



**OCHRONA KATODOWA RUROCIĄGU Z OGRANICZENIEM JEGO  
NADMIERNIE UJEMNYCH POTENCJAŁÓW SPOWODOWANYCH  
ODDZIAŁYWANIEM PRĄDÓW BŁĄDZĄCYCH**

**PIPELINE CATHODIC PROTECTION WITH LIMITING TOO LOW NEGATIVE  
PIPE POTENTIALS CAUSED BY STRAY CURRENT INTERFERENCE**

Józef Dąbrowski, Władysław Dziuba, Franciszek Fijołek, Marian Hanasz

Zakład Trakcji Elektrycznej Instytutu Elektrotechniki, PERN, L.INSTUMENTs

Słowa kluczowe: prądy błędzące, ochrona katodowa  
Key words: stray current, cathodic protection

**Streszczenie**

Rurociąg w powłoce izolacyjnej wysokiej jakości chroniony przed korozją przez stacje ochrony katodowej z automatyczną stabilizacją potencjału na poziomie -1.15 V krzyżuje się z dwiema liniami zelektryfikowanymi PKP. Pomiary całodobowe wykazały, że w obu tych miejscach przez znaczną część doby potencjał rurociągu jest bardziej dodatni niż -0.85 V lub bardziej ujemny niż -1.20 V, czyli że w rejonach skrzyżowań ochrona katodowa nie spełnia swego zadania. W obu tych miejscach zainstalowano specjalne stacje ochrony katodowej, kompensujące prądy błędzące zarówno wypływające z rurociągu do ziemi, jak i wpływające do rurociągu z ziemi. Te specjalne stacje sterowane potencjałem rurociągu podają dodatnie lub ujemne napięcia wyjściowe i zgodnie z wynikami badań zapewniają ochronę rurociągu przed korozją oraz ograniczają występowanie potencjałów bardziej ujemnych niż -1.10 V.

**Summary**

The pipeline with high-quality coating equipped with cathodic protection stations with automatic potential control at the level of -1.15 volts crosses two electrified railway lines. The 24-hours measurements carried out at both crossings have shown that during considerable part of a day and night the pipeline potential is more positive than -0.85 volts or more negative than -1.20 volts. So at the vicinity of crossings the cathodic protection is not fully effective. In both these places special cathodic protection stations have been installed, to compensate the stray current flowing as well from the pipe to ground as from the ground to pipe. These special stations controlled by pipe potential give positive or negative output voltages and – according to results of measurements – are ensuring pipe cathodic protection and are reducing pipeline potentials more negative than -1.10 volts.

## 1. Wstęp

Zgodnie z pkt.4.2 normy [1], aby było spełnione podstawowe kryterium ochrony katodowej, potencjał ochrony  $E_p$  podziemnej konstrukcji stalowej mierzony względem siarczano-miedziowej elektrody odniesienia powinien wynosić:

$$E_p \leq -0.85 \text{ V} \quad (1)$$

W uwadze do tego punktu normy podano:

„W przypadku cienkich powłok ochronnych bez uszkodzeń, o jednostkowej rezystancji powłoki ( $r_{co}$ ) niższej niż  $10^8 \Omega\text{m}^2$ , potencjały o wartościach bardzo ujemnych mogą mieć szkodliwy wpływ na powłoki, np. może dojść do pęcherzenia powłoki. Aby zminimalizować wszelki szkodliwy wpływ, potencjały bez składowej  $IR$ , zmierzone względem elektrody siarczano-miedziowej, nie powinny być bardziej ujemne niż potencjał krytyczny  $E_l = -1.1 \text{ V}$ , chyba że producent powłoki poda inną, należyście udokumentowaną wartość. Bardzo ujemne potencjały mogą powodować także stopniowe odpajanie katodowe w defektach zarówno cienkiej, jak i grubej powłoki.”

Zatem potencjał  $E_p$  chronionej konstrukcji powinien zawierać się w granicach:

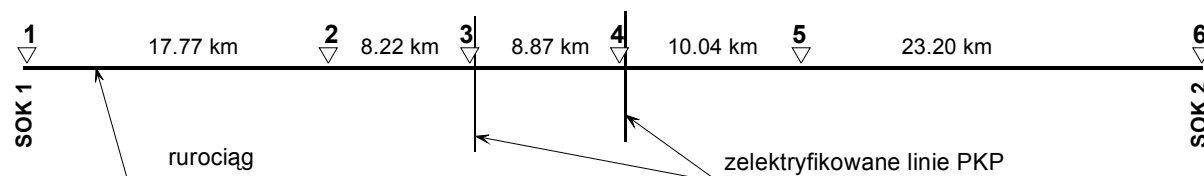
$$-1.10 \text{ V} \leq E_p \leq -0.85 \text{ V} \quad (2)$$

Przed szkodliwością zbyt niskich potencjałów polaryzacji  $E_p$  ostrzega także norma ISO [2], w której w punkcie 5.3.2.1 podano: „...W celu uniknięcia uszkodzenia powłoki, graniczny potencjał krytyczny nie powinien być bardziej ujemny niż  $-1200 \text{ mV}$  względem  $\text{Cu}/\text{CuSO}_4$ , aby zapobiec szkodliwym skutkom wytwarzania wodoru i/lub wysokim wartościom pH na powierzchni metalu”. W tym przypadku podana wartość graniczna  $E_p$  jest niższa o  $100 \text{ mV}$  w porównaniu z podanym w normie [1] potencjałem krytycznym  $E_l$ .

Kwestia szkodliwych oddziaływań zbyt ujemnych potencjałów polaryzacji podziemnych rurociągów jest omawiana także w innych publikacjach, np. [3, 4, 5].

Stwierdzenie występowania, a następnie ograniczenie zbyt ujemnych potencjałów ochrony jest stosunkowo proste w przypadku tych rurociągów, których trasy przebiegają poza strefami oddziaływania trakcyjnych prądów błądzących. Można wówczas względnie łatwo, np. metodą wyłączeniową zmierzyć, a następnie odpowiednio wyregulować wartość  $E_{IR\text{ free}}$ , oraz dbać o jej utrzymywanie w czasie eksploatacji. Natomiast sytuacja jest znacznie trudniejsza, jeżeli na rurociąg działają prądy błądzące odgałęziane z torów trakcji elektrycznej, wskutek czego wartości potencjałów takiego rurociągu ulegają często silnym wahaniom. Wyznaczenie wartości  $E_{IR\text{ free}}$ , a tym bardziej odpowiednia regulacja i stabilizacja tej wartości stają się wtedy znacznie bardziej skomplikowane i kosztowne.

Problematyka ta wystąpiła podczas badań stalowego rurociągu o średnicy  $406 \text{ mm}$ , w izolacji 3LPE, chronionego przed korozją przez stacje ochrony katodowej (SOK) z automatyczną stabilizacją potencjału ochrony na wybranym poziomie  $-1.15 \text{ V}$ . Na odcinku między dwiema sąsiednimi SOK odległymi od siebie o ok.  $68 \text{ km}$  trasę rurociągu przecinają dwie zelektryfikowane linie PKP (rys.1). Odległość pierwszego skrzyżowania od SOK1 wynosi ok.  $26 \text{ km}$ , odległość drugiego skrzyżowania od SOK2 ok.  $33 \text{ km}$ , a długość odcinka rurociągu między skrzyżowaniami jest równa ok.  $8.9 \text{ km}$ .



Rys. 1. Skrzyżowania linii zelektryfikowanych PKP z trasą rurociągu, lokalizacja SOK i niektórych punktów pomiarowych

## 2. Badania potencjałów rurociągu w rejonie skrzyżowań z torami PKP

W tabl.1 podano wyniki jednoczesnej całodobowej rejestracji potencjałów  $E$  rurociągu względem stałych elektrod odniesienia (SEO) w punktach 2, 3, 4, wg rys.1, oraz napięcia  $U$  między rurociągiem i szynami przy skrzyżowaniach z torami. Jak widać z tabeli oddziaływanie prądów błędzących na rurociąg przy skrzyżowaniach jest silne i w dużym stopniu niweczy ochronne działanie SOK. Potwierdzają to rysunki 2 a,b,c, przedstawiające fragmenty jednoczesnej rejestracji potencjałów  $E$  i napięć  $U$  w punktach pomiarowych 2, 3 i 4.

Tabela 1. Wyniki rejestracji dobowej od 2004.04.06 godz.17:00 do 2004.04.07 godz.17:00 w trzech punktach pomiaru wg rys.1

Nr punktu pomiaru	Potencjał $E$ [V]			Napięcie $U$ w [V]		
	Wartość średnia	Wartość min.	Wartość maks.	Wartość średnia	Wartość min.	Wart. maks.
2	-1.246	-1.836	-0.537			
3	-0.909	-8.218	+0.293	-1.338; +3.346	-55.52	+12.06
4	-1.358	-6.201	+0.068	-3.795; +1.160	-63.33	+6.81

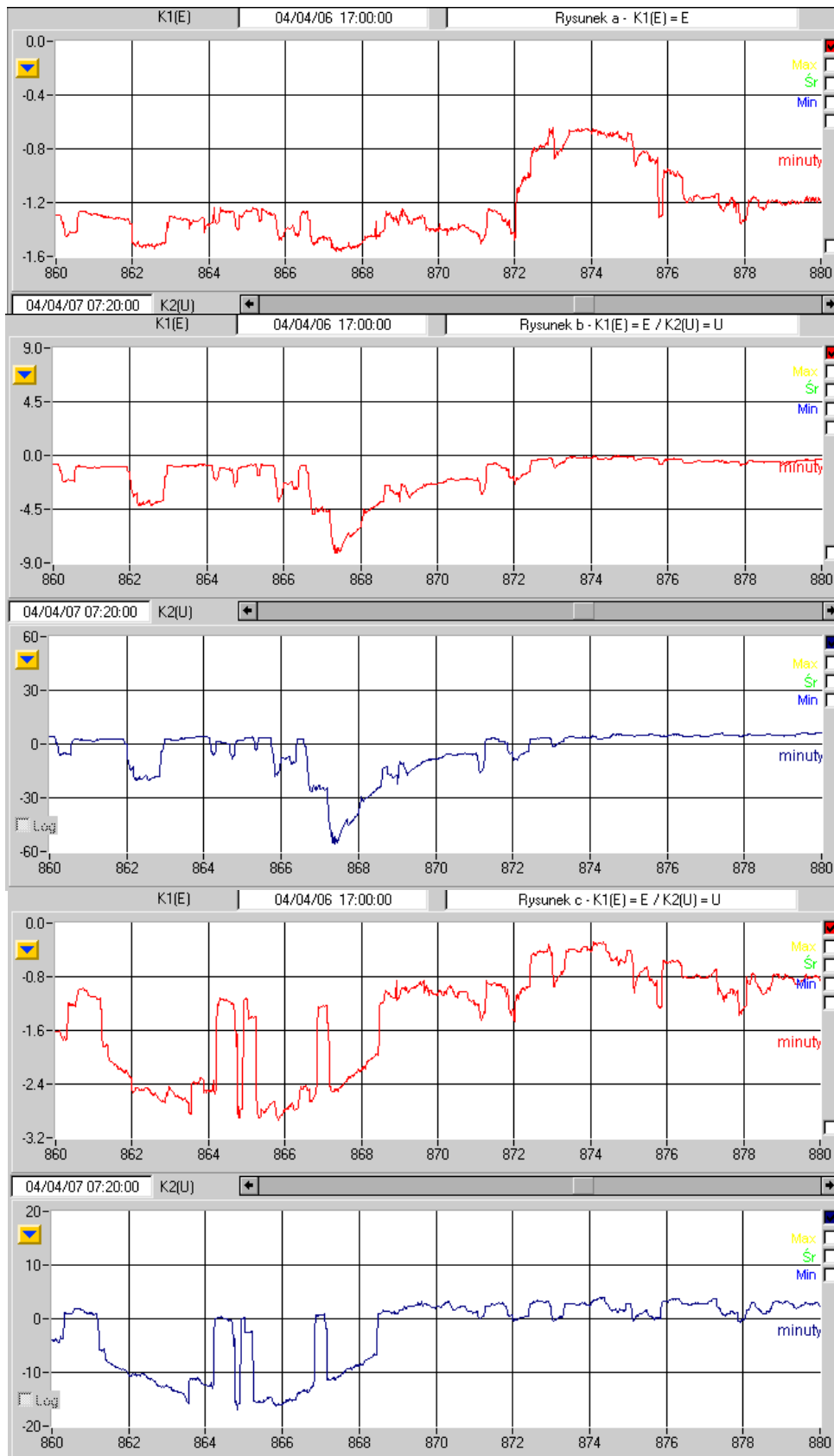
Z tabl.1 i z analizy całodobowych przebiegów  $E$  wynika, że wartości maksymalne  $E$  w badanych trzech punktach pomiarowych są bardziej dodatnie od wartości  $-0.850$  V, która stanowi kryterium skuteczności ochrony katodowej; oznacza to, że okresowo rurociąg nie jest w pełni chroniony przed korozją, pomimo że czynne SOK1 i SOK2 mają regulację automatyczną i zachowują w punktach drenażu potencjał  $E \leq -1.15$  V. W rejonie obu skrzyżowań z torami potencjały  $E$  rurociągu osiągają nawet wartości dodatnie. Ale w okresach występowania dużych ujemnych napięć  $U$  między rurociągiem i szynami pojawiają się też duże ujemne potencjały  $E$  rurociągu, co widać z rysunków 2b i 2c, ilustrujących bardzo dobrą odpowiedniość zmian przebiegów  $E$  i  $U$ . Z tabl.1 widać, że ujemne potencjały  $E$ , mierzone ze składową  $IR$ , osiągają znaczne wartości.

Na podstawie całodobowej rejestracji  $E$  i przy założeniu małej składowej  $IR$  przy pomiarze  $E$  o wartości ok.  $-0.85$  V ustalono, że w punkcie 3 w ciągu 15.6 godzin (tj. 65 % doby), a w punkcie 4 w ciągu 3.4 godzin (tj. 14.2% doby) występował potencjał bardziej dodatni niż  $-0.85$  V. Oznacza to, że w tym czasie rurociąg nie był w pełni chroniony przed korozją.

W oparciu o opisane w p.4 badania wykonane w punktach pomiarowych 3 i 4 przyjęto, że przy wartości  $E \approx -1.50$  V potencjał  $E_{IR, free}$  jest równy  $-1.01...-1.22$  V, czyli zbliża się do granic, poniżej których zgodnie z [1] i [2] może wystąpić wydzielanie wodoru na powierzchni rurociągu. Z rejestracji całodobowej obliczono, że przekroczenia w kierunku ujemnym potencjału  $-1.50$  V w punktach 3 i 4 trwały odpowiednio 2.7 i 6.9 godzin w ciągu doby.

W przypadku punktu pomiarowego 2 okres występowania wartości  $E$  bardziej dodatniej niż  $-0.850$  V wyniósł tylko ok. 10 minut w ciągu doby, a wartości bardziej ujemnych niż  $-1.50$  V – tylko ok. 3.6 min.

Omówione wyniki badań uzasadniają celowość zastosowania środków, ograniczających silne wahania potencjałów rurociągu w punktach pomiarowych 3 i 4, wywołane dużą aktywnością prądów błędzących. Aby zapobiec szkodliwym skutkom silnych wahań  $E$  należałoby tak oddziaływać na rurociągi w strefie prądów błędzących, aby wartości  $E_{IR, free}$  mogły zmieniać się tylko w określonych dość wąskich granicach. Osiągnięcie tego jest teoretycznie możliwe, jeżeli w miejscach najbardziej intensywnej wymiany prądów między rurociągiem i szynami, zainstaluje się odpowiednio sterowane źródło prądu stałego. Źródłem takim może być np. specjalna stacja ochrony katodowej (SSOK) kompensująca prądy błędzące, zarówno wypływające z rurociągu do ziemi, jak i wpływające do rurociągu z ziemi.



Rys. 2. Fragmenty przebiegów czasowych potencjału  $E$  [V] rurociągu i napięcia  $U$  [V] między rurociągiem i szynami z dnia 2004.04.07 w godz. 07:20 - 07:40: rys. a) – przebieg  $E$  w punkcie nr 2, rys. b) – przebiegi  $E$  i  $U$  w punkcie nr 3, rys. c) – przebiegi  $E$  i  $U$  w punkcie nr 4

### 3. Specjalna stacja ochrony katodowej (SSOK) kompensująca prądy błądzące

Zadaniem specjalnych stacji ochrony katodowej (SSOK) jest taka kompensacja wymiany prądów błądzących między rurą i ziemią, aby zapewnić ochronę katodową zgodnie ze wzorem (1), a jednocześnie usunąć lub przynajmniej zmniejszyć nadmierną polaryzację katodową rurociągu. W tym celu SSOK jest wyposażona w dwa zasilacze prądu stałego, które mogą dostarczać zarówno dodatnie jak i ujemne napięcie wyjściowe (a więc także dodatnie i ujemne prądy), regulowane automatycznie w taki sposób, aby potencjał rurociągu w miejscu sterowania stacją mógł być stale równy wartości nastawionej.

SSOK została opisana w oddzielnym referacie [6] prezentowanym na tej samej konferencji. Z tego względu niżej podano jedynie podstawowe parametry stacji:

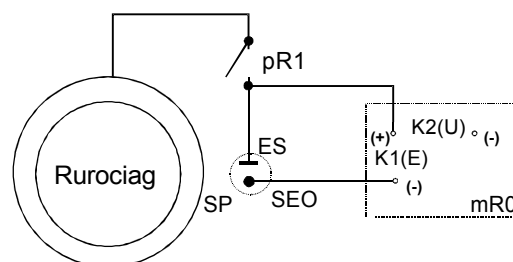
- ◆ napięcie wyjściowe stacji:  $U = -48.0 \text{ V} \dots 0 \dots +48.0 \text{ V d.c.},$
- ◆ prąd wyjściowy stacji:  $I_p = -3.0 \dots 0 \dots +5.0 \text{ A},$
- ◆ nastawianie potencjału sterującego  $E_p$ : od  $-0.9 \text{ V}$  do  $-2.5 \text{ V}$ , skokowo co  $0.01 \text{ V}$ ,
- ◆ nastawa wartości granicznej (progowej) wyjściowego prądu dodatniego  $+I_p$ : od  $+1.0 \text{ A}$  do  $+4.0 \text{ A}$ , skokowo co  $0.1 \text{ A}$ ,
- ◆ nastawa wartości granicznej (progowej) wyjściowego prądu ujemnego  $-I_p$ : od  $-0.2 \text{ A}$  do  $-2.5 \text{ A}$ , skokowo co  $0.1 \text{ A}$ ,
- ◆ rezystancja wejściowa obwodu pomiaru potencjału sterującego  $E_p$ :  $20 \text{ M}\Omega.$

### 4. Potencjał rurociągu sterujący pracą specjalnej stacji ochrony katodowej

Ponieważ dla przypadku silnego oddziaływania prądów błądzących nie ma dotychczas w kraju sprawdzonego w praktyce sposobu pomiaru potencjału  $E_{IR \text{ free}}$ , mogącego służyć do sterowania stacją ochrony katodowej, okazało się konieczne jej sterowanie podług wartości potencjału  $E$ , mierzonej między połączoną z rurociągiem próbką stalową ES i stałą elektrodą odniesienia SEO w sondzie pomiarowej SP typu EO-S110/Cu+1S1, zakopanej obok rurociągu. Aby jednak wybrać odpowiednią wartość  $E$  do sterowania stacją, konieczne było ustalenie zależności potencjału  $E_{IR \text{ free}}$  rurociągu bez składowej omowej  $IR$  od potencjału  $E$  zawierającego tę składową:

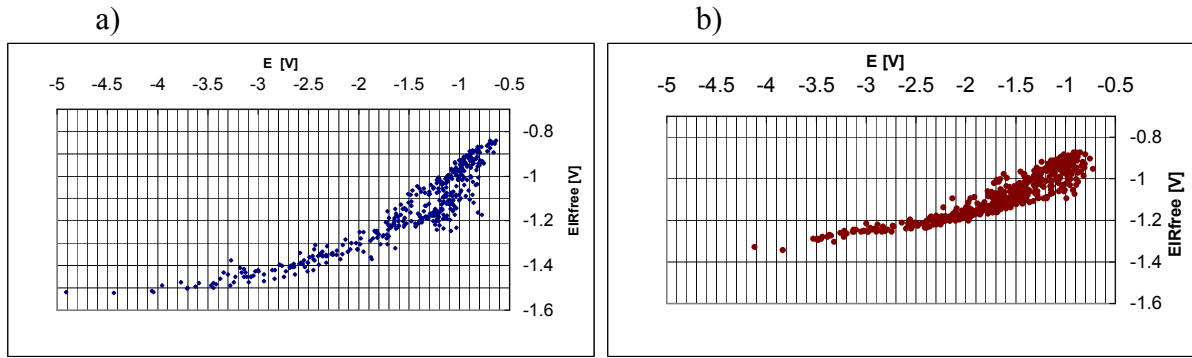
$$E_{IR \text{ free}} = f(E) \quad (3)$$

Aby wyznaczyć zależność (3) zastosowano metodę wyłączeniową i w ciągu kilkunastu minut rejestrowano za pomocą rejestratora mR0, z częstością zapisu co 1/16 sekundy, potencjał rurociągu  $E$ , w układzie opisanym wyżej, tj. z użyciem sondy SP. Podczas rejestracji przerywano połączenie rurociągu z próbką stalową ES wg cyklu 9 s ON + 1 s OFF, stosując w tym celu przerywacz pR1 włączony do układu pomiarowego zgodnie z rys.3.



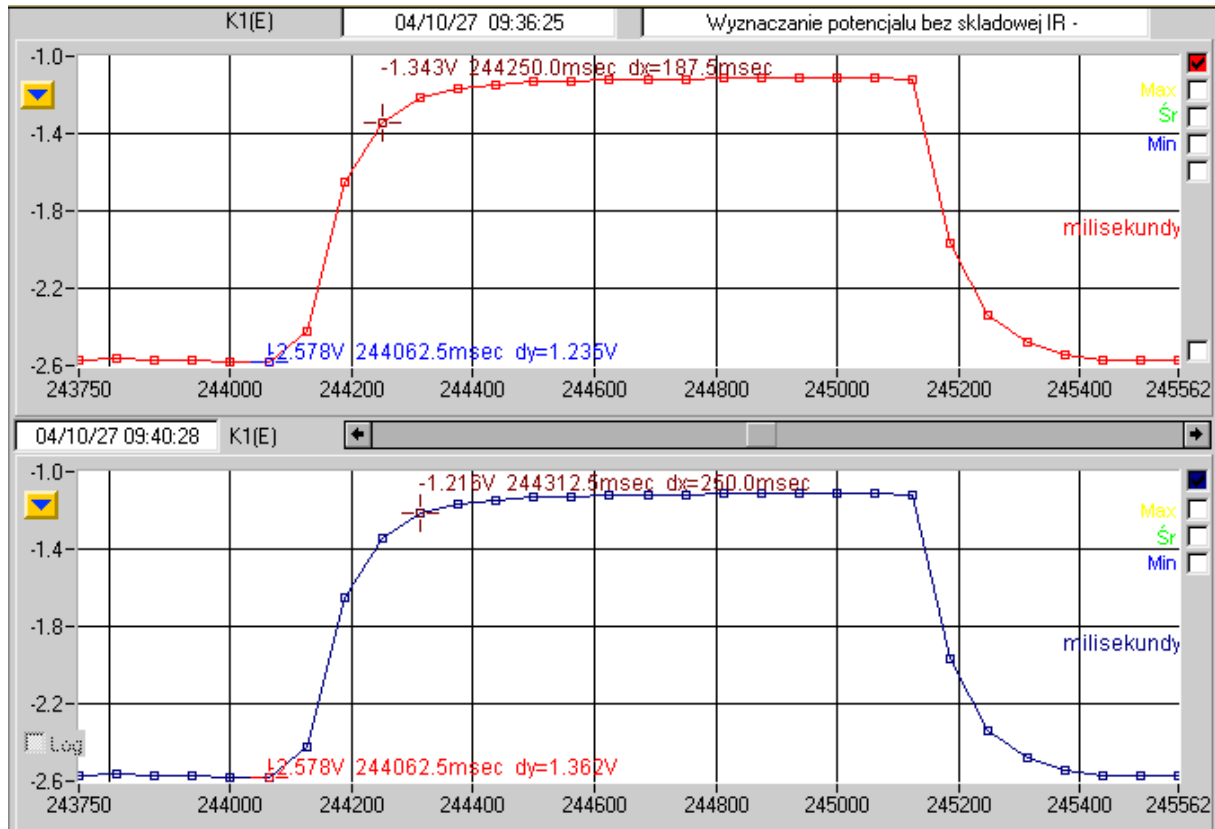
Rys. 3. Schemat układu do badania zależności  $E_{IR \text{ free}} = f(E)$  w punktach pomiarowych nr 3 i 4

Na podstawie zapisanych w ten sposób kilkuset przebiegów  $E$  można wyznaczyć szukaną zależność  $E_{IR \text{ free}} = f(E)$ . Zależności takie, otrzymane w wyniku badań w punktach pomiarowych 3 i 4 przedstawiono na rysunku 4 w formie zbiorów punktów spełniających równanie (3). Dla pożądanej wartości potencjału ochrony  $E_{IR \text{ free}}$  rurociągu w rejonie punktu drenażu, można na podstawie tego rysunku ustalić wartość  $E$ , która ma sterować SSOK.



Rys.4. Zależności  $E_{IR\ free} = f(E)$  otrzymane z rejestracji w punktach 3 i 4 (odpowiednio rysunki a, b)

Z rys.4 widać, że określonej wartości  $E_{IR\ free}$  odpowiada szereg możliwych wartości  $E$ . Wynika to ze zbyt małej częstości zapisu rejestratora mR0, silnych i nagłych wahań prądów błądzących, oraz trudności w ustaleniu momentu, w którym spadek  $IR$  osiąga wartość zerową. Widać to z rys.5, przedstawiającego dwukrotnie ten sam fragment rejestracji potencjału próbki ES w chwili przerywania połączenia między ES i rurociągiem w układzie wg rys.3. Na przebiegach zaznaczono momenty próbkowania rejestratora mR0 z częstością co 62.5 ms, a kursorami oznakowano momenty przyjęte do obliczenia  $E$  (-2.578 V przy 244062.5 ms) i  $E_{IR\ free}$  (-1.343 V przy 244250 ms oraz -1.216 V przy 244312.5 ms). Widać, że w obu tych momentach dla tej samej wartości  $E$  otrzymuje się inną wartość  $E_{IR\ free}$ . Ponieważ komputerowa obróbka wyników rejestracji dała znaczny rozrzut wyników, okazało się konieczne dokonanie aproksymacji przebiegów z rys.4 dla zakresu potencjałów  $E_{IR\ free}$  od ok. -0.85 V do ok. -1.25 V, aby otrzymać najbardziej prawdopodobne zależności liniowe dla równania (3).



Rys.5. Przebieg potencjału  $E$  elektrody stalowej ES w sondzie pomiarowej SP względem SEO podczas przerywania połączenia między ES i rurociągiem

## 5. Ochrona rurociągu za pomocą specjalnych stacji ochrony katodowej

Dwie SSOK zainstalowano przy skrzyżowaniach rurociągu z torami linii zelektryfikowanych PKP w punktach pomiarowych nr 3 i 4 wg rys.1. W obu tych miejscach zakopano przy rurociągu i połączono z nim sondy pomiarowe SP typu EO-S110/Cu+1S1, wykorzystywane do pomiaru potencjału sterującego pracą stacji. Rezystancje zastosowanych uziomów anodowych SSOK w punktach 3 i 4 wynosiły odpowiednio  $4.1 \Omega$  i  $3.6 \Omega$ .

Uruchamianie nowych stacji okazało się zagadnieniem dość skomplikowanym, głównie ze względu na konieczność skrupulatnego sprawdzania oddziaływań prądów ujemnych tych stacji ( $-I_p$ ) na dalsze odcinki rurociągu. Prądy te, przepływające przez ziemię od rurociągu do uziomu anodowego, czyli w kierunku odwrotnym niż przy zwykłych stacjach ochrony katodowej, powodują ograniczenie nadmiernych ujemnych potencjałów rurociągu w punktach nr 3 i 4, co jest jednym z celów zastosowania SSOK. Ale prądy te mogą jednocześnie na dalszych odcinkach rurociągu powodować przesunięcie jego potencjału w kierunku dodatnim, nawet powyżej  $-0.85 \text{ V}$ . Aby do tego nie dopuszczać, trzeba było doświadczalnie ustalić takie wartości progowe  $-I_p$  w każdej SSOK, aby w żadnym punkcie kontrolnym na odcinku oddziaływania SSOK nie spowodować pogorszenia ochrony katodowej rurociągu. Oznaczało to konieczność stopniowej regulacji progów  $-I_p$  w każdej SSOK i obserwacji skutków tej regulacji wzdłuż trasy rurociągu. W wyniku szeregu badań potencjałów rurociągu na odcinku między punktami pomiarowymi 2 i 5 podczas pracy SSOK przy obu skrzyżowaniach z torami PKP, przyjęto jako optymalne następujące parametry pracy obu tych stacji:

Punkt nr 3:  $E_p = -1.10 \text{ V}$ ,  $-I_p = -0.4 \text{ A}$  (próg ujemny),  $+I_p = +3.0 \text{ A}$  (próg dodatni),  
Punkt nr 4:  $E_p = -1.20 \text{ V}$ ,  $-I_p = -0.6 \text{ A}$  (próg ujemny),  $+I_p = +3.0 \text{ A}$  (próg dodatni).

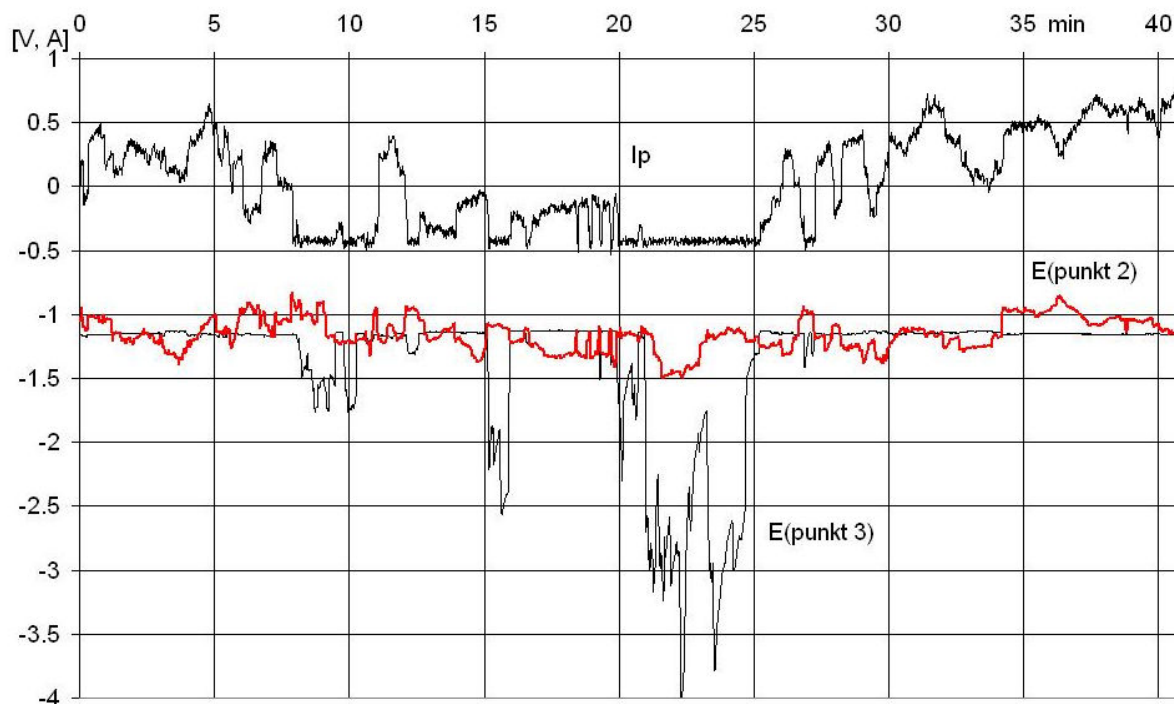
Według rys.4, podanym wartościom potencjału sterującego  $E_p$  odpowiadają potencjały  $E_{IR \text{ free}}$  ok.  $-1.05 \text{ V}$  w punkcie 3 i ok.  $-1.00 \text{ V}$  w punkcie 4.

Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono przebiegi potencjałów rurociągu w punktach pomiarowych 2, 3, 4 i 5 oraz przebiegi prądów ochrony w obu SSOK w okresie od 7:20 do 8:00 w dniu 2006.01.12. Widać, że prądy dodatnie obu stacji nie przekraczają w tym czasie wartości ok.  $+0.75 \text{ A}$ , co wystarcza do osiągnięcia stabilnych wartości potencjałów  $E$  na wybranych poziomach  $-1.1 \text{ V}$  (punkt 3) i  $-1.2 \text{ V}$  (punkt 4). Natomiast prądy ujemne spełniają swoją rolę zmniejszania nadmiernie ujemnych potencjałów, ale w zakresie ograniczonym przez wartości progowe  $-0.4 \text{ A}$  w punkcie 3 i  $-0.6 \text{ A}$  w punkcie 4. Gdy na rysunkach 6 i 7 prądy  $I_p$  osiągają i utrzymują te wartości, potencjały  $E$  stają się bardziej ujemne w stosunku do nastawionego poziomu stabilizacji. W punktach 2 i 5 potencjały rurociągu zachowują prawie stałe wartości bardziej ujemne niż  $-0.85 \text{ V}$ , co świadczy o prawidłowym ustaleniu wartości progowych  $-I_p$  w obu SSOK.

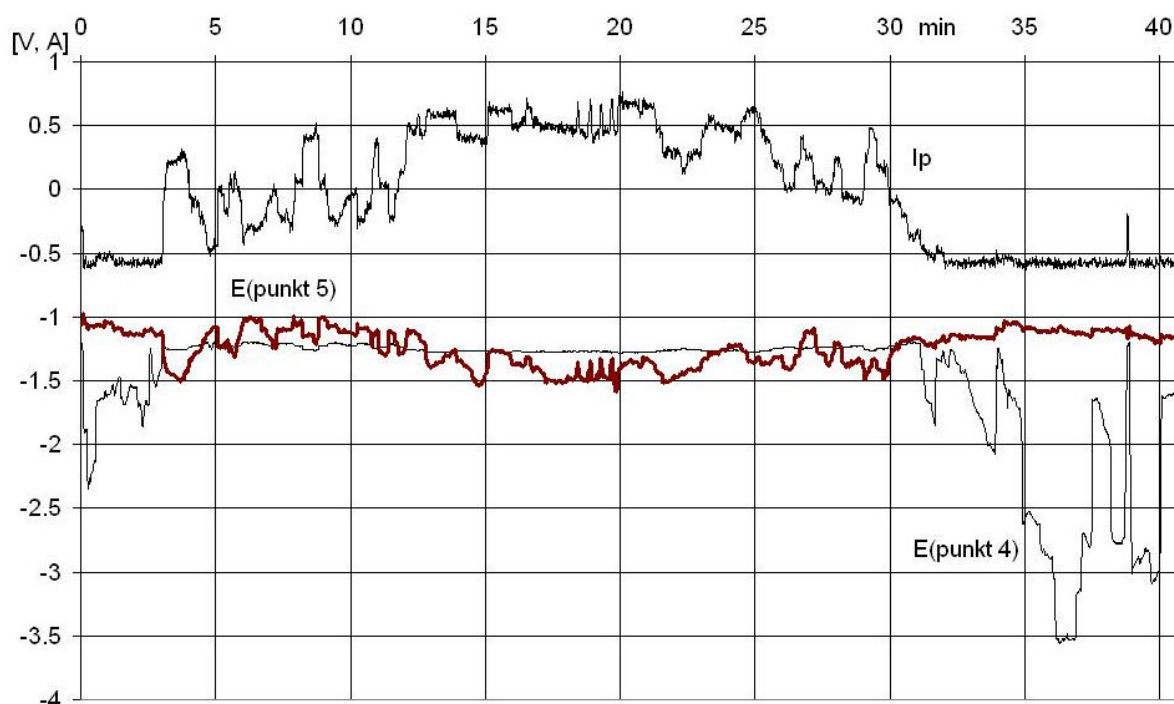
Podczas badań nowych stacji opracowano sposób, który pozwalał na obiektywne porównywanie skuteczności pracy SSOK przy różnych zmienianych w trakcie badań parametrach ich pracy, a także przy różnej aktywności prądów błądzących w poszczególnych dniach. Sposób ten wykorzystywał wyniki rejestracji przez system telemetrii potencjałów  $E$  rurociągu w ciągu całej doby w punktach pomiarowych 2, 3, 4 i 5 oraz wyniki rejestracji prądów stacji ochrony katodowej. Do porównywania pracy SSOK przyjęto następujące wielkości:

- ♦ wartość średnią dobową potencjału  $E_{sr}$  rurociągu w danym punkcie pomiarowym, w V,
- ♦ wartość maksymalną potencjału rurociągu  $E_{max}$  w ciągu doby w danym punkcie, w V,
- ♦ wartość minimalną potencjału rurociągu  $E_{min}$  w ciągu doby w danym punkcie, w V,
- ♦ wyrażony w sekundach sumaryczny czas  $\Sigma T_{-0.85}$ , w którym potencjał rurociągu  $E$  w danym punkcie pomiarowym jest w ciągu doby bardziej dodatni niż  $-0.85 \text{ V}$ , czyli czas, w ciągu którego nie jest spełnione kryterium ochrony katodowej rurociągu,
- ♦ wyrażony w sekundach sumaryczny czas  $\Sigma T_{-1.20}$ , w którym potencjał rurociągu  $E$  w danym punkcie pomiarowym jest w ciągu doby bardziej ujemny niż  $-1.20 \text{ V}$ , czyli czas,

w ciągu którego możliwe jest szkodliwe oddziaływanie zbyt ujemnego potencjału na pokrycia izolacyjne rurociągu.



Rys. 6. Przebiegi czasowe potencjału  $E$  rurociągu i prądu  $I_p$  SSOK w punkcie pomiarowym 3 oraz potencjału  $E$  rurociągu w punkcie 2 w godzinach 7:20 – 8:01 dnia 2006.01.12



Rys. 7. Przebiegi czasowe potencjału  $E$  rurociągu i prądu  $I_p$  SSOK w punkcie pomiarowym 4 oraz potencjału  $E$  rurociągu w punkcie 5 w godzinach 7:20 – 8:01 dnia 2006.01.12

W tabl.2 podano zestawienie wartości wymienionych wyżej wielkości dla następujących dni:

2006.01.12 – obie SSOK pracują przy parametrach  $E_p$ ,  $-I_p$ ,  $+I_p$  podanych w roz.5,

2005.01.07 – obie SSOK pracują przy parametrach  $E_p$ ,  $-I_p$ ,  $+I_p$  podanych w roz.5,

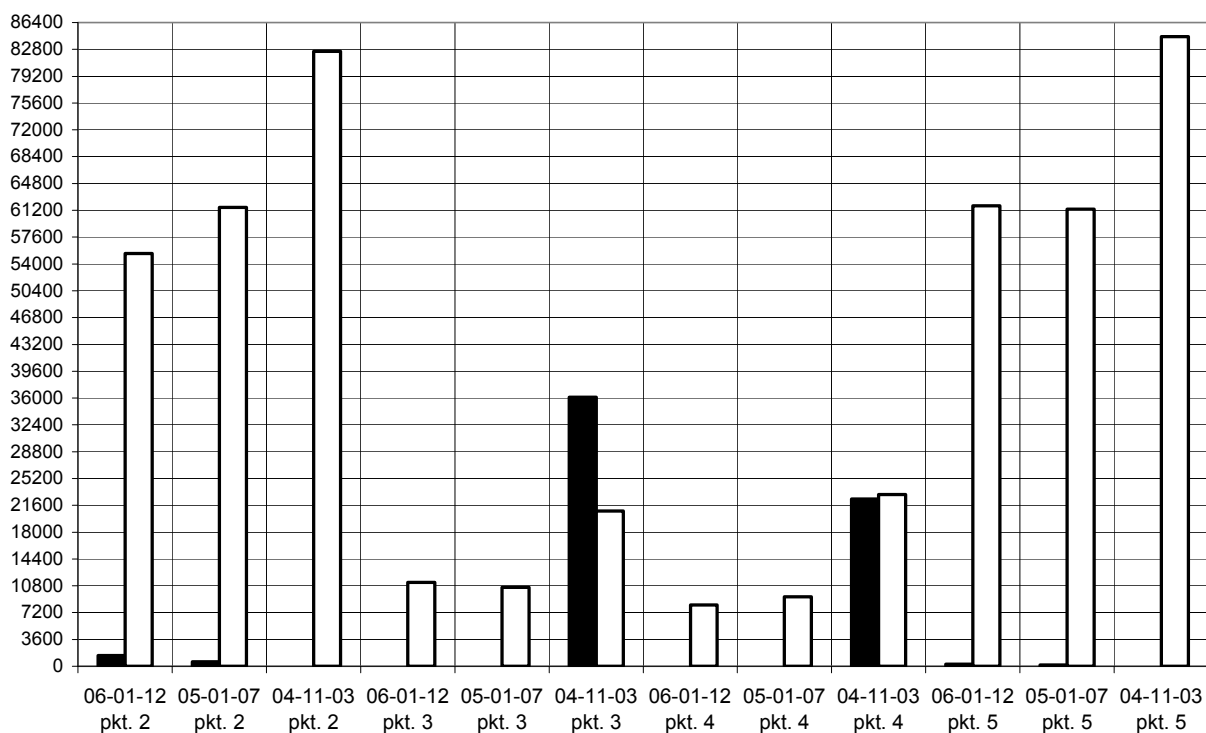


ale dla SSOK w punkcie pomiarowym 3 potencjał  $E_p = -0.99$  V.  
2004.11.03 – obie SSOK nie były włączone

Tabela 2. Zestawienie porównawcze wartości dobowych  $E_{\text{sr}}$ ,  $E_{\text{max}}$ ,  $E_{\text{min}}$ ,  $\Sigma T_{-0.85}$ ,  $\Sigma T_{-1.20}$

Nr Punktu	Data pomiaru	$E_{\text{sr}}$ [V]	$E_{\text{max}}$ [V]	$E_{\text{min}}$ [V]	$\Sigma T_{-0.85}$ [s]	$\Sigma T_{-1.20}$ [s]
2	2006.01.12	-1.257	-0.424	-1.758	1452	55406
	2005.01.07	-1.352	-0.391	-1.838	628	61563
	<b>2004.11.03</b>	<b>-1.371</b>	<b>-1.019</b>	<b>-1.847</b>	<b>0</b>	<b>82532</b>
3	2006.01.12	-1.231	-1.116	$\leq -4.000$	0	11246
	2005.01.07	-1.206	-0.978	$\leq -4.000$	0	10562
	<b>2004.11.03</b>	<b>-1.119</b>	<b>+0.005</b>	<b><math>\leq -4.000</math></b>	<b>36102</b>	<b>20857</b>
4	2006.01.12	-1.344	-1.181	$\leq -4.000$	0	8226
	2005.01.07	-1.376	-1.161	$\leq -4.000$	0	9329
	<b>2004.11.03</b>	<b>-1.390</b>	<b>-0.220</b>	<b><math>\leq -4.000</math></b>	<b>22449</b>	<b>23025</b>
5	2006.01.12	-1.341	-0.677	-1.901	262	61798
	2005.01.07	-1.727	-0.628	$\leq -4.000$	147	61368
	<b>2004.11.03</b>	<b>-1.427</b>	<b>-1.061</b>	<b>-2.107</b>	<b>0</b>	<b>84500</b>

Wartości czasów  $\Sigma T_{-0.85}$  i  $\Sigma T_{-1.20}$  z dwóch ostatnich kolumn tabl.2 przedstawiono również w formie graficznej (rys.8). Z rysunku i tablicy widać, że przed uruchomieniem SSOK, istniejące SOK 1 i SOK 2 (por. rys.1) nie zapewniały należytego zabezpieczenia rurociągu przed działaniem prądów błędnych w punktach 3 i 4, tj. przy skrzyżowaniach rurociągu z torami PKP, a jednocześnie potencjały rurociągu osiągały tam wartości nadmiernie ujemne przez ponad 3 godziny w ciągu doby. SOK 1 i SOK 2 chroniły jednak zadawalająco rurociąg w punktach 2 i 5 ( $\Sigma T_{-0.85} = 0$ ).



Rys. 8. Czas (w sekundach) występowania w ciągu doby w punktach pomiaru 2, 3, 4 i 5 w dniach 2006.01.12, 2005.01.07 i 2004.11.03 potencjałów rurociągu  $>-0.85$  V ( $\Sigma T_{-0.85}$  – słupki czarne) oraz potencjałów  $<-1.20$  V ( $\Sigma T_{-1.20}$  – słupki białe)

Po uruchomieniu obu SSOK otrzymano w punktach 3 i 4 pełną ochronę rurociągu przed korozją i jednocześnie zmniejszenie o ok. 50 % czasu  $\Sigma T_{-1.20}$  występowania potencjałów bardziej ujemnych niż -1.20 V; czas  $\Sigma T_{-1.20}$  zmniejszył się także w punktach 2 i 5, co wskazuje na duży zasięg pozytywnego oddziaływania ujemnych prądów SSOK. Ale widać także niewielkie negatywne działanie tych prądów, polegające na pojawieniu się w punkcie 5 potencjałów nieco bardziej dodatnich niż -0.85 V w ciągu 147 i 262 s w ciągu doby. Są to jednak czasy tak krótkie, a maksymalne wartości tych potencjałów (-0.628 i -0.677 V) tak niewielkie, że nie ma to praktycznie żadnego wpływu na skuteczność ochrony rurociągu. Nieco dłuższe czasy  $\Sigma T_{-0.85}$ , a mianowicie ok. 10.5 i ok. 24.2 minut w ciągu doby wyliczono z rejestracji w punkcie pomiarowym 2. Okazało się jednak, że główną przyczyną wystąpienia tych podwyższonych potencjałów w dniu 2005.01.07 była niewłaściwa wartość potencjału sterowania SSOK w punkcie 3 ( $E_p = -0.99$  V), a w dniu 2006.01.12 – nieprawidłowa praca SOK w punkcie 1.

## 6. Podsumowanie

W referacie wykazano, że specjalne stacje ochrony katodowej pozwalające ograniczać zbyt ujemne potencjały rurociągów w strefach oddziaływania prądów błędzących mogą działać skutecznie, jednak pod warunkiem bardzo starannego doboru ich parametrów wyjściowych, zwłaszcza potencjału  $E_p$  i progu prądu  $-I_p$ , oraz pod warunkiem skrupulatnego sprawdzenia wpływu tych parametrów na rozkład potencjałów rurociągu względem ziemi. Niewłaściwy dobór parametrów SSOK i brak należytej kontroli potencjałów rurociągu na całym odcinku działania SSOK może doprowadzić do powstania zagrożeń korozyjnych rury.

Stopień możliwej kompensacji potencjałów niższych niż -1.20 V przez SSOK zależy od wielu czynników, w tym od jakości powłoki rurociągu, odległości od sąsiednich SOK i od parametrów ich pracy. Stosowanie SSOK można zalecać tylko dla rurociągów z odpowiednim systemem monitorowania, umożliwiającym całodobową kontrolę i rejestrację potencjałów rurociągu w wielu punktach pomiarowych, jednoczesną rejestrację prądów stacji ochrony katodowej, a także odpowiednią obróbkę wyników tych rejestracji. Zgodnie z wymaganiami stosowanych norm [7,8], a także w oparciu o doświadczenia z wyżej opisanych badań, należy pracę SSOK oceniać na podstawie wyników badań całodobowych, a nawet badań kilkudniowych. W czasie eksploatacji konieczna jest ciągła kontrola prawidłowości pracy SSOK.

## Literatura

- [1] PN-EN 12954:2004. *Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruntach lub w wodach. Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów*
- [2] ISO 15589-1:2003(E). *Petroleum and natural gas industries – Cathodic protection of pipeline transportation systems – Part 1: On-land pipelines*. ISO 2003
- [3] NACE Standard RP0169 – 96. *Control of external corrosion on underground or submerged metallic piping systems*
- [4] Praca zbiorowa: *Ochrona elektrochemiczna przed korozją*. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1991
- [5] Husock B., Wilson R.: *Potential and hydrogen evolution on coated pipe*. Materials Performance, 1984, 9, 26-30
- [5] Dąbrowski J., Mrówka M., Suwart C.: *Specjalna stacja ochrony katodowej kompensująca oddziaływanie prądów błędzących*. Materiały z IX Krajowej Konferencji „Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej”. Zakopane, 2006.06.07-09
- [6] Dziuba W.: *Kryteria zagrożenia korozyjnego podziemnych konstrukcji metalowych wskutek oddziaływania prądów błędzących, według EN 50162*. Materiały z VIII Krajowej Konferencji „Pomiary w Ochronie Elektrochemicznej”. Jurata, 2004.06.16-17
- [7] PN-EN 50162:2004 „*Ochrona przed korozją powodowaną przez prądy błędzące z układów prądu stałego*”. Norma w przygotowaniu do wydania polskiego