

**SPECYFICZNA OCHRONA PRZED PRĄDAMI BŁĄDZĄCYMI D.C. RUROCIĄGU  
POKRYTEGO POWŁOKĄ IZOLACYJNĄ O WYSOKIM POZIOMIE  
SZCZELNOŚCI**

**SPECIFIC PROTECTION OF PIPELINE APPLIED WITH HIGH TIGHTNESS  
COATING AGAINST STRAY CURRENTS D.C.**

Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło  
Operator Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A.

Słowa kluczowe: rurociąg, powłoka izolacyjna, ochrona katodowa, rura osłonowa, prądy błędzące

Keywords: pipeline, coating, cathodic protection, casing, stray current

**Streszczenie:**

Potencjałowe obrazy oddziaływań prądów błędzących d.c. na rurociągi pokryte powłokami izolacyjnymi o wysokim poziomie szczelności są specyficzne. Mierzac potencjały załączeniowe  $E_{on}$  rurociągu wzdłuż jego trasy można dojść do wniosku, że oddziaływania prądów błędzących rozciągają się na znacznych obszarach. Tymczasem z reguły nie towarzyszy im przepływ prądu pomiędzy rurociągiem a ziemią z powodu braku nieciągłości w powłoce izolacyjnej. Mierzone wartości i charakter ich zmian zależą m.in. od wzajemnego usytuowania elektrody odniesienia i nieciągłości w powłoce izolacyjnej. Ocena oddziaływań jest trudna, a stosując klasyczną technikę korelacyjną można często wysnuć błędne wnioski o istnieniu zagrożenia korozyjnego w sytuacji, gdy w rzeczywistości ono nie występuje. Z drugiej strony w przypadku takich rurociągów pojawiają się nowe możliwości zabezpieczeń, w tym kształtowania w pewnym zakresie charakterystyk oddziaływania.

**Abstract:**

Stray d.c. current influence on pipe-to-soil potential in pipelines with high quality insulating coatings are specific. When measuring "on" potentials ( $E_{on}$ ) along the pipeline, it can be concluded that the influence of stray currents is spread over the large area. However, usually they are not accompanied by the current flow between the pipeline and the soil, because of the lack of coating defects. Measured values and the pattern of its changes depend, among others, on the distance between the reference electrode and coating defect. Interference assessment is difficult and using classic correlation technique may lead to faulty conclusions that there is a risk of corrosion, when in fact there is no such risk. From the other hand, with those pipelines, new opportunities have emerged in the area of corrosion protection, including interaction characteristics modulation.

## **Wprowadzenie**

Problemy zasygnalizowane w powyższym „streszczeniu” zostaną przedstawione na przykładzie konkretnego rurociągu.

W listopadzie 2012 r. zakończono na terenie Pomorza Gdańskiego budowę ważnego gazociągu. Gazociąg ten łączy z krajowym systemem przesyłowym budowany nad Zatoką Pucką kawernowy, podziemny magazyn gazu. W zakresie ochrony gazociągu przed korozją zastosowano wiele interesujących rozwiązań, o których autorzy donosili we wcześniejszych pracach [1, 2, 3]. W rezultacie pod względem zabezpieczenia przeciwkorozyjnego gazociąg wydaje się być chyba wyjątkowym rurociągiem, przynajmniej w krajowych warunkach.

Gazociąg o średnicy DN500, MOP 8,4 MPa i długości ok. 22,4 km ułożony jest na wzgórzach morenowych na terenie Trójmiejskiego Parku Krajobrazowego oraz na nizinnych, podmokłych terenach Pradoliny Kaszubskiej. Gazociąg ułożony jest także na terenie miasta, w terenie zurbanizowanym, w tym w pobliżu dużego centrum handlowego. Potencjalne zagrożenie korozyjne gazociągu na przeważającej części trasy jest bardzo duże – za sprawą oddziaływań prądów błędzących o charakterze anodowym w stosunku do gazociągu, oddziaływań prądu przemiennego, ułożenia gazociągu w gruntach niskooporowych oraz sprzyjających warunków do powstawania makroogniw korozyjnych, wynikających ze zróżnicowanej struktury gruntów na trasie i zróżnicowanych głębokości ułożenia gazociągu.

Pomimo dużego zagrożenia korozyjnego, uzyskano skuteczne zabezpieczenie przeciwkorozyjne. Gazociąg jest interesujący z uwagi na:

- wymagany i uzyskany poziom izolacji gazociągu,
- rozwiązania skrzyżowań z przeszkodami terenowymi,
- sposób zabezpieczenia przed intensywnymi, anodowymi w stosunku do gazociągu oddziaływaniami prądów błędzących,
- metodykę pomiarów i oceny skuteczności ochrony katodowej.

W niniejszej pracy skoncentrowano się na kwestii oddziaływań prądów błędzących d.c. oraz zabezpieczenia przed tymi prądami. Z założenia pominięto kwestię zagrożenia i zabezpieczenia przed korozją a.c. W celu wyczerpującego przedstawienia problematyki oddziaływań prądów błędzących, niezbędne jest przedstawienie szczegółowych informacji dotyczących biernej i czynnej ochrony omawianego gazociągu przed korozją.

## **Bierna ochrona przed korozją**

### *Powłoki izolacyjne*

Na odcinkach układanych w wykopach i w rurach osłonowych gazociąg został wybudowany z rur stalowych pokrytych fabrycznymi, trójwarstwowymi powłokami 3LPE klasy A3 wg EN ISO 21809-1 [4]. Połączenia spawane zabezpieczono opaskami termokurczliwymi ze zdolnością likwidacji pustych, powietrznych przestrzeni podpowłokowych.

W przypadku skrzyżowań z drogami, wykonywanych techniką bezwykopową bez stosowania rur osłonowych/prześciowych (techniką bezpośredniego przecisku rury produktowej), rury zabezpieczone są fabryczną powłoką 3LPP klasy C3 wg [4]. Połączenia spawane zabezpieczono opaskami termokurczliwymi wzmocnionymi, dedykowanymi dla techniki HDD (Dirax PP).

Łuki i pozostałe kształtki oraz podziemną armaturę (na trasie gazociągu występuje jeden układ zaporowo-upustowy) zabezpieczono powłokami poliuretanowymi klasy B wg PN-EN 10290 [5].

### Kryteria odbiorowe izolacji „po zasypaniu”

Inwestor określił następujące wymagania, które zostały zapisane w projekcie: jednostkowa rezystancja przejścia gazociągu  $r_{CO}$  nie powinna być mniejsza niż  $4,8 \times 10^7 \Omega m^2$ , a na odcinku w rejonie skrzyżowania z kolejową trakcją elektryczną (500 m przed i 500 m za skrzyżowaniem) jednostkowa rezystancja przejścia nie powinna być mniejsza niż  $10^8 \Omega m^2$ . Uzyskano następujące wyniki (dane z lutego 2013 r., po dwumiesięcznym okresie polaryzacji katodowej):

Tab. 1. Uzyskane jednostkowe rezystancje przejścia pododcinków gazociągu

L.p.	Odcinek	Długość odcinka $L$	Rezystancja przejścia $R_{CO}$	Jednostkowa rezystancja przejścia $r_{CO}$	Uwagi
	km - km	m	$\Omega$	$\Omega m^2$	
1	0,192 – 1,980	1980	$2,8 \times 10^5$	$8,0 \times 10^8$	
2	1,980 – 4,254	2274	$2,8 \times 10^4$	$1,0 \times 10^8$	
3	4,254 – 5,841	1587	$3,1 \times 10^4$	$7,8 \times 10^7$	
4	5,841 – 7,775	1934	$2,0 \times 10^5$	$6,2 \times 10^8$	
5	7,775 – 10,147	2373	$2,3 \times 10^5$	$8,8 \times 10^8$	
6	10,147 – 11,887	1740	$2,2 \times 10^5$	$6,2 \times 10^8$	
7	11,887 – 14,449	2562	$1,6 \times 10^5$	$6,6 \times 10^8$	Zawiera skrzyżowanie z trakcją elektryczną
8	14,449 – 16,681	2232	$2,8 \times 10^3$	$1,0 \times 10^7$	Zawiera jeden defekt izolacji na rurze
9	16,681 – 19,000	2319	$1,2 \times 10^5$	$4,3 \times 10^8$	
10	19,000 – 22,046	3046	$2,9 \times 10^4$	$1,4 \times 10^8$	
11	22,046 – 22,396	350	$2,5 \times 10^2$	$1,4 \times 10^5$	Zawiera ZZU i dwa defekty izolacji na rurze; ten odcinek został oddzielony monoblokiem izolującym
12	0,196 – 22,046	22046	$2,1 \times 10^3$	$7,2 \times 10^7$	Cały odcinek od km 0,196 do monobloku izolującego na km 22,046

Jak widać, na odcinkach o łącznej długości ok. 18 000 m jednostkowa rezystancja przejścia  $r_{CO} \geq 10^8 \Omega m^2$ , zatem można przyjąć, że na tych odcinkach, stanowiących ok. 80% całości, gazociąg pokryty jest powłoką izolacyjną bez defektów. Izolacja bezdefektowa występuje m.in. na odcinku zawierającym skrzyżowanie z kolejową trakcją elektryczną, co jest istotne dla sprawy zabezpieczenia gazociągu przed korozją powodowaną przez prądy błądzące upływające z torów trakcji.

Na odcinku km 14,449 – km 16,681 jednostkowa rezystancja przejścia zaledwie osiąga  $10^7 \Omega m^2$ . Na tym odcinku występuje jeden defekt w powłoce izolacyjnej. Inwestor odstąpił w tym przypadku od wymogu naprawy tego defektu przez wykonawcę z powodu trudnych warunków terenowych: ułożenia gazociągu na głębokości 4 m w terenie podmokłym, sąsiedztwa ciekłu wodnego oraz występowania obcego uzbrojenia podziemnego, w tym gazociągu polietylenowego. Jak się później okazało, ten defekt jest kluczowy w kwestii zagrożenia gazociągu przed korozyjnym oddziaływaniem prądów błądzących.

Najmniejsza jednostkowa rezystancja przejścia, na poziomie  $10^5 \Omega m^2$ , występuje na końcowym odcinku gazociągu o długości ok. 350 m. Odcinek ten zawiera zespół zaporowo – upustowy z podziemną armaturą i kształtkami, a bezpośrednio przed terenem budowanego zbiornika gazu w powłoce izolacyjnej gazociągu zlokalizowano dwa defekty. Gazociąg w tym miejscu ułożony jest w terenie podmokłym na głębokości 5 m. Na wniosek wykonawcy inwestor odstąpił od wymogu naprawienia tych dwóch defektów. Wykonawca zamontował monoblok izolujący odcinający ten odcinek od pozostałej części gazociągu oraz indywidualną, zdalnie monitorowaną ochronę katodową tego odcinka, realizowaną za pomocą magnezowych anod galwanicznych. Odizolowanie za pomocą monobloku izolującego tej części gazociągu od pozostałej również ma istotne znaczenie w kontekście oddziaływań prądów błądzących.

## Skrzyżowania gazociągu

### Przeciski rury produktowej

Zmniejszono ilość pierwotnie zaprojektowanych rur osłonowych. Skrzyżowania wykonano w tych pięciu miejscach techniką bezpośredniego przeciskania rury produktowej. Wyniki przedstawiono w Tabelicy 2:

Tab. 2. Uzyskane jednostkowe rezystancje przejścia odcinków przeciskanych pod drogami

L.p.	Lokalizacja		Długość przeciskanej rury $L$ m	Jednostkowa rezystancja przejścia $r_{CO}$ $\Omega m^2$	Izolacja: a) rury, b) połączeń spawanych
	Km trasy	PZ - PZ			
1	3,00	53-54	32	9,0E+07	a) 3LPE A3, b) Dirax
2	3,15	55-56	38	6,6E+08	a) 3LPP C3, b) Dirax PP
3	7,75	137-138	14	2,1E+09	a) 3LPP C3, b) Dirax PP
4	8,99	148-149	12	1,7E+11	a) 3LPP C3, b) Dirax PP
5	10,15	158-159	24	5,3E+08	a) 3LPP C3, b) Dirax PP

Kryterium odbiorowe powłoki izolacyjnej odcinka przeciskanego było następujące:  $r_{CO} > 10^7 \Omega m^2$ . We wszystkich pięciu przypadkach kryterium zostało spełnione, a na czterech wykonanych skrzyżowaniach z drogami powłoki izolacyjne przeciętych odcinków są wręcz bezdefektowe. Tylko w jednym przypadku konieczne było powtórzenie przecisku, gdyż podczas pierwszego powłoka izolacyjna uległa zbyt dużym uszkodzeniom.

Wykonane skrzyżowań techniką przeciskania rury produktowej w żadnej mierze nie spowodowało obniżenia poziomu izolacji rurociągu. Powłoka izolacyjna gazociągu jest powłoką o wysokim poziomie szczelności (WPS).

### Rury osłonowe

Zamontowano łącznie osiem rur osłonowych, z czego pięć wypełniono masą izolacyjną. Pozostałe trzy rury zostały sztucznie uziemione poprzez punkty pomiarów elektrycznych. Uziemienie ma na celu polepszenie możliwości dopłynięcia prądu ochrony katodowej do układu rurowego umieszczonego w rurze osłonowej – w sytuacji, gdy z czasem rura osłonowa wypełni się wodą.

Masą izolacyjną wypełniono rury osłonowe ułożone w niekorzystnych miejscach oraz w miejscach o bardzo dużym zagrożeniu korozyjnym: na skrzyżowaniu z kolejową trakcją elektryczną oraz rury ułożone w gruntach podmokłych na dużych głębokościach.

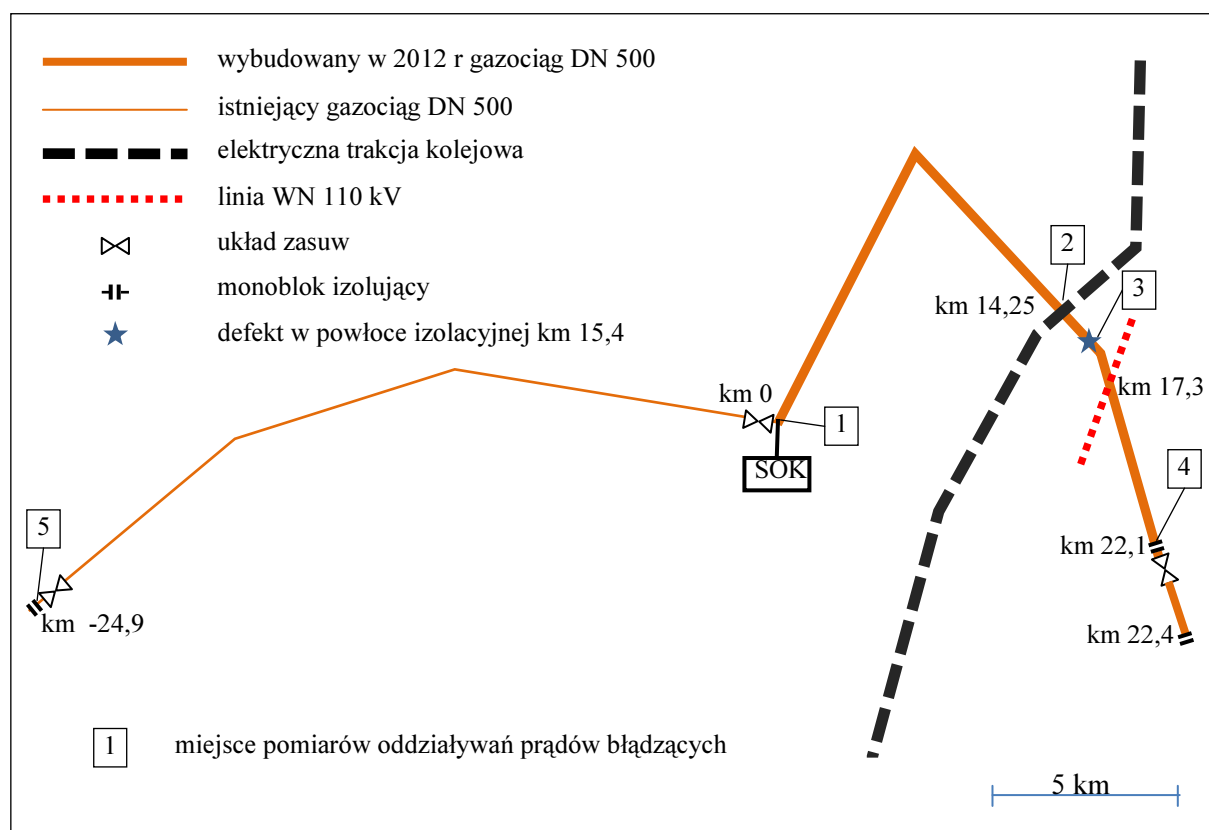
Zastosowane rozwiązania powodują, że na newralgicznych odcinkach gazociągu, ułożonych w rurach osłonowych, trudnych do kontrolowania korozji, w tym powodowanej przez prądy błędzące, będzie ona wyeliminowana.

## Ochrona katodowa

Przedstawione w tej części pracy kryteria (i metoda) oceny skuteczności ochrony katodowej mają znaczenie także w kontekście oceny skuteczności zabezpieczenia przed korozyjnymi oddziaływaniami prądów błędzących.

Gazociąg na swoim początku został połączony z istniejącym, wcześniej wybudowanym gazociągiem o długości ok. 25 km, zabezpieczonym ochroną katodową. Z uwagi na wymagany wysoki poziom izolacji, nie zaprojektowano oddzielnej ochrony katodowej gazociągu nowego – uzyskał on ochronę od gazociągu istniejącego. Natomiast zaprojektowano i wybudowano system punktów pomiarów elektrycznych.

Na końcowym etapie budowy zaistniała konieczność oddzielenia za pomocą monobloku izolującego końcowego odcinka gazociągu o długości ok. 350 m i zapewnienia indywidualnej ochrony katodowej tego odcinka – za pomocą magnezowych anod galwanicznych.



Rys. 1. Orientacyjny przebieg trasy nowo wybudowanego gazociągu

Ocena skuteczności ochrony katodowej przeprowadzana jest na podstawie potencjału załączeniowego  $E_{on}$  i natężenia pobieranego prądu polaryzacji lub rezystancji przejścia ocenianego odcinka, wg [1, 6]:

$$I_p \leq \frac{16[(E_p - E_{on}) - j_p d\rho]^2}{j_p \pi \rho^2} \quad (1)$$

$$R_{CO} \geq \frac{(E_p - E_{on})j_p \pi \rho^2}{16[(E_p - E_{on}) - j_p d \rho]^2} \quad (2)$$

gdzie:

$I_p$  – natężenie prądu polaryzacji katodowej pobieranego przez odcinek/rurociąg [A],

$R_{CO}$  – wymagana rezystancja powłoki (przejścia) odcinka/rurociągu [ $\Omega$ ],

$E_p$  – wymagany potencjał ochrony katodowej [V],

$E_{on}$  – zastosowany potencjał załączeniowy w warunkach roboczych, względem elektrody odniesienia ustawionej na ziemi odniesienia [V],

*UWAGA - W przypadku rurociągów pokrytych powłokami izolacyjnymi o wysokim poziomie szczelności pomiar potencjału  $E_{on}$  względem elektrody odniesienia ustawionej nad rurociągiem jest pomiarem względem elektrody ustawionej na ziemi odniesienia.*

$j_p$  – wymagana gęstość prądu ochrony katodowej w defekcie powłoki izolacyjnej, zapewniająca osiągnięcie potencjału EP w defekcie [A],

$d$  – grubość powłoki izolacyjnej [m],

$\rho$  – rezystywność gruntu, największa na trasie odcinka/rurociągu [ $\Omega m$ ].

Kryteria (1) i (2) można odnosić zarówno do pojedynczego defektu w powłoce izolacyjnej, jak i do odcinka rurociągu. Jeśli kryteria (1) lub (2) są spełnione, to oznacza to, iż w analizowanej nieszczelności w powłoce izolacyjnej lub w nieszczelnościach powłoki na ocenianym odcinku rurociągu, przy potencjale załączeniowym  $E_{on}$  spełnione są potencjałowe kryteria ochrony katodowej. W przypadku odcinka gazociągu defekty w izolacji są wówczas na tyle małe, że w każdym z nich spełnione jest kryterium ochrony katodowej, oczywiście przy przyjętych założeniach.

(Na ocenianym odcinku rurociągu kryteria ochrony będą wówczas spełnione w najbardziej niekorzystnej sytuacji, w której łączna odsłonięta powierzchnia stalowa rurociągu, stykająca się z elektrolitem, skoncentrowana byłaby w postaci jednego defektu o kształcie koła.)

Na podstawie zależności (1) i (2) otrzymuje się wartości liczbowe wg Tab. 3, 4 i 5:

*Tab. 3. Dopuszczalne (maksymalne) pobory prądu polaryzacji  $I_p$  przy założeniach: wymagane gęstości prądu polaryzacji  $j_p = 0,1 A/m^2$ , rezystywność gruntu  $\rho = 100 \Omega m$ , grubość powłoki antykorozyjnej  $d = 3 mm$ , dla wybranych wartości potencjału załączeniowego  $E_{on}$  i potencjałów ochrony  $E_p$*

	$E_p = -0,85 V$		$E_p = -0,95 V$	
	$E_{on} = -1,30 V$	$E_{on} = -1,50 V$	$E_{on} = -1,30 V$	$E_{on} = -1,50 V$
$I_p$ [mA]	0,9	1,96	<b>0,52</b>	<b>1,38</b>

*Tab. 4. Dopuszczalne (maksymalne) pobory prądu polaryzacji  $I_p$  przy założeniach: wymagane gęstości prądu polaryzacji  $j_p = 0,1 A/m^2$ , rezystywność gruntu  $\rho = 30 \Omega m$ , grubość powłoki antykorozyjnej  $d = 3 mm$ , dla wybranych wartości potencjału załączeniowego  $E_{on}$  i potencjałów ochrony  $E_p$*

	$E_p = -0,85 V$		$E_p = -0,95 V$	
	$E_{on} = -1,30 V$	$E_{on} = -1,50 V$	$E_{on} = -1,30 V$	$E_{on} = -1,50 V$
$I_p$ [mA]	11	23,26	<b>6,58</b>	<b>16,5</b>

Tab. 5. Dopuszczalne (minimalne) rezystancje  $R_{CO}$  gazociągu lub odcinka przy założeniach: wymagane gęstości prądu polaryzacji  $j_p = 0,1 \text{ A/m}^2$ , rezystywność gruntu  $\rho = 100 \text{ }\Omega\text{m}$ , grubość powłoki antykorozyjnej  $d = 3 \text{ mm}$ , dla wybranych wartości potencjału załączeniowego  $E_{on}$  i potencjałów ochrony  $E_p$

	$E_p = -0,85 \text{ V}$		$E_p = -0,95 \text{ V}$	
	$E_{on} = -1,30 \text{ V}$	$E_{on} = -1,50 \text{ V}$	$E_{on} = -1,30 \text{ V}$	$E_{on} = -1,50 \text{ V}$
$R_{co} [\Omega]$	500	332	<b>671</b>	<b>399</b>

Gazociąg na odcinku km 0 – monoblok izolujący km 22,046 pobiera prąd polaryzacji katodowej o natężeniu  $I_p = 0,1 \text{ mA}$  przy potencjale załączeniowym  $E_{on} = -1,3 \text{ V}$  wzgl. CSE, zatem spełnione jest kryterium (1) (patrz Tab. 3). Na każdym pododcinku spełnione jest także kryterium (2) (patrz Tab. 1 i Tab. 5).

Na wydzielonym odcinku km 22,046 – km 22,396 występują dwa defekty izolacji w gruncie o rezystywności  $\rho = 30 \text{ }\Omega\text{m}$ . Odcinek ten pobiera prąd o natężeniu  $I_p = 0,6 \text{ mA}$  przy potencjale załączeniowym  $E_{on} = -1,3 \text{ V}$  i wyłączeniowym  $E_{off} = -1,15 \text{ V}$  wzgl. CSE. Zatem spełnione jest kryterium (1) (patrz Tab. 4).

Cała sekcja sieci, składająca się z gazociągu istniejącego (wcześniej wybudowanego) i nowego, o łącznej długości ponad 47 km, która zawiera dwa układy zaporowe, przy potencjale załączeniowym  $E_{on} = -1,5 \text{ V}$  wzgl. CSE pobiera prąd o natężeniu  $I_p = 0,5 \text{ mA}$ .

Ochrona katodowa całego nowego gazociągu, jak i całej połączonej sekcji, jest zatem skuteczna w każdym defekcie powłoki izolacyjnej.

### Ochrona przed prądami błądzącymi

Na 14,25 km trasy gazociąg krzyżuje się z kolejową trakcją elektryczną. W tym miejscu na szynach występuje prawie stała strefa katodowa, co przekłada się na prawie ciągłą w czasie strefę anodowych oddziaływań prądów błądzących na wybudowany gazociąg.

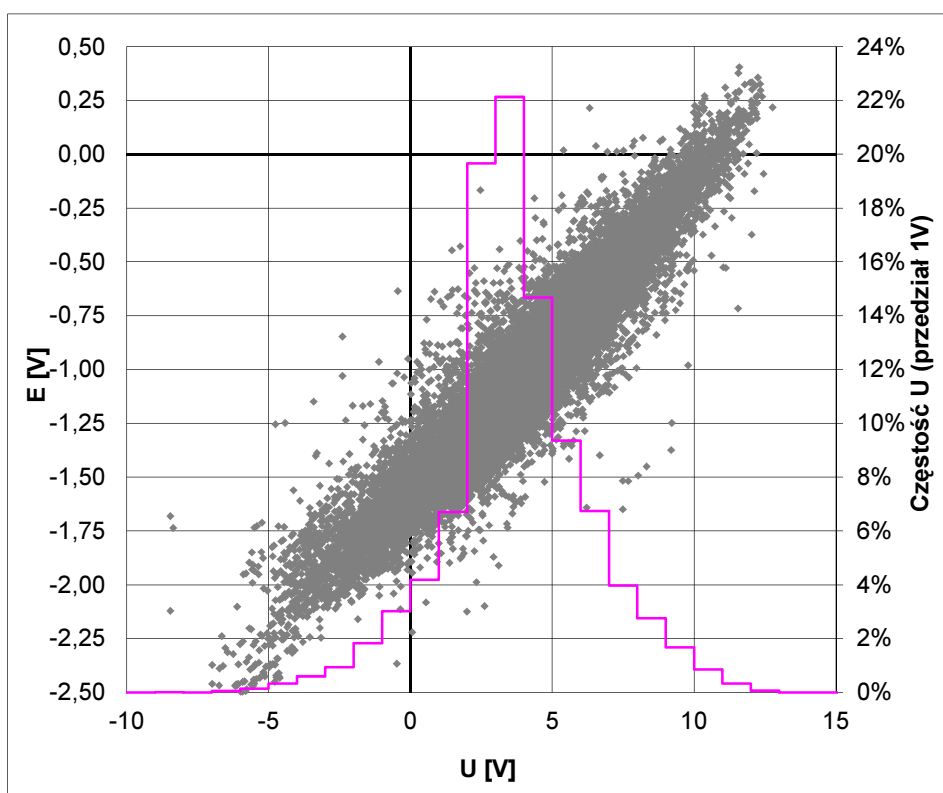
W kwestii zagrożenia prądami błądzącymi i zabezpieczenia przed korozją powodowaną przez te prądy istotne są następujące aspekty wcześniej opisane:

- wysoki poziom izolacji gazociągu, w tym bezdefektowość powłoki izolacyjnej na odcinku zawierającym skrzyżowanie z trakcją elektryczną; w związku z tym możliwe jest stosowanie uproszczonych metod oceny skuteczności ochrony katodowej oraz monitorowanie (za pomocą zdalnego monitoringu ochrony katodowej) ewentualnych ingerencji stron trzecich, naruszających powłokę izolacyjną gazociągu,
- wypełnienie masą izolacyjną rur osłonowych usytuowanych w miejscach o największym zagrożeniu korozyjnym, w tym na skrzyżowaniu z trakcją elektryczną oraz w gruntach podmokłych,
- „odcięcie elektryczne” końcowego odcinka gazociągu o długości ok. 350 m, na którym występują trudne do usunięcia defekty w powłoce izolacyjnej przewodu rurowego, armatury i kształtek, w gruncie podmokłym,
- obecność defektu w powłoce izolacyjnej usytuowanego w odległości 1,13 km za skrzyżowaniem z kolejową trakcją elektryczną, na terenie miasta, na wysokości dużego centrum handlowego.

Całodobowa rejestracja potencjału szyn przeprowadzona na etapie projektowania wg wymagań inwestora (gdy gazociąg nie istniał) wykazała, że w tym miejscu ten potencjał jest prawie nieprzerwanie ujemny w stosunku do ziemi (przez łączny czas stanowiący 93% okresu całodobowej rejestracji potencjał szyn jest znacząco bardziej ujemny niż swobodny potencjał korozyjny stali), zatem występuje bardzo duże potencjalne zagrożenie korozyjne. Ten wynik jest oczywisty z tej racji, że w pobliżu usytuowany jest punkt powrotny trakcji elektrycznej.

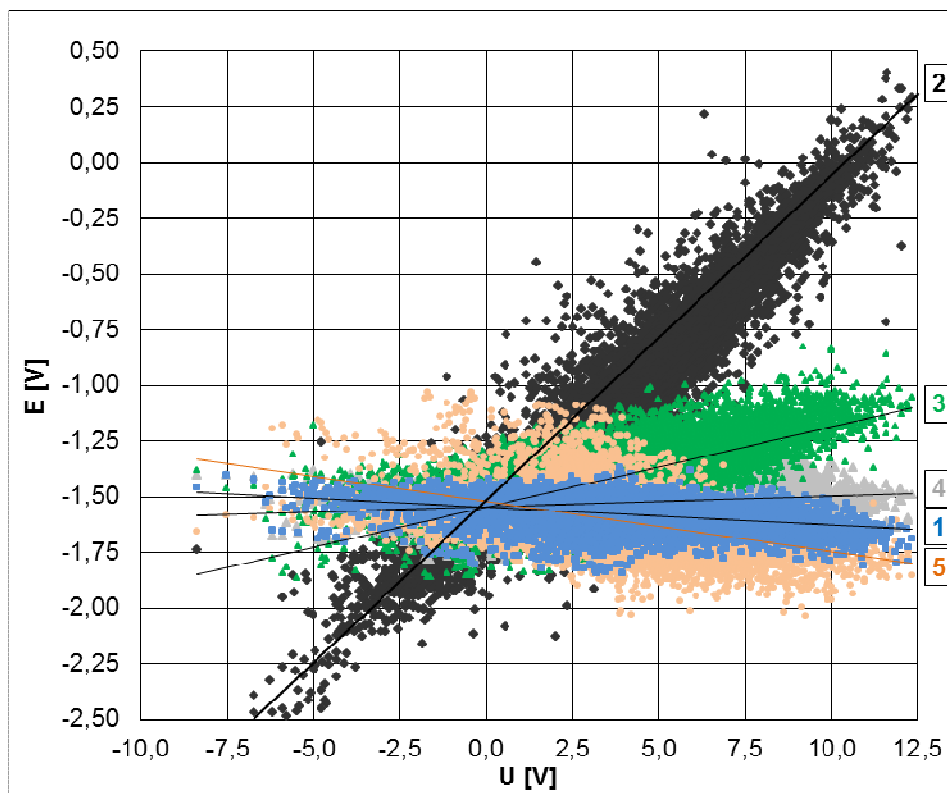
W rezultacie inwestor podjął decyzję, że rurę osłonową, w której miał być ułożony gazociąg na skrzyżowaniu z torami, należy wypełnić masą izolacyjną.

Zagrożenie korozyjne ustalone (w wyniku pryncypialnego stanowiska inwestora) na etapie projektowania potwierdziło się po wybudowaniu gazociągu. Współczynnik czasowy asymetrii zmian potencjału wybudowanego gazociągu na skrzyżowaniu z trakcją wynosi aż 0,93 (rys. nr 2), a mierzone „potencjały” załączeniowe przyjmują nawet wartości dodatnie, powyżej 0,25 V wzgl. CSE. W miejscu tym występuje zatem potencjalnie bardzo duże zagrożenie korozją powodowaną przez prądy błędzące. Na rys. 2 przedstawiono wykres korelacyjny dotyczący skrzyżowania gazociągu z torami (dla sytuacji polaryzacji katodowej gazociągu przy potencjale załączeniowym  $E_{on} \approx -1,5$  V), a na rys. 3 – wykresy korelacyjne zmian potencjału na trasie gazociągu.



Rys. 2. Wykres korelacyjny: napięcie ziemia bliska – szyny  $U$ , potencjał załączeniowy gazociągu  $E_{on}$  w miejscu skrzyżowania z trakcją kolejową na km 14,25; czas rejestracji 24 godz.





Rys. 3. Wykres korelacyjny obrazujący zależność potencjału załączeniowego gazociągu  $E_{on}$  w różnych miejscach trasy gazociągu (wg rys. nr 1) od napięcia ziemia bliska – szyny  $U$  w miejscu skrzyżowania z trakcją kolejową na km 14,25; czas rejestracji 24 godz.

Ochrona katodowa prowadzona przy potencjale załączeniowym  $E_{on} \approx -1,5$  V wzgl. CSE oczywiście nie jest w stanie skompensować tak silnych oddziaływań prądów błędzących (w rejonie skrzyżowania). Miejsce skrzyżowania jest klasycznym, akademickim przykładem miejsca właściwego do zamontowania drenażu polaryzowanego. Jednakże drenaż polaryzowany prawdopodobnie nie zostanie zamontowany, gdyż rurociąg jest skutecznie zabezpieczony przed oddziaływaniami prądów błędzących – za pomocą szczelnej, bezdefektowej powłoki izolacyjnej.

Na odcinkach o długościach ok. 8 km przed skrzyżowaniem oraz 1,13 km za skrzyżowaniem nie występują defekty w powłoce izolacyjnej. Z kolei rura osłonowa, w której ułożony jest gazociąg na skrzyżowaniu, została wypełniona masą izolacyjną. Najbliższy defekt izolacji występuje na 15,39 km trasy, w odległości ok. 1,13 km za skrzyżowaniem. W miejscu występowania tego kluczowego defektu oddziaływania prądów błędzących są „słabsze” i ochrona katodowa gazociągu prowadzona przy potencjale  $E_{on} \approx -1,5$  V wzgl. CSE zadowalająco kompensuje te oddziaływania (rys. 3, wykres 3). Wówczas w tym miejscu potencjał załączeniowy  $E_{on}$  bardziej dodatni niż  $-1,05$  V występuje w ciągu zaledwie ok. 2% całodobowego okresu obserwacji, a jego średnia wartość wynosi  $-1,41$  V.

(Ten defekt izolacji występuje w gruncie o rezystywności  $\rho \approx 43 \Omega m$ . Jeśli założyć się najbardziej niekorzystną sytuację, iż za pobór całego prądu polaryzacji nowego gazociągu odpowiedzialny jest ten jeden defekt, to na podst. zal. (1) skuteczną ochronę katodową w tym defekcie uzyska się przy potencjale załączeniowym  $E_{on} \leq -1,025$  V.)

Tzw. „potencjały” załączeniowe mierzone w rejonie skrzyżowania gazociągu z torami zawierają bardzo dużą składową (IR), jednakże dominująca część tej składowej pochodzi od przepływowego pola elektrycznego występującego w ziemi wokół torowiska, a nie od prądu ochrony katodowej.

Także potencjały  $E_{on}$  mierzone na trasie rurociągu zawierają istotną składową (IR), której wielkość zależy m.in. od odległości pomiędzy miejscem usytuowania elektrody odniesienia, względem której mierzony jest potencjał, a miejscem, w którym występuje nieciągłość w powłoce izolacyjnej, oraz od odległości od traktacji elektrycznej.

Charakterystyka oddziaływań prądów błądzących na rurociąg pokryty powłoką WPS zależy od rozmieszczenia i wielkości poszczególnych defektów w powłoce izolacyjnej.

Przykład omawianego gazociągu pokazuje, że w przypadku rurociągów pokrytych powłokami izolacyjnymi WPS ocenę zagrożenia prądami błądzącymi wykonywaną metodą korelacyjną [7] należy w zasadzie traktować jako ocenę wstępną. Ocena rzeczywistego zagrożenia powinna być wykonywana odpowiednią metodą po ustaleniu występowania i lokalizacji defektów w powłoce izolacyjnej na potencjalnie zagrożonych odcinkach.

### **Kształtowanie charakterystyki oddziaływań prądów błądzących na rurociąg poprzez odpowiednie uziemianie**

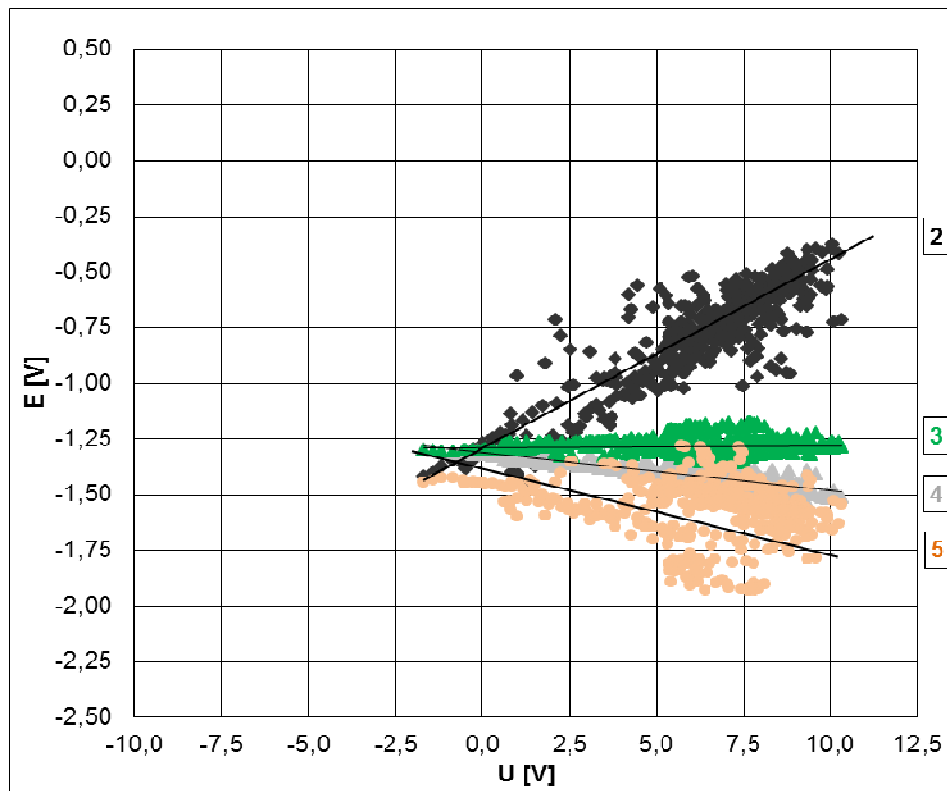
W pewnym ograniczonym zakresie można ukształtować charakterystykę oddziaływań prądów błądzących na rurociąg w powłoce WPS, stosując w odpowiednich miejscach uziemienia poprzez dobrane rezystancje.

Uziemiając poprzez rezystancję rurociąg przy skrzyżowaniu z traktacją (gdzie przeważają anodowe oddziaływania prądów błądzących na rurociąg) można osiągnąć efekt podobny do efektu działania drenażu prostego z rezystancją w obwodzie. Jeśli dodatkowo w obwodzie umieści się przyrząd półprzewodnikowy – uzyska się efekt jak w przypadku drenażu polaryzowanego.

Zmiana charakterystyki oddziaływań na skrzyżowaniu nie jest istotna (potrzebna), gdyż w tym rejonie powłoka izolacyjna rurociągu jest bezdefektowa. Pożądane może być czasami odpowiednie ukształtowanie (poprawienie) charakterystyki w miejscach występowania defektów w powłoce izolacyjnej rurociągu.

Aby zachować, pomimo doziemienia, zalety systemu ochrony rurociągu pokrytego powłoką WPS, rezystancje w obwodach uziemień powinny być rzędu kiloomów.

Na rysunku 4 przedstawiono wykres korelacyjny zmian potencjałów  $E_{on}$  na trasie omawianego gazociągu w sytuacji celowego doziemienia w rejonie występowania kluczowego defektu izolacji na wysokości centrum handlowego. W wyniku tego zabiegu potencjał gazociągu stał się co prawda mniej elektroujemny, ale jednocześnie w rejonie tego defektu amplituda zmian  $E_{on}$  uległa zmniejszeniu, potencjał w tym kluczowym miejscu ustabilizował się (porównaj wykresy 3 na rys. 3 i 4).



Rys. 4. Charakterystyka oddziaływań prądów błędzących na gazociąg w różnych miejscach trasy (wg rys. nr 1) po celowym doziemieniu gazociągu w miejscu nr 3 (na wys. centrum handlowego).

Wykres korelacyjny potencjał załączeniowy gazociągu  $E_{on}$  - napięcie ziemia bliska – szyny  $U$  w miejscu skrzyżowania z trakcją kolejową na km 14,25; rejestracja krótkookresowa.

## Wnioski

1. Jeśli w przypadku rurociągu pokrytego powłoką o wysokim poziomie szczelności wstępna ocena zagrożenia prądami błędzącymi d.c. wykonana „klasyczną” techniką korelacyjną prowadzi do wniosku, iż potencjalne zagrożenie występuje, celowe jest ustalenie istnienia i położenia nieciągłości w powłoce izolacyjnej i przeprowadzenie oceny odpowiednią metodą dla miejsc, w których te nieciągłości występują.
2. Jednym z pozytywnych efektów stosowania na wybranych odcinkach rurociągu bezdefektowych powłok izolacyjnych jest eliminacja zagrożenia tych odcinków korozją powodowaną przez prądy błędzące (i przed korozją a.c., jak też przed każdym innym rodzajem korozji ziemnej).
3. Rury osłonowe, których nie uda się wyeliminować, ułożone w niekorzystnych miejscach i w miejscach o dużym zagrożeniu korozyjnym, w tym na skrzyżowaniach z trakcją elektryczną, korzystnie jest wypełnić masą izolacyjną, aby uzyskać efekt typu „zamontuj i zapomnij”.
4. Wykonywanie skrzyżowań gazociągów z przeszkodami terenowymi bez stosowania rur osłonowych, techniką przeciskania rury produktowej, jest realną technologią, sprawdzoną już w praktyce.

## Literatura

1. M. Fiedorowicz, M. Jagiełło, Ochrona przed Korozją, **44**, 12 (2001) 329, **45**, 2 (2002) 35.
2. M. Fiedorowicz, M. Jagiełło, Ochrona przed Korozją **52**, 8 (2009) 323.
3. M. Fiedorowicz, Gaz, Woda i Technika Sanitarna 4 (2010) 2, 6 (2010) 2.
4. PN-EN ISO 21809-1 Przemysł naftowy i gazowniczy – Powłoki zewnętrzne rurociągów podziemnych i podmorskich stosowanych w rurociągowych systemach transportowych – Część 1: Powłoki poliolefinowe (3 - warstwowe PE i 3 - warstwowe PP).
5. PN-EN 10290 Rury stalowe i łączniki na rurociągi przybrzeżne i morskie - Powłoki zewnętrzne z poliuretanu lub poliuretanu modyfikowanego nanoszone w stanie ciekłym.
6. ST-IGG-0602: 2009 Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych - Ochrona katodowa - Projektowanie, budowa i użytkowanie.
7. W. Sokólski, Ochrona przed Korozją, **40**, 5 (1997) 126.