



**METODA KORELACYJNA**  
**JAKO INTEGRALNA CZĘŚĆ POMIARÓW INTENSYWNYCH**  
**THE CORRELATION METHOD**  
**AS AN INTEGRAL PART OF INTENSIVE MEASUREMENTS**

František Míčko

Ostrava

Słowa kluczowe: prądy błądzące, metoda korelacyjna, pomiary intensywne  
Keywords: stray currents, correlation method, intensive measurements

**Streszczenie**

Metoda korelacji spotykana jest w praktyce eksploatacji od początku lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Dzięki pomiarom korelacji można systematycznie rozwiązywać problemy oddziaływań prądów błądzących na systemy ochrony katodowej. Ze względu na prostotę i przejrzystość metody należy ona do technik pomiarów intensywnych. Wykorzystuje ona matematyczne podejście do badania procesów probabilistycznych. Jej zaletą jest możliwość wykorzystania nie tylko w miejscach podłączenia drenaży elektrycznych, ale również w części liniowej rurociągu, zwłaszcza podczas kontroli ustawienia parametrów ochrony przy połączeniach pomiędzy konstrukcjami. Metoda korelacji jest szybka i bardzo wygodna, jednak w Republice Czeskiej jest mało wykorzystywana.

**Summary**

The correlation method is being applied in operation practice from the beginning of the eighties of the former century. Correlation measurements help in systematic solving of problems connected with stray current interaction on cathodic protection systems. Due to simplicity and clarity of the method, it is classified as one of the intensive measurement techniques. It utilises the mathematical approach to testing probabilistic processes. Its advantage is possibility of application not only in places of electric drainage connection, but also in part of the linear pipe of the pipeline, especially during inspection of protection parameter setting at connections between structures. The correlation method is rapid and very convenient; nevertheless it is rarely used in the Czech Republic.

## 1. Wstęp

W ciągu ostatnich 20 lat utrwalił się pogląd, że w wypadku wykonywania kompleksowych pomiarów korozyjnych, dotyczących z reguły kontroli postępów korozji w czasie eksploatacji konstrukcji podziemnych, chodzi o badania intensywne. Zasadniczo chodzi o wszystkie takie pomiary, które nie powinny pomijać istotnych informacji związanych z analizą przebiegu korozji badanej konstrukcji lub jej odcinka (w przypadku liniowych urządzeń podziemnych).

Dzięki szerokiej gamie pracy koordynowanej zarówno krajowymi wyspecjalizowanymi ośrodkami zawodowymi, jak i stowarzyszeniem CEN, utworzonym w celu stworzenia wspólnej europejskiej normy technicznej, oraz profesjonalnych rekomendacji, w większości krajów współpracujących metoda ta oznacza:

- Metoda CIPS (Close Interval rur do gleby pomiar),
- Metoda DCVG (Direct Current Voltage Gradient),
- Metodyka PIM (zarządzanie szczelnością rurociągu).

Oczywiście, do intensywnego pomiaru należy również i klasyczna metoda Pearsona oraz metoda pomiarów korelacyjnych.

Niestety w normalnych warunkach pracy ochrony katodowej technika korelacyjna jest całkowicie zaniedbywana, pomimo tego, że oferuje całą gamę możliwości zastosowań, a na podstawie jej wyników można udowodnić jakość zainstalowanej ochrony katodowej oraz bezpośrednie zagrożenie korozją. Największe zastosowanie metoda ta ma w strefach oddziaływań prądów błędzących pochodzących z trakcji elektrycznych.

## 2. Metoda korelacyjna

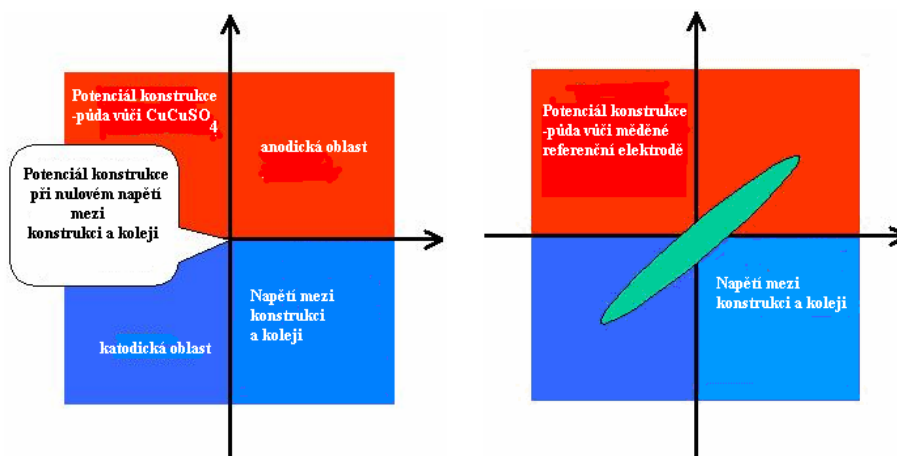
### 2.1. Korelacja potencjału rurociąg – ziemia oraz rurociąg – szyny

Metoda korelacyjna bada wzajemny stosunek między dwiema wielkościami, które zazwyczaj są od siebie zależne w polu oddziaływania prądów błędzących. Na układzie graficznym zaznaczony jest na osi Y potencjał konstrukcji, a na osi X wybrana zmienna, która jest proporcjonalnie zależna od prądu mającego wpływ na zachowanie elektrochemiczne metalu w badanym miejscu. W miejscach, gdzie zainstalowane są drenaże polaryzowane i drenaże wzmocnione bywa to zazwyczaj potencjał rurociąg – ziemia oraz napięcie między rurociągiem a szynami trakcji elektrycznej, jak widać to na rysunku poglądowym - rys.1.

Na podstawie podstawowych badań korozji powinny być wykonane diagramy korelacyjne do najbardziej optymalnej lokalizacji drenaży polaryzowanych i drenaży wzmocnionych. Eksploatacja danych urządzeń powinna podlegać kontroli właśnie za pomocą metody korelacyjnej, nie wykluczając innych niezbędnych pomiarów. Wynika to i z innych czynników, które mogą się w przeciągu eksploatacji zmieniać. Chodzi o parametry trakcji elektrycznej, zwłaszcza rezystancji przejścia pomiędzy torami a ziemią. Zmiana ta przejawia się zwiększeniem napięcia w relacji rurociąg – szyny i zmianą potencjału rurociąg – ziemia.

Największą zaletą diagramu korelacji jest jego przejrzystość. Właściwy wykres składa się z płaszczyzny Gaussa, gdzie zapisywane są wyniki wszystkich pomiarów, więc jest przejrzysty.

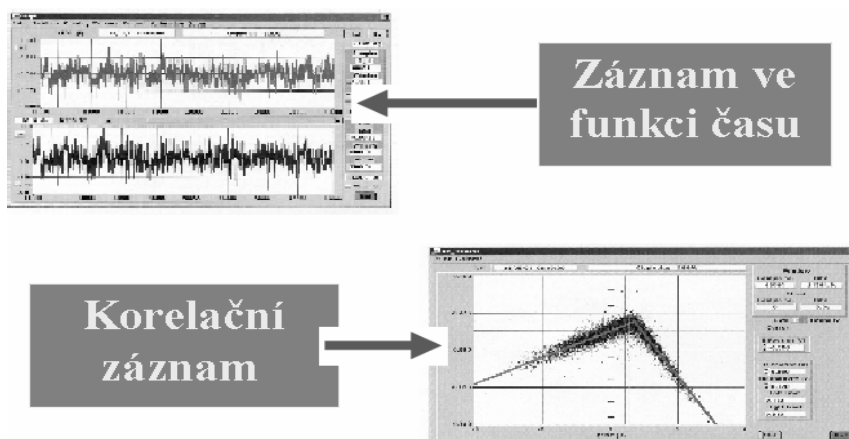
Wykres wynikowy jest zwykle opracowany na pojedynczym arkuszu papieru, nawet jeśli pomiar jest bardzo długi. Najczęściej zakłada się, że pomiar może trwać od 10 minut do 24 godzin.



Rys. 1. Schemat tvorzenia układu współrzędnych oraz typowej zależności korelacyjnej: kolor czerwony – oddziaływanie anodowe, kolor niebieski – oddziaływanie katodowe, kolor zielony – widmo korelacji

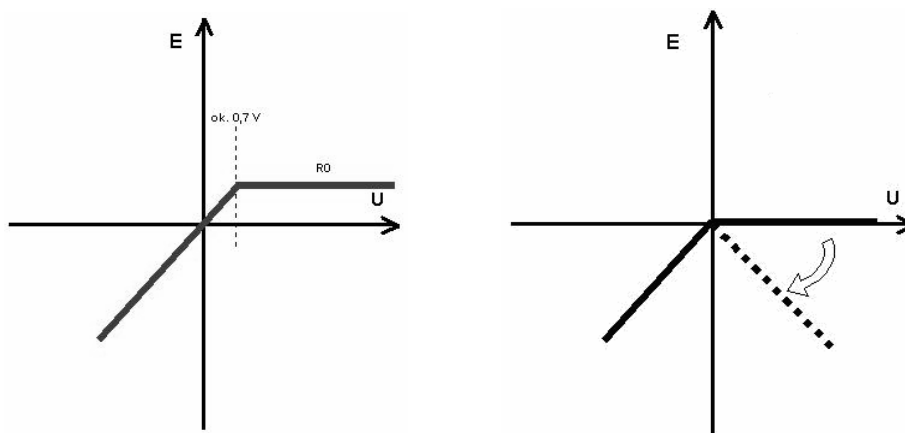
Na rysunku po prawej stronie widać typowy kształt widma korelacji w strefach stałego oddziaływania prądów błądzących pochodzących z trakcji elektrycznej, np. tramwajowej. Widoczne są oddziaływania anodowe i katodowe tych prądów, a ich proporcje uzależnione są od położenia widma w układzie współrzędnych. Z tych widm korelacyjnych wynika, że jeśli potencjał konstrukcji znajduje się w I i II ćwiartce wykresu, istnieje w tym miejscu ryzyko korozji. W ćwiartce III i IV potencjał posiada wprawdzie wartości ujemne, ale nie musi to odpowiadać wartościom optymalnej ochrony.

Na podstawie widma korelacyjnego można także wnioskować o zastosowanej ochronie przed prądami błądzącymi lub innymi zakłóceniami w obwodzie ochrony katodowej, co ilustruje rys. 2.



Rys. 2. Pomiary potencjału rurociągu oraz napięcia rurociąg-szyny w funkcji czasu oraz odpowiadająca im wzajemna korelacja – przykład ilustrujący pracę drenazu polaryzowanego

Różnica pomiędzy zapisami zmian mierzonych parametrów w funkcji czasu i ich korelacji widoczna jest na podanym przykładzie. Załamanie widma korelacji wynika z faktu, że w punkcie pomiarowym jest podłączony drenaż polaryzowany (dioda prostownicza) lub polaryzowany łącznik. W zależności od wielkości oporu obwodu łączy drenażu, dochodzi do zmiany zakrzywienia, tym samym także do zmiany średniej potencjału, co ilustruje schematycznie rys. 3.



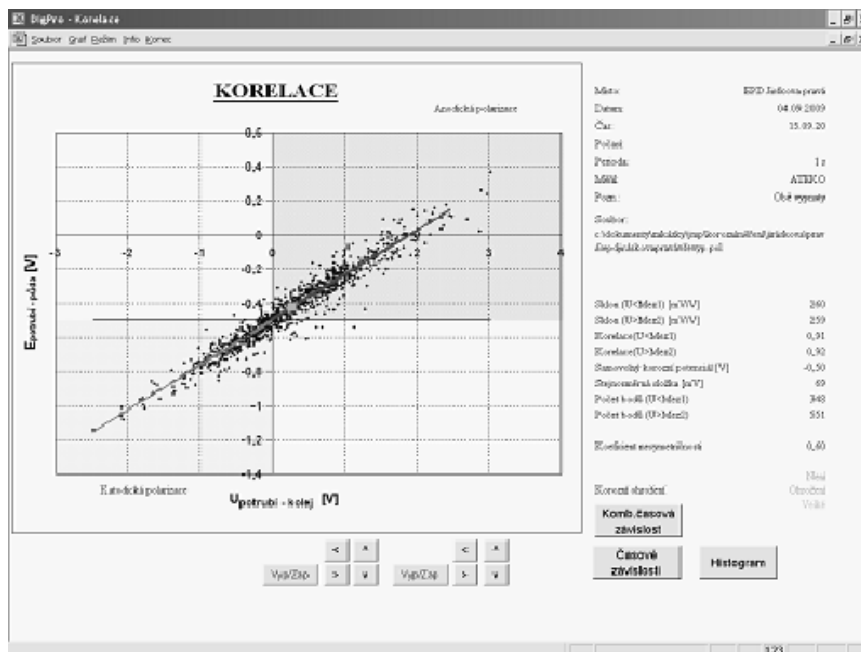
Rys. 3. Schemat ilustrujący typowe zależności korelacyjne dla drenażu polaryzowanego (diody prostowniczej) i drenażu regulowanego ( tranzystora MosFET)  
– strzałka wskazuje możliwy sposób regulacji poprzez zmniejszenie rezystancji drenażu

W wypadku, że chcemy uzyskać efekt ochrony za pomocą polaryzacji katodowej, trzeba za pomocą obniżenia rezystancji drenażu wymusić większy prąd. Oczywiście, o ile jest to możliwe. Rezystancja drenażu powinna być mała. Czym będzie mniejsza, tym większa będzie ochrona katodowa konstrukcji. Możliwe jest znalezienie takiego oporu drenażu  $R_0$ , podczas którego wzrost napięcia nie będzie wywoływać polaryzacji katodowej.

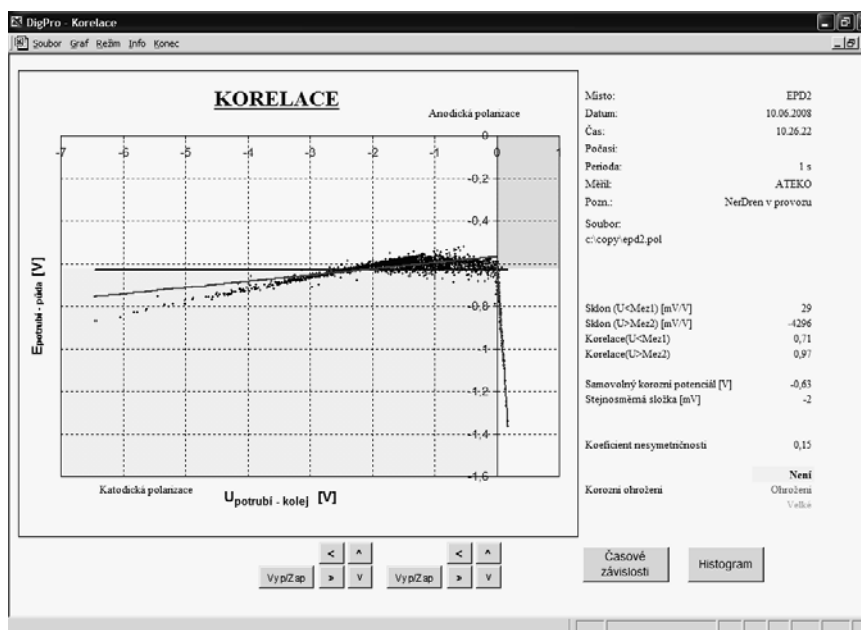
W celu jak najlepszego wykorzystania prądów błądzących do ochrony katodowej rurociągu za pomocą drenażu elektrycznego, konieczne jest, aby prawidłowo ustalić już w trakcie pomiaru limity nachylenia linii przechodzących przez średnią wartość mierzonych sygnałów, tj. oszacować położenie osi współrzędnych umożliwiających prawidłową interpretację widma korelacyjnego. Obecnie realizuje się to za pomocą specjalnie do tego celu dostosowanych programów komputerowych, np. opracowanego przez ATEKO w Ostrawie, a którego postać zaprezentowano na rys. 4.

Na rysunku tym przedstawiono widmo korelacji - w postaci widocznej na ekranie komputera -uzyskane w typowym miejscu, w którym wymagane jest zastosowanie elektrycznego drenażu spolaryzowanego. Losowo zmienne razem ze swą medianą wyraźnie znajdują się w anodowym obszarze oddziaływań prądów błądzących.

Duża amplituda napięcia pomiędzy rurociągiem a szynami ma znaczący wpływ na potencjał tego rurociągu. Wykres korelacji jest typowy dla idealnego zastosowania elektrycznego drenażu polaryzowanego, dzięki któremu możliwe będzie całkowite wyeliminowanie polaryzacji anodowej rurociągu.



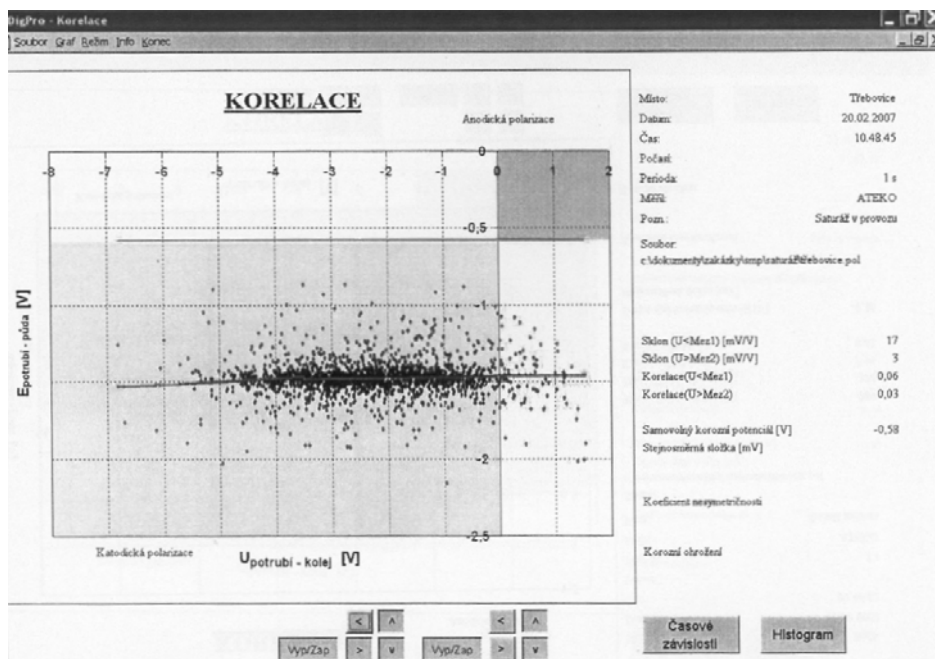
Rys. 4. Widok ekranu monitora komputerowego z programem do obsługi pomiarów korelacyjnych – widoczne typowe widmo korelacyjne potencjał – napiecie wskazujące na występowanie zagrożenia korozyjnego wywołanego przez prądy błądzące



Rys. 5. Widmo korelacyjne ilustrujące działanie drenażu regulowanego

Obraz widma korelacyjnego ilustrującego działanie drenażu regulowanego przedstawiono na rys. 5. Zagrożenie prądami błędzącymi w tym miejscu nie jest co prawda duże, ale z kształtu widma można wywnioskować, że szkodliwe oddziaływanie prądów błędzących wyeliminowane zostało w sposób całkowity (brak widma w obszarze anodowym).

Kolejnym przykładem ilustrującym możliwości interpretacji metody korelacyjnej jest widmo zaprezentowane na rys. 6.



Rys. 6. Vidmo korelacyjne ilustrujące pracę automatycznego drenażu wzmocnionego

Znaczące przesunięcie widma w kierunku ujemnym świadczy o dostarczeniu energii do polaryzacji katodowej chronionego obiektu z zewnątrz (drenaż wzmocniony lub stacja ochrony katodowej), zaś płaski przebieg widma wskazuje na istnienie automatycznej regulacji potencjału ochrony. Z rozmycia widma można wyciągnąć wniosek, że na chroniony obiekt mają także wpływ zjawiska zachodzące poza miejscem prowadzonego pomiaru, zaś brak zniekształceń widma wskazuje na to, że moc urządzenia dobrana została prawidłowo i nie następuje zakłócenia wynikające z ograniczonej wydolności prądowej drenażu. Przypadkowe zmienne w żaden sposób nie powinny sięgać do anodowego obszaru.

## 2.2. Korelacja potencjału rurociągu i spadku napięcia spowodowanego przez prądy błędzące

Metoda ta polega na badaniu zależności korelacyjnej pomiędzy potencjałem rurociągu a spadkiem napięć w gruncie w miejscach, co do których ma się pewność, że płynący w ziemi prąd błędzący może oddziaływać na zakopany w ziemi obiekt. Często dokonuje się zapisów za pomocą dwóch rejestratorów zlokalizowanych w miejscach od siebie bardzo odległych. Korelując w czasie oba zapisy uzyskuje się pełnowartościową zależność korelacyjną ilustru-

jącą oddziaływanie na siebie pól elektrycznych w dużej odległości, np. wielu kilometrów. Metoda ta jest stosowana w Polsce.

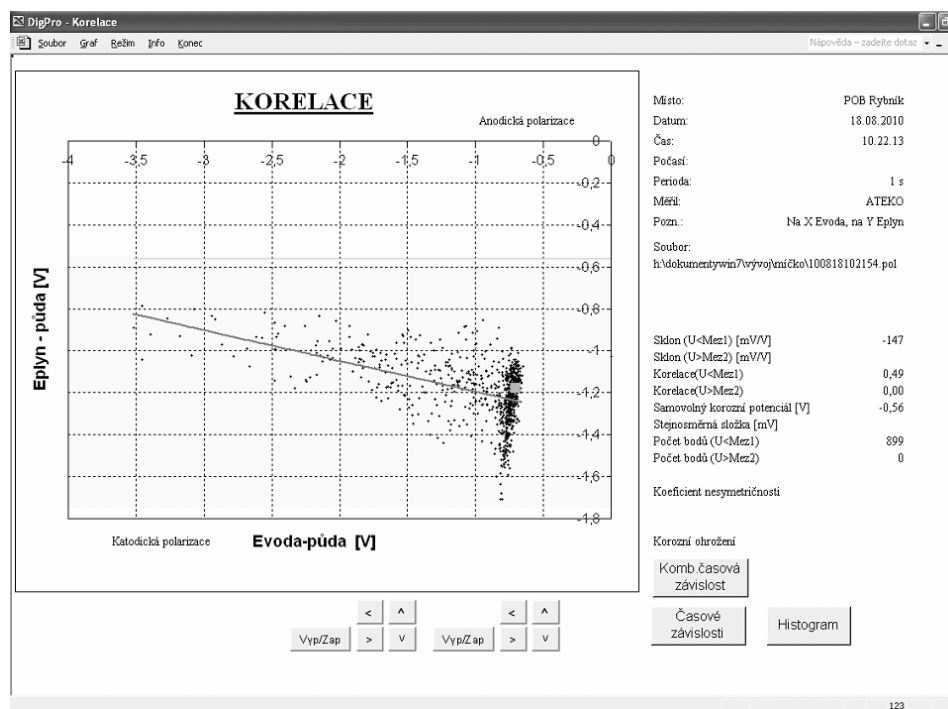
### 2.3. Relacje korelacyjne prądów ochrony katodowej i prądów błędnych na trasie rurociągu

Również ten rodzaj pomiaru korelacji wymaga użycia dwóch rejestratorów (lub grupy DigPro). Pomiary dostarczają operacyjnie cenne wyniki. Również te pomiary można znaleźć w Polsce.

### 2.4. Pomiary korelacyjne pomiędzy rurociągami na punktach łączeniowych

Pomiary te mogą zapewnić nie tylko wgląd w działania urządzenia realizowane na punktach łączeniowych, ale mogą dostarczyć również wysokiej jakości dokumenty techniczne w przypadku występowania sporów. W ten sposób możemy udokumentować wszystko, co zostało zmierzone, w tym długości pomiaru. Oczywiście jest również wykazanie wzajemnego oddziaływania konstrukcji i ustalenie, która konstrukcja jest bardziej zagrożona korozją. Możliwe jest również sporządzenie zapisu korelacji z wykorzystaniem większej ilości urządzeń rejestrujących, jednak zazwyczaj analiza korelacji dwóch sygnałów jest wystarczająca. Możemy również sporządzać diagramy korelacyjne wszystkich typów potencjałów (załączeniowych, wyłączeniowych i polaryzacyjnych), a następnie je porównać. Przykład takiej zależności korelacyjnej ilustruje rys. 7.

Chociaż te sposoby mierzenia zalecałem już 20 lat temu, jako bardzo praktyczne, nie są one używane po dziś dzień, co jest oczywiście smutne.



Rys. 7. Korelace potenciálů dvou rurociągů połączonych ze sobą połączeniem wyrównawczym w strefie oddziaływania prądów błędnych i poddanych wspólnej ochronie katodowej

### 3. Podsumowanie

Metoda korelacyjna jednoznacznie należy do intensywnych metod badania postępów korozji na konstrukcjach podziemnych. W Czechach metoda ta jest w praktyce rzadko używana. Odzwierciedla się to oczywiście w jakości prowadzonych pomiarów kontrolnych oraz ich ewidencji.

Jako jeden z propagatorów tej techniki w Czeskiej Republice i na Słowacji, nalegam na wykorzystywanie przynajmniej tych pomiarów, które w mojej prezentacji przytoczyłem. Jestem przekonany o tym, że wprowadzenie techniki korelacji będzie się użytkownikom bardzo opłacało.

### Literatura

- [1] Míčko F., *Měření, vyhodnocení a návrh řešení elektrické protikorozní ochrany části městské plynovodní sítě v oblasti tramvajové dopravy, používající k provozu plusovou polaritu kolejí*, Diplomová práce, Ostrava, červen 1970.
- [2] Juchniewicz R., Sokólski W., *Ocena zagrożenia korozyjnego konstrukcji metalowych w polu oddziaływania znakoprzemiennych prądów błędzących*, Prace Naukowe Instytutu Technologii Nieorganicznej i Nawozów Mineralnych Politechniki Wrocławskiej nr 19, Konferencje nr 3, Wrocław 1980, s. 139–142.
- [3] Sokólski W., *Elektrochemiczne metody wykrywania i eliminowania anodowych stref korozyjnych na podziemnych konstrukcjach metalowych w miastach*, Politechnika Gdańska, Gdańsk 1980 (praca doktorska).
- [4] Číp J., *Katodická ochrana proti účinkům bludných proudů*, ATEKO, Ostrava 2007.
- [5] Míčko F., *Katodická ochrana místních rozvodů*, ATEKO, OK08. Morávka 2008.
- [6] Číp J., Míčko F., Sokólski W., *Korelační měření*, Workshop, Praha 2009.
- [7] Míčko F., *Využití korelace při měření propojovacích objektů kovových úložných zařízení*, ATEKO, OK11, Ostrava 2011.