



**OCHRONA KATODOWA PODZIEMNYCH RUROCIĄGÓW  
POKRYTYCH POWŁOKAMI IZOLACYJNYMI O WYSOKIM  
POZIOMIE SZCZELNOŚCI – PARAMETRY ELEKTRYCZNE  
I ASPEKTY EKONOMICZNE**

**CATHODIC PROTECTION OF UNDERGROUND PIPELINES  
COVERED WITH INSULATING COATINGS OF HIGH QUALITY  
TIGHTNESS: ELECTRICAL PARAMETERS  
AND ECONOMIC ASPECTS**

Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło

Operator Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A

Słowa kluczowe: ochrona katodowa, powłoka izolacyjna, koszty ochrony katodowej  
Keywords: cathodic protection, insulating coating, costs of cathodic protection

**Streszczenie**

W pracy autorzy przedstawili wyliczenie i porównanie wybranych, istotnych kosztów ochrony katodowej przykładowego rurociągu pokrytego powłoką izolacyjną o wysokim poziomie szczelności i rurociągu pokrytego powłoką izolacyjną gorszej jakości. Przeprowadzono także analizę porównawczą parametrów elektrycznych ochrony katodowej takich rurociągów.

**Summary**

In this work the authors have presented calculation and comparison of some selected and crucial costs of cathodic protection for an exemplary pipeline covered with insulating coating of high quality tightness and for a pipeline covered with insulating coating of lower quality. There has also been done a comparative analysis of electrical parameters and cathodic protection parameters of such pipelines.

## 1. Wprowadzenie

Kwestia systemów ochrony przeciwkorozyjnej rurociągów, opartych na powłokach izolacyjnych o wysokim poziomie szczelności i ochronie katodowej, była na łamach OpK omawiana kilkakrotnie. Szczegółowo tę problematykę omówiono w [1]. W pracy tej przedstawiono zalety i wady stosowania takich systemów. Zalety zdecydowanie przeważają nad ewentualnymi niedogodnościami. Korzyści ze stosowania takich powłok w systemach ochrony przeciwkorozyjnej podziemnych rurociągów są wymierne i niewymierne:

- małe gęstości prądu ochrony katodowej (odnoszone do powierzchni bocznej rurociągu) oraz duże zasięgi działania poszczególnych źródeł polaryzacji katodowej, co powoduje zmniejszenie mocy i ilości tych źródeł i stwarza możliwość stosowania tanich stacji anod galwanicznych zamiast stacji ochrony katodowej z zewnętrznymi źródłami prądu;
- praktycznie stały (jeśli nie występują oddziaływania prądów błędzących i innych obcych pól elektrycznych) potencjał załączeniowy ochrony katodowej wzdłuż trasy rurociągu; możliwość prowadzenia ochrony katodowej przy łagodnych potencjałach załączeniowych i niedopuszczanie tym samym do głębokiej polaryzacji katodowej rurociągu w defektach powłoki izolacyjnej;
- uproszczenie metod oceny skuteczności ochrony katodowej; ocenę tę można prowadzić na podstawie pomiarów potencjału załączeniowego w jednym lub kilku punktach pomiarowych, kosztowne pomiary intensywne są zbędne;
- ułatwienie zdalnego monitoringu ochrony katodowej, w tym możliwość monitorowania tych ingerencji stron trzecich, podczas których naruszana jest powłoka izolacyjna;
- brak oddziaływań ochrony katodowej rurociągów w takich powłokach na obce metalowe konstrukcje podziemne;
- zwiększenie skuteczności ochrony przed korozją;
- istotne zmniejszenie kosztów inwestycyjnych i użytkowania ochrony katodowej.

W niniejszym referacie skupiono się na aspektach ekonomicznych dotyczących ochrony katodowej. Przeprowadzono analizę porównawczą wybranych kosztów dla dwóch przykładowych rurociągów o tej samej średnicy i długości, jednakże pokrytych powłokami o różnej jakości:

- rurociąg A, długości  $L=210$  km, średnicy zewnętrznej  $Dz=0,711$  m, grubości ścianki  $d=0,011$  m, pokryty powłoką izolacyjną o wysokim poziomie szczelności (WPS), charakteryzującą się jednostkową, powierzchniową rezystancją przejścia  $r_{CO}=4,6 \times 10^7 \Omega m^2$ ,
- rurociąg B, długości  $L=210$  km, średnicy zewnętrznej  $Dz=0,711$  m, grubości ścianki  $d=0,011$  m, pokryty powłoką izolacyjną gorszej jakości, charakteryzującą się jednostkową, powierzchniową rezystancją przejścia  $r_{CO}=10^5 \Omega m^2$ .

Przeprowadzono także analizę parametrów elektrycznych ochrony katodowej takich rurociągów.

Zakłada się, że obydwie rurociągi są elektrycznie wydzielone za pomocą złączy izolujących zamontowanych na początku i na końcu oraz, że mniej więcej w połowie długości występują złącza izolujące związane z obiektem słuz (nadawczych i odbiorczych) tłoka pomia-

rowego. Przyjmuje się dla uproszczenia, że grubość ścianki rur jest jednakowa na całej długości rurociągu, dla obydwóch rozpatrywanych przykładów.

Przed przystąpieniem do obliczeń i porównań kosztów niezbędne jest określenie parametrów elektrycznych rurociągów oraz parametrów ochrony katodowej, w tym niezbędnej ilości stacji ochrony katodowej.

## 2. Parametry rurociągów i ochrony katodowej

Używany w tekście zwrot „wydzielony” oznacza rurociąg odizolowany (za pomocą np. złączy izolujących) od innych rurociągów i obiektów technologicznych. W rozważaniach stosuje się następujące wielkości i ich oznaczenia (skrót):

$D_z$	średnica zewnętrzna; $D_z=0,711$ m;
$d$	grubość ścianki rurociągu; $d=0,011$ m;
$L$	długość wydzielonego rurociągu; $L=210000$ m;
$S$	powierzchnia boczna wydzielonego rurociągu o długości $L$ i średnicy $D_z$ ; $S=469071,2$ m <sup>2</sup> ;
$r_{rl}$	jednostkowa rezystancja wzdłużna rurociągu; $r_{rl}=7,538 \times 10^{-6}$ $\Omega$ /m dla przyjętej rezystywności stali $\rho=1,78 \times 10^{-7}$ $\Omega$ m;
$R_L$	rezystancja wzdłużna całego wydzielonego rurociągu o długości $L$ ; $R_L=1,583$ $\Omega$ ;
$r_{CO}$	jednostkowa powierzchniowa rezystancja przejścia (powłoki); wynosi $4,6 \times 10^7$ $\Omega$ m <sup>2</sup> dla rurociągu A oraz $10^5$ $\Omega$ m <sup>2</sup> dla rurociągu B;
$r_{COL}$	jednostkowa liniowa rezystancja przejścia (powłoki) [ $\Omega$ m];
$\alpha$	stała rozptywu, stała tłumienia [1/m];
$L_\infty$	długość charakterystyczna rurociągu, [m];
$Z_\infty$	rezystancja wejścia rurociągu długiego (niewydzielonego), lub rezystancja charakterystyczna – gdy stacja katodowa przyłączona jest na początku takiego rurociągu [ $\Omega$ ];
$Z_{CO}$	rezystancja wejścia rurociągu liczona jako iloraz jednostkowej powierzchniowej rezystancji przejścia (powłoki) $r_{CO}$ i powierzchni bocznej $S$ wydzielonego rurociągu [ $\Omega$ ];
$Z_L$	rezystancja wejścia rurociągu wydzielonego o długości $L$ , gdy stacja katodowa jest przyłączona na jednym z jego końców [ $\Omega$ ];
$Z_{0,5L}$	rezystancja wejścia rurociągu wydzielonego o długości $L$ , gdy stacja katodowa jest przyłączona w połowie długości [ $\Omega$ ];
$U_0$	składowa omowa ( $IR$ ) potencjału załączeniowego w punkcie przyłączenia stacji ochrony katodowej [V];
$U_m$	wymagana (co najmniej) minimalna składowa omowa ( $IR$ ) potencjału załączeniowego, w dowolnym punkcie rurociągu, w tym na jego końcu [V];
$U_L$	składowa omowa ( $IR$ ) potencjału załączeniowego występująca na końcu wydzielonego rurociągu (na złączu izolującym), gdy SOK przyłączona jest na początku rurociągu, [V];
$U_{\text{sr}}$	średnia składowa omowa ( $IR$ ) potencjału załączeniowego na trasie wydzielonego rurociągu o długości $L$ [V];
$I_0$	obliczeniowe natężenie prądu polaryzacji wydzielonego rurociągu, drenowanego w punkcie drenażu SOK, gdy w punkcie tym występuje składowa omowa $U_0$ potencjału załączeniowego, a SOK jest przyłączona na jednym z końców wydzielonego rurociągu o dług. $L$ [A];

- $I_{0,5L}$  obliczeniowe natężenie prądu polaryzacji wydzielonego rurowościu, drenowanego w punkcie drenażu SOK, gdy w punkcie tym występuje składowa omowa  $U_0$  potencjału załączeniowego, a SOK jest przyłączona w połowie długości wydzielonego rurowościu o dług.  $L$ , [A];
- $I_{CO}$  obliczeniowe natężenie prądu polaryzacji rurowościu obliczane jako iloczyn obliczeniowej gęstości prądu polaryzacji i powierzchni bocznej  $S$  wydzielonego rurowościu [A];
- $L_m$  długość odcinka wydzielonego rurowościu, liczona od punktu drenażu SOK, w którym występuje składowa omowa  $U_0$ , do punktu na końcu tego rurowościu (na złączu izolującym), w którym ma występować składowa omowa co najmniej  $U_m$  [V];
- $\Delta U$  spadek napięcia w wydzielonym rurowościu o dług.  $L$ , gdy SOK przyłączona jest na początku rurowościu, a w punkcie drenażu występuje składowa omowa potencjału załączeniowego  $U_0$  [V];
- $\Delta U_{0,5L}$  spadek napięcia w wydzielonym rurowościu o dług.  $L$ , pomiędzy punktem przyłączenia SOK a końcem rurowościu, gdy SOK przyłączona jest w połowie długości, a w punkcie drenażu występuje składowa omowa potencjału załączeniowego  $U_0$  [V];
- $\Delta U_{IR}$  spadek napięcia w wydzielonym rurowościu obliczany jako iloczyn średniego natężenia prądu płynącego w rurowościu i rezystancji rurowościu  $R_L$  [V].

Obliczenia poszczególnych wielkości przeprowadzono wg zależności:

Rezystancja wzdłużna  $R_L$  całego wydzielonego rurowościu o długości  $L$ :

$$R_L = r_{rL} \times L \quad (1)$$

Jednostkowa liniowa rezystancja przejścia (powłoki)  $r_{COL}$ :

$$r_{COL} = \frac{r_{CO}}{\pi D_z} \quad (2)$$

Stała rozplywu, stała tłumienia,  $\alpha$ :

$$\alpha = \sqrt{\frac{r_{rL}}{r_{COL}}} \quad (3)$$

Długość charakterystyczna rurowościu  $L_\infty$ :

$$L_\infty = \frac{1}{\alpha} \quad (4)$$

Rezystancja wejścia  $Z_\infty$  rurowościu długiego (niewydzielonego), lub rezystancja charakterystyczna - gdy stacja katodowa przyłączona jest na początku takiego rurowościu:

$$Z_\infty = \sqrt{r_{rL} \times r_{COL}} \quad (5)$$

Rezystancja wejścia  $Z_{CO}$  rurowościu wydzielonego (zależność uproszczona):

$$Z_{CO} = \frac{r_{CO}}{S} \quad (6)$$

Rezystancja wejścia  $Z_L$  rurociągu wydzielonego o długości  $L$ , gdy stacja katodowa jest przyłączona na jednym z końców rurociągu:

$$Z_L = Z_\infty \times ctgh \alpha L \quad (7)$$

Rezystancja wejścia rurociągu wydzielonego o długości  $L$ , gdy stacja katodowa jest przyłączona w połowie długości,  $Z_{0,5L}$ :

$$Z_{0,5L} = \frac{ctgh \frac{\alpha L}{2}}{2} \quad (8)$$

Składowa omowa  $U_L$  potencjału załączeniowego występująca na końcu wydzielonego rurociągu (na złączu izolującym) o długości  $L$ , gdy SOK przyłączona jest na początku rurociągu:

$$U_L = \frac{U_0}{\cosh \alpha L} \quad (9)$$

Obliczeniowe natężenie prądu polaryzacji  $I_0$  wydzielonego rurociągu, drenowanego w punkcie drenażu SOK, gdy w punkcie tym występuje składowa omowa  $U_0$  potencjału załączeniowego, a SOK jest przyłączona na jednym z końców wydzielonego rurociągu o długości  $L$ :

$$I_0 = \frac{U_0}{Z_L} \quad (10)$$

Obliczeniowe natężenie prądu polaryzacji  $I_{0,5L}$  wydzielonego rurociągu, drenowanego w punkcie drenażu SOK, gdy w punkcie tym występuje składowa omowa  $U_0$  potencjału załączeniowego, a SOK jest przyłączona w połowie długości wydzielonego rurociągu o długości  $L$ :

$$I_{0,5L} = \frac{U_0}{Z_{0,5L}} \quad (11)$$

Obliczeniowe natężenie prądu polaryzacji rurociągu  $I_{CO}$  obliczane jako iloczyn obliczeniowej gęstości prądu polaryzacji i powierzchni bocznej  $S$  wydzielonego rurociągu:

$$I_{CO} = \frac{U_{sr} \times S}{r_{CO}} \quad (12)$$

Długość  $L_m$  odcinka wydzielonego rurociągu, liczona od punktu drenażu SOK, w którym występuje składowa omowa  $U_0$ , do punktu na końcu tego rurociągu (na złączu izolującym), w którym ma występować składowa  $U_m$ :

$$L_m = \frac{1}{\alpha} \arccos h \frac{U_0}{U_m} \quad (13)$$

Spadek napięcia  $\Delta U$  w wydzielonym rurociągu o długości  $L$ , gdy SOK przyłączona jest na początku rurociągu:

$$\Delta U = U_0 - U_L \quad (14)$$

Spadek napięcia  $\Delta U_{0,5L}$  w wydzielonym rurociągu o długości  $L$ , pomiędzy punktem przyłączenia SOK a końcem rurociągu (na złączu izolującym), gdy SOK przyłączona jest w połowie długości:

$$\Delta U_{0,5L} = U_0 - \frac{U_0}{\cosh \frac{\alpha L}{2}} \quad (15)$$

Spadek napięcia  $\Delta U_{IR}$  w wydzielonym rurociągu obliczany jako iloczyn średniego natężenia prądu płynącego w rurociągu i rezystancji rurociągu  $R_L$  (zależność uproszczona):

$$\Delta U_{IR} = \frac{I_0 \times R_L}{2} \quad (16)$$

W tablicy 1 zestawiono parametry rurociągów i wyniki obliczeń.

Tab. 1. Porównanie parametrów elektrycznych i parametrów ochrony katodowej rurociągów A i B

Lp.	Parametr/Wielkość	Rurociąg A w powłoce WPS	Rurociąg B w powłoce gorszej jakości	Zależność oblicz.
1	$D_z$ [m]	0,711	0,711	
2	$d$ [m]	0,011	0,011	
3	$L$ [m]	210 000	210 000	
4	$S$ [m <sup>2</sup> ]	469 071,2	46 9 071,2	
5	$r_H$ [ $\Omega$ /m]	$7,538 \times 10^{-6}$	$7,538 \times 10^{-6}$	
6	$R_L$ [ $\Omega$ ]	1,583	1,583	(1)
7	$r_{CO}$ [ $\Omega$ m <sup>2</sup> ]	$4,6 \times 10^7$	$10^5$	
8	$r_{COL}$ [ $\Omega$ m]	$2,0593 \times 10^7$	44 769,3	(2)
9	$\alpha$ [1/m]	$5,9775 \times 10^{-7}$	$1,282 \times 10^{-3}$	(3)
10	$L_\infty$ [m]	1 672 940	78 003	(4)
11	$Z_\infty$ [ $\Omega$ ]	12,3	0,57394	(5)
12	$Z_{CO}$ [ $\Omega$ ]	98,066	0,213	(6)
13	$Z_L$ [ $\Omega$ ]	98,4987	0,5792	(7)
14	$Z_{0,5L}$ [ $\Omega$ ]		0,323	(8)
15	$U_0$ [V]	0,35	0,45	
16	$U_m$ [V]	~ 0,35	0,35	
17	$U_{sr}$ [V]	~ 0,35	0,4	
18	$U_L$ [V]	0,34726	0,061	(9)
19	$I_0$ [A]	0,00355	0,77689	(10)
20	$I_{0,5L}$ [A]		1,3917	(11)
21	$I_{CO}$ [A]	0,003569	1,8763	(12)
22	$L_m$ [m]		57 664	(13)
23	$\Delta U$ [V]	0,00274	0,389	(14)
24	$\Delta U_{0,5L}$ [V]		0,243	(15)
25	$\Delta U_{IR}$ [V]	0,00281		(16)

W przypadku rurociągu A przyjmuje się, że skuteczną ochronę katodową uzyska się przy takim potencjale załączeniowym mierzonym względem elektrody ustawionej na ziemi odniesienia, w którym składowa omowa stanowi ok. 350 mV. Długość charakterystyczna rurociągu A (1672,94 km) jest wielokrotnie większa od jego rzeczywistej długości (210 km). Skutkiem tego w obliczeniach dopuszczalne jest stosowanie uproszczonych zależności liniowych. Spadek napięcia  $\Delta U$  (2,74 mV) w rurociągu obliczony wg zal. (14) jest w przybliżeniu równy spadkowi obliczonemu wg uproszczonej zal. (16).  $U_0 \approx U_m \approx U_L \approx U_{sr}$ . Również rezystancje wejścia obliczane wg zal (7) oraz (6) są podobne. Natężenia prądu polaryzacji katodowej (ok.

3,56 mA) wyznaczone wg zal. (10) i (12) są łądząco zbliżone. Jedna stacja katodowa, przyłączona do ruociągu na jednym z jego końców lub w innym dowolnym punkcie, zapewni skuteczną ochronę katodową całego ruociągu o długości 210 km, prądem polaryzacji o natężeniu zaledwie ok. 3,6 mA. Spadek napięcia w ruociągu, spowodowany przepływem prądu polaryzacji katodowej, wyniesie ok. 2,74 mV; potencjały załączeniowe w punkcie drenażu SOK (przyłączonej na początku ruociągu)  $U_0$  i na jego drugim końcu  $U_L$  są w przybliżeniu jednakowe – występuje prawie ekwipotencjalny rozkład potencjału załączeniowego na całym ruociągu o długości 210 km.

W przypadku ruociągu B, z uwagi na zdecydowanie niższy poziom izolacji, przyjmuje się, że ochronę katodową uzyska się przy takim średnim potencjale załączeniowym mierzonym względem elektrody ustawionej na ziemi odniesienia, w którym średnia składowa omowa  $U_{sr}$  wynosi ok. 400 mV. Zakłada się, że maksymalna dopuszczalna składowa omowa potencjału załączeniowego na trasie ruociągu (w punkcie drenażu SOK) wyniesie 450 mV, a minimalna (na końcu ruociągu) 350 mV. Zatem dopuszczalny spadek napięcia w ruociągu określono na 100 mV. Niezbędne natężenie prądu polaryzacji, obliczone na podst. zal. (12), wynosi 1876,3 mA. Jeśli SOK przyłączona będzie do ruociągu na jednym z jego końców i spowoduje ona, iż w punkcie drenażu osiągnięty zostanie potencjał załączeniowy z założoną, maksymalną składową omową 450 mV, to w tej sytuacji natężenie prądu polaryzacji wyniesie 776,89 mA, a więc będzie ono zbyt małe, aby zapewnić ochronę katodową całego ruociągu. Jeśli SOK byłaby przyłączona do ruociągu w połowie jego długości, to będzie w stanie wymusić prąd polaryzacji o natężeniu 1391,7 mA, także zbyt małym. Zasięg skutecznego działania pojedynczej SOK wynosi 57,664 km w przypadku przyłączenia na końcu ruociągu. Zasięg ten będzie dwukrotnie większy w przypadku przyłączenia SOK na trasie ruociągu, pomiędzy końcami, lecz nadal będzie to zasięg niewystarczający, gdyż długość ruociągu wynosi 210 km. W celu uzyskania skutecznej ochrony katodowej ruociągu B niezbędne jest zastosowanie co najmniej dwóch SOK.

Długość charakterystyczna  $L_{so}$  ruociągu B (78 km) jest kilkakrotnie mniejsza od jego rzeczywistej długości (210 km). Zatem w zasadzie ruociąg B jest linią długą, pomimo wydzielenia. Skutkiem tego stosowanie uproszczonych zależności (spadek napięcia w ruociągu, rezystancja wejścia) w obliczeniach parametrów elektrycznych ruociągu i ochrony katodowej jest niedopuszczalne.

Z powodu zasadniczych różnic w poziomie izolacji porównywanych ruociągów duża różnica wymaganych natężeń prądów polaryzacji tych ruociągów nie dziwi. Jednakże porównanie tych natężeń (ok. 3,6 mA w przypadku ruociągu A oraz 1876 mA w przypadku ruociągu B) mimo wszystko jest zaskakujące.

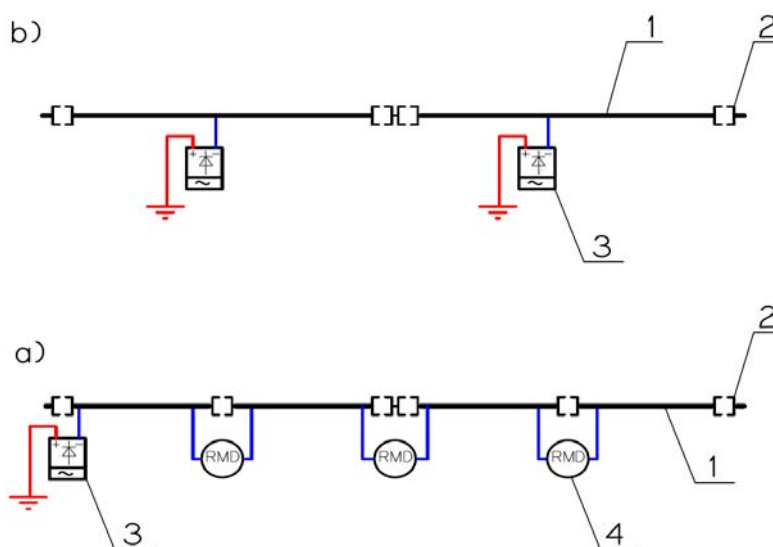
### 3. Koszty

Przyjmuje się, że różnice w poziomach izolacji porównywanych ruociągów nie powodują różnic w kosztach budowy części technologicznych tych ruociągów. Obecnie standardem jest budowanie ruociągów stalowych z rur pokrytych fabrycznymi powłokami 3LPE lub 3LPP. Warto zaznaczyć, iż w przypadku gazociągów krajowe prawo [2, 3] od 1995 r. wymaga, aby przed zasypaniem nowo budowanego gazociągu stalowego wykonywać badania szczelności powłoki izolacyjnej. Zatem, teoretycznie, powłoki izolacyjne po zasypaniu powinny być całkowicie bezdefektowe, a przynajmniej powinny to być powłoki o wysokim poziomie szczelności – bez dodatkowych zabiegów. Dodatkowo prawo wymaga, aby w projektach gazociągów określać kryteria odbiorowe powłoki izolacyjnej „po zasypaniu” oraz

przeprowadzać badania sprawdzające, czy po zasypaniu te kryteria są spełnione. W przypadku niespełnienia kryterium wykonawca winien zlokalizować i usunąć przyczyny tego stanu. Zatem uzyskanie po zasypaniu rurociągu powłoki WPS jest wynikiem przestrzegania podstawowych, znanych zasad prac izolacyjnych i kultury technicznej przy układaniu rurociągu oraz zastosowania przez inwestora odpowiedniej procedury odbiorowej. Z kolei nieuzyskanie takiej powłoki jest rezultatem niedbalstwa wykonawcy i inwestora.

Do analizy kosztów przyjęto, oprócz kosztów budowy SOK, koszty użytkowania w pięćdziesięcioletnim okresie. Nie uwzględniano jednakże wszystkich możliwych kosztów, a jedynie te, które w sposób istotny różnią się w przypadku porównywanych rurociągów. Zatem nie uwzględniono np. kosztów budowy systemów punktów pomiarów elektrycznych, a także tych czynności eksploatacyjnych, które są w obydwóch przypadkach takie same.

Ochronę katodową rurociągu A realizuje jedna stacja ochrony katodowej przyłączona do rurociągu na jednym z jego końców (rys. 1a). Przyjmuje się, że zostały zastosowane dwa dodatkowe liniowe monobloki izolujące, które razem z monoblokami obiektu śluz (zamontowanymi mniej więcej w połowie długości rurociągu) dzielą rurociąg na cztery sekcje. Monobloki te są celowo zwarte w punktach pomiarów elektrycznych i stosowany jest zdalny monitoring ochrony – zdalne pomiary potencjałów oraz natężeń prądów w obwodach bocznikujących monobloki izolujące. Skutkiem tego możliwe jest na podstawie tych zdalnych pomiarów wyznaczanie natężeń prądów polaryzacji pobieranych przez poszczególne (cztery) sekcje. W rezultacie osiągnięty jest zdalny monitoring ochrony umożliwiający ocenę skuteczności ochrony wg zasad podanych w [4, 5], na podstawie potencjału załączeniowego i natężenia pobieranego prądu polaryzacji katodowej. Pomiary intensywne w przypadku rurociągu A są zbędne. Zakłada się także, że stan wysokiej szczelności powłoki izolacyjnej rurociągu A jest w okresie użytkowania utrzymywany, tzn. że są wykonywane badania lokalizujące defekty oraz naprawy izolacji, jeśli zajdzie taka potrzeba. Przyjęto, że raz w roku przeprowadzany jest przegląd SOK.



Rys. 1. Układy elektryczne rozpatrywanych rurociągów: a) rurociąg A w powłóce o wysokim poziomie szczelności, b) rurociąg B w powłóce gorszej jakości; 1 – rurociąg, 2 – monoblok izolujący, 3 – stacja ochrony katodowej zdalnie monitorowana, 4 – zdalny monitoring natężenia prądu i potencjału



Ochrona katodowa rurociągu B realizowana jest za pomocą dwóch stacji ochrony katodowej, a każda z tych stacji „emituje” prąd polaryzacji o natężeniu ok. 0,9 A (rys. 1b)). Przyjmuje się, że dodatkowe monobloki izolujące nie zostały zastosowane. Zakłada się, że stacje katodowe są zdalnie monitorowane i poza rocznym przeglądem okresowe, planowe kontrole SOK nie są wykonywane. Ponieważ powłoka izolacyjna nie jest powłoką WPS, niezbędne jest okresowe wykonywanie pomiarów intensywnych w celu sprawdzania, czy ochrona katodowa rurociągu jest skuteczna.

W tablicy 2 zestawiono wybrane koszty ochrony obydwóch gazociągów. Koszty podano w PLN. Poniższe kalkulacje pokazują, że w okresie pięćdziesięcioletnim koszty ochrony przeciwkorozyjnej rurociągu A pokrytego powłoką WPS będą większe o ok. 1 200 000 zł od kosztów ochrony rurociągu B pokrytego powłoką gorszej jakości. Przy tym funkcjonalność systemu ochrony przeciwkorozyjnej rurociągu A jest zdecydowanie większa.

Główne przyczyny większych kosztów w przypadku rurociągu B to: koszty budowy SOK z powodu większej ilości i większej mocy, koszty eksploatacji SOK oraz konieczność wykonywania kosztownych pomiarów intensywnych w celu sprawdzania, czy ochrona katodowa w defektach powłoki izolacyjnej jest skuteczna.

Tab. 2. Porównanie kosztów ochrony katodowej rurociągu A w powłoce o wysokim poziomie szczelności i rurociągu B w powłoce gorszej jakości.

Składni kosztów	Rurociąg A w powłoce WPS	Rurociąg B w powłoce gorszej jakości	Uwagi
Budowa SOK	100000	260000	
Montaż dodatkowych monobloków izolujących i układów monitorowania natężenia prądu	140000		
Badania eksploatacyjne dodatkowych monobloków izolujących	50000		1)
Naprawy zabezpieczeń przepięciowych dodatkowych monobloków izolujących	30000		2)
Roczne przeglądy SOK	100000	200000	
Naprawy SOK	30000	60000	
Naprawy układów monitorowania natężenia prądu	20000		
Lokalizacje uszkodzeń izolacji	60000		3)
Naprawy zlokalizowanych uszkodzeń izolacji	35000		4)
Pomiary intensywne		1260000	5)
Zużycie energii elektrycznej przez SOK		11000	6)
Razem	565000	1791000	
Koszt/rok x km	53,8	170,6	

- 1) Założono badania co 2 lata. Koszt obliczono wg formuły:  $2 \times 25 \times 1000$  zł.
- 2) Założono uszkodzenie zabezpieczenia przepięciowego raz na dziesięć lat. Koszt obliczono wg formuły:  $2 \times 5 \times 3000$  zł.
- 3) Założono potrzebę takich badań raz na 10 lat. Koszt obliczono wg formuły:  $5 \times 12000$  zł.
- 4) Założono naprawę zlokalizowanego uszkodzenia izolacji raz na dziesięć lat. Koszt obliczono wg formuły  $5 \times 7000$  zł.
- 5) Założono trzykrotne wykonywanie pomiarów intensywnych w pięćdziesięcioletnim okresie. Koszt obliczono wg formuły:  $3 \times 210 \text{ km} \times 2000 \text{ zł/km}$ .
- 6) Uwzględniono jedynie koszt energii. Obliczono wg formuły:  $15714 \text{ kWh} \times 0,7 \text{ zł/kWh}$ .

## 8. Podsumowanie

1. W przypadku rurociągów pokrytych powłokami izolacyjnymi o wysokim poziomie szczelności, o długościach wielokrotnie mniejszych od długości charakterystycznych, dopuszczalne jest stosowanie w obliczeniach parametrów rurociągów i parametrów ochrony katodowej (spadek napięcia w rurociągu, rezystancja wejścia, natężenie prądu pobieranego przez rurociąg, zasięg działania SOK) zależności uproszczonych.
2. W wyniku zastosowania powłok izolacyjnych o wysokim poziomie szczelności można znacząco zmniejszyć koszty budowy i użytkowania ochrony katodowej, zwiększyć skuteczność i ułatwić ochronę przeciwnikorozyjną, w tym zdalny monitoring ochrony katodowej.
3. Warunkiem uzyskania powłok izolacyjnych o wysokim poziomie szczelności jest nie tylko zastosowanie odpowiednich materiałów izolacyjnych, ale także wymuszenie odpowiedniej jakości prac izolacyjnych i zastosowanie odpowiedniej procedury odbioru prac izolacyjnych.
4. W przypadku nowo budowanych gazociągów obowiązujące prawo nakazuje wykonywanie badań szczelności powłok przed zasypaniem gazociągu, a po zasypaniu – pomiarów w celu potwierdzenia jakości powłoki, np. pomiarów jednostkowej rezystancji przejścia.
5. Jeśli rurociągi pokryte są powłokami izolacyjnymi o wysokim poziomie szczelności, to aktywna rola zabezpieczająca ochrony katodowej jest znacznie ograniczona, pełni ona funkcję monitorowania stanu powłoki izolacyjnej.

## Literatura

- [1] Fiedorowicz M., Jagiełło M., „Ochrona przed Korozją” 2009, 52, 8, s. 323.
- [2] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30 lipca 2001 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe (Dz. U. nr 97, poz. 1055).
- [3] Rozporządzenie Ministra Przemysłu i Handlu z dnia 14 listopada 1995 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe (Dz. U. nr 139, poz. 686).
- [4] ST-IGG-0602:2009 Ochrona przed korozją stalowych gazociągów lądowych – Ochrona katodowa – Projektowanie, budowa i użytkowanie.
- [5] Fiedorowicz M., Jagiełło M., „Ochrona przed Korozją” 2001, 44, 12, s. 329.