
kryteria b) oraz c) niespełnione



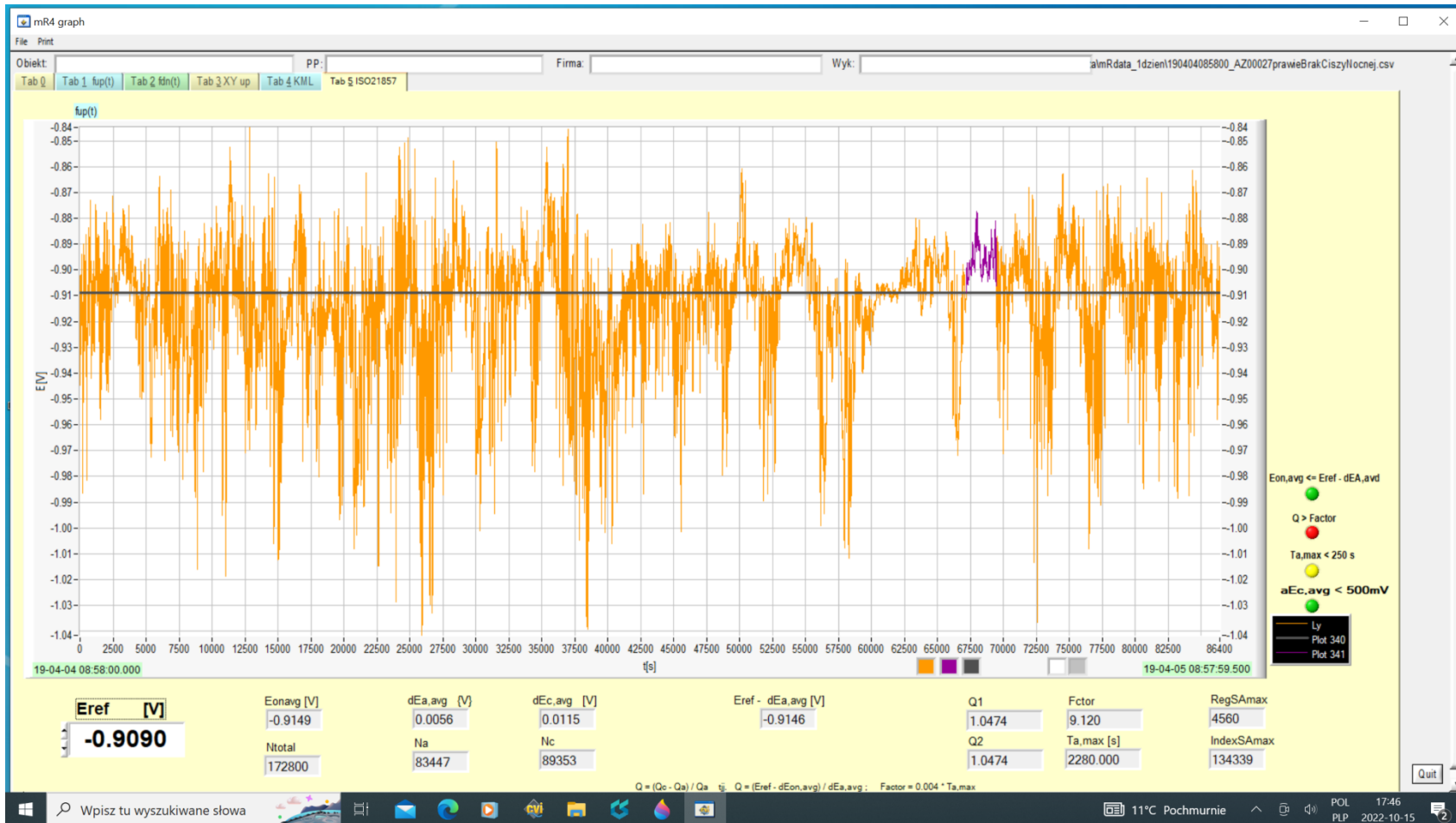
Dobowa rejestracja potencjału w punkcie pomiarowym (torowisko – trzy tory)
 Potencjał dla ciszy nocnej $E_{ref} = -0,74 \text{ V}$
 kryteria b) oraz c) spełnione



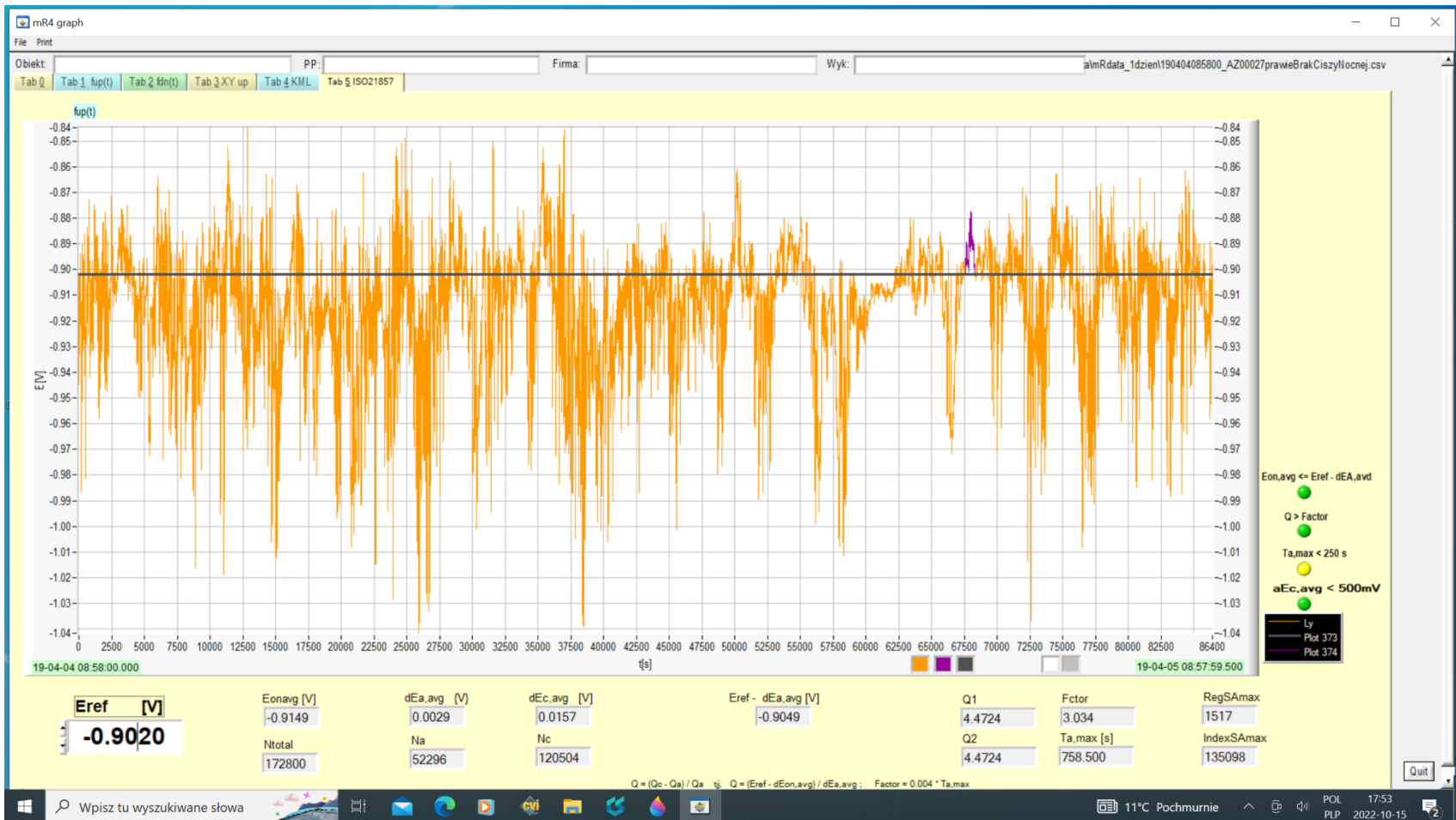
Korelacja E-U – przykład innej korelacji



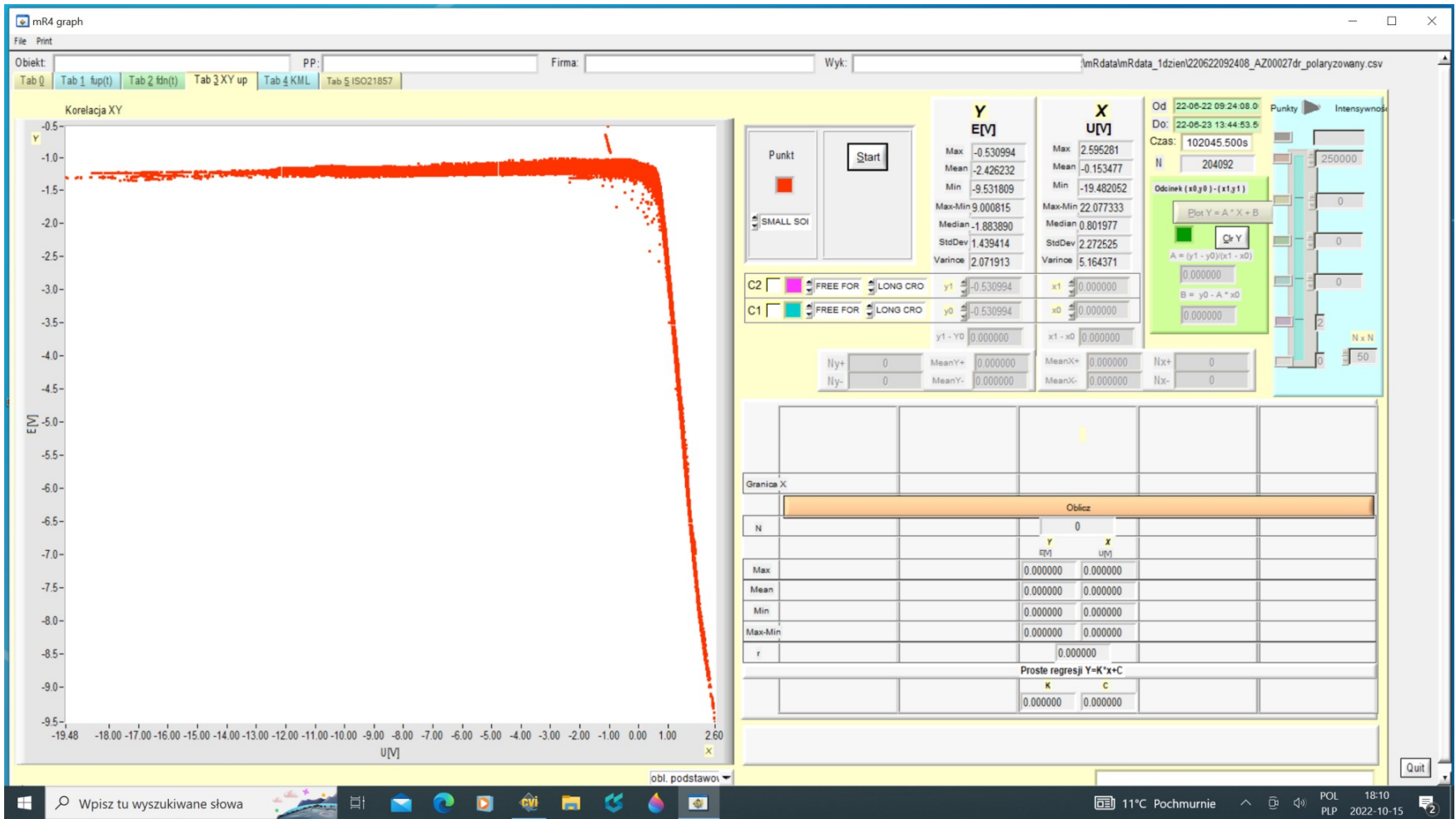
Potencjał referencyjny $E_{ref} = -1,0 \text{ V}$
 kryteria b) i c) niespełnione



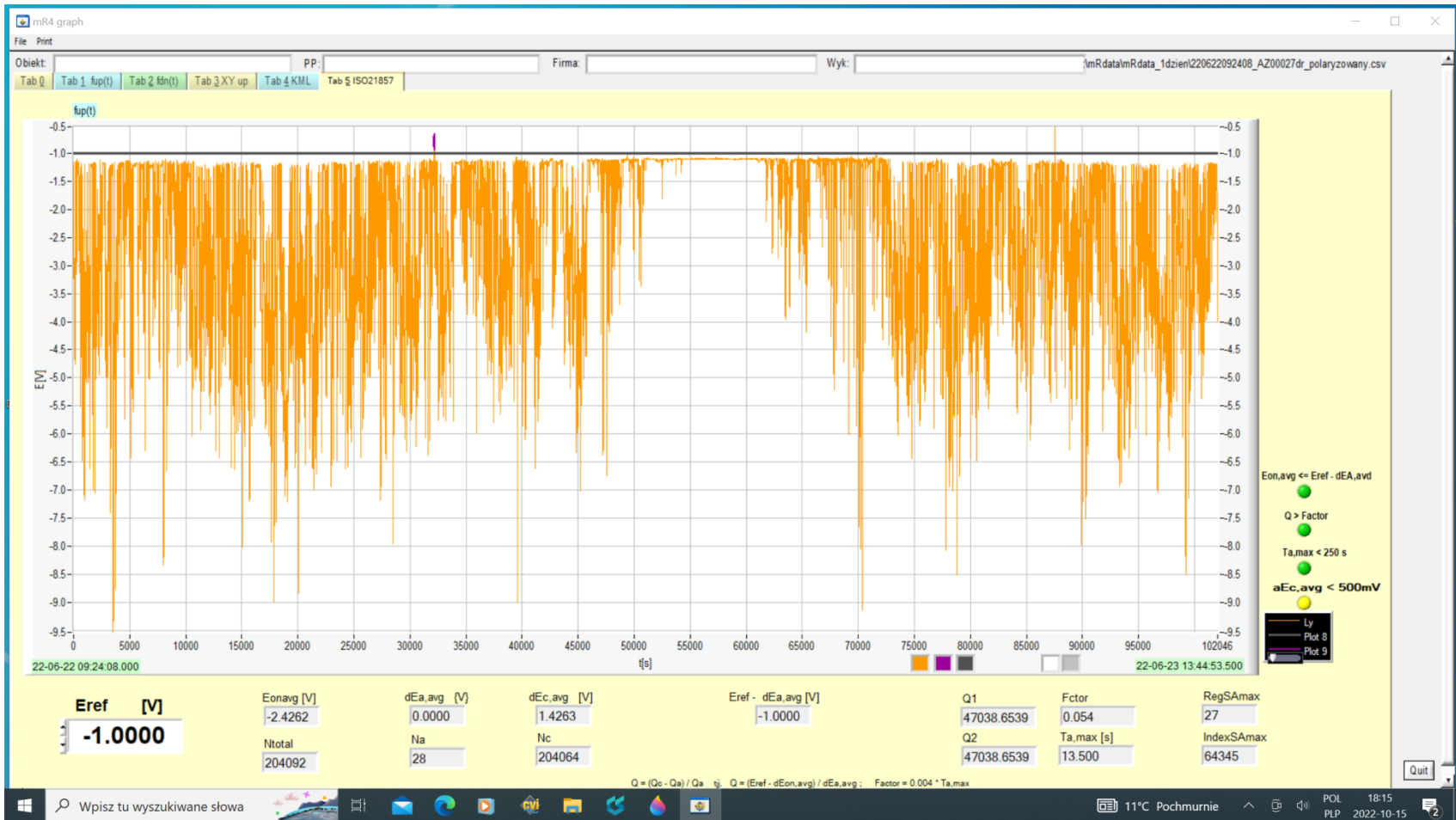
Potencjał referencyjny $E_{ref} = -0,909$ V
 kryterium b) spełnione; kryterium c) niespełnione



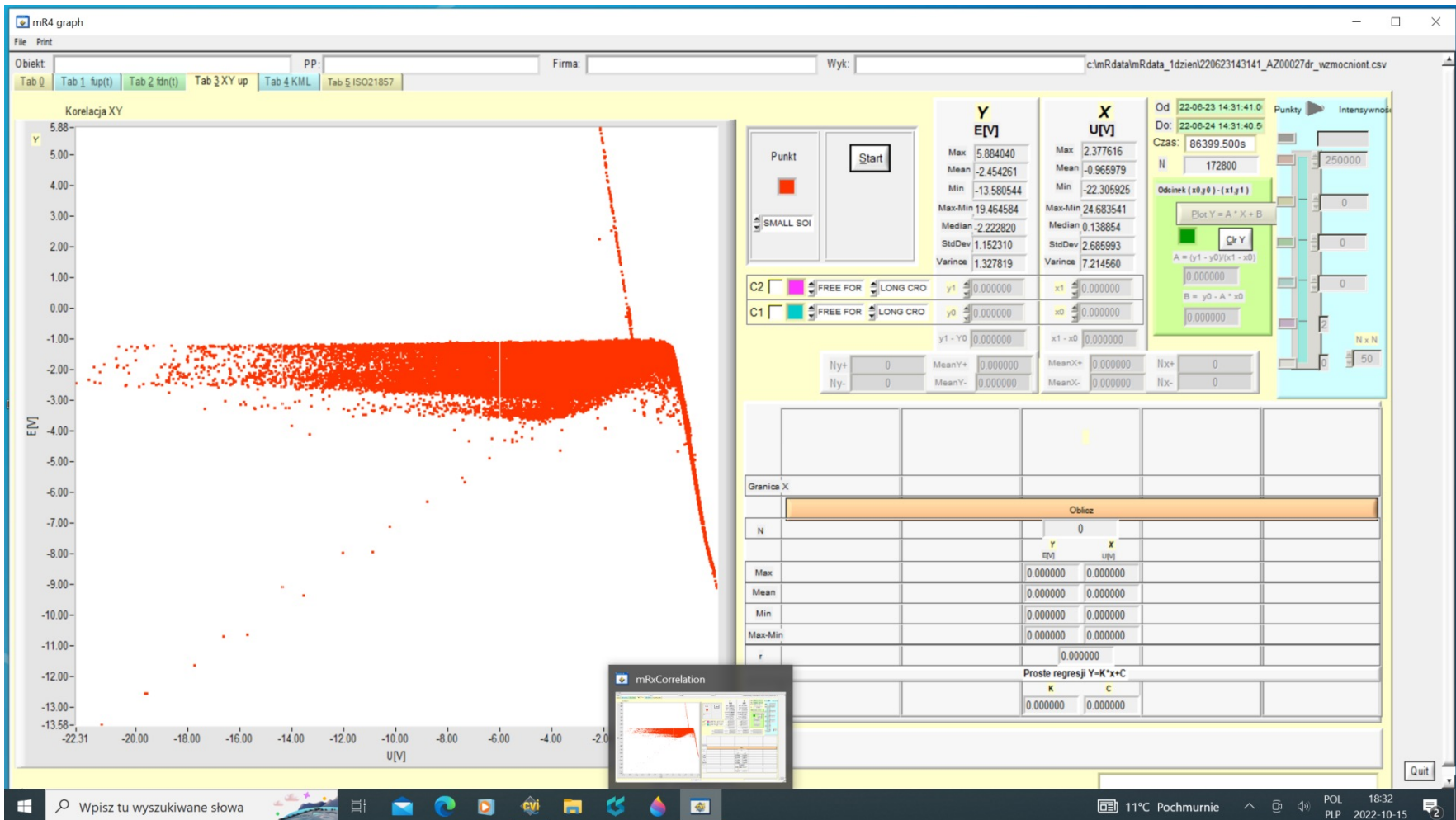
Potencjał referencyjny $E_{ref} = -0,902$ V
 kryteria b) i c) spełnione



Drenaż polaryzowany – korelacja E-U



Drenaż polaryzowany – wykres potencjału E
 Potencjał referencyjny $E_{ref} = -1,0$ V
 kryteria b) i c) spełnione



Drenaż wzmocniony – korelacja E-U



Drenaż wzmocniony – wykres potencjału E
 Potencjał referencyjny $E_{ref} = -1,0 \text{ V}$
 kryteria b) i c) spełnione

www.linstruments.com.pl

Dziękuję za uwagę

Jacek Barański

jbaranski@linstruments.com.pl