

**WYBRANE PRZYKŁADY Z PRAKTYKI POMIAROWEJ
OCHRONY KATODOWEJ**

**SOME EXAMPLES FROM THE PRACTICE OF MEASURING
THE CATHODIC PROTECTION**

Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło

Operator Gazociągów Przesyłowych
GAZ-SYSTEM S.A. Oddział w Gdańsku

Słowa kluczowe: korozja, ochrona katodowa, oddziaływanie ochrony katodowej, rurociąg, rura osłonowa, monoblok izolujący

Keywords: cathodic protection, cathodic protection influence, pipeline, casing, monoblock isolation joint

Streszczenie

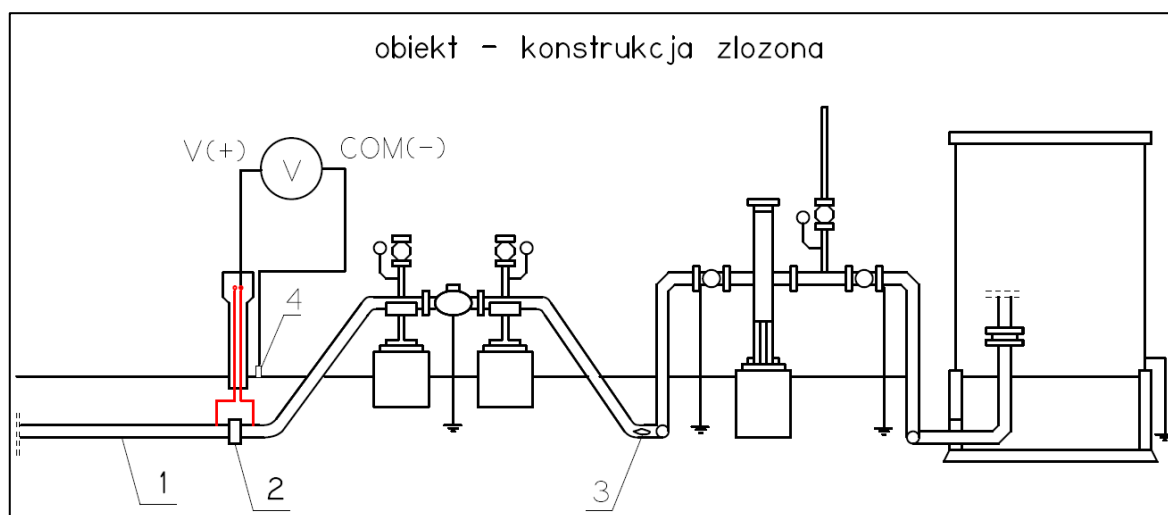
W artykule przedstawiono dwa przykłady z praktyki pomiarowej ochrony katodowej rurociągów, dotyczące interferencji i rur osłonowych. Na bazie tych przykładów wykazano, że bezrefleksyjna ocena oddziaływań ochrony katodowej może prowadzić do błędnych wniosków.

Abstract

The paper shows two cases of pipelines cathodic protection measurement practice, interference and casings. It is shown that assessment of cathodic protection influence is vital to avoid wrong conclusions.

1. W ocenach oddziaływania ochrony katodowej chronionej konstrukcji na sąsiednie metalowe konstrukcje powinien być brany pod uwagę ewentualny wpływ sąsiednich przepływowych pól elektrycznych w ziemi, wywoływanych przez przepływ prądu ochrony katodowej chronionej konstrukcji

Ekipa pomiarowa wykonywała standardowe pomiary ochrony katodowej gazociągu metodą wyłączeniową, a w tym dokonała pomiaru oddziaływania ochrony katodowej gazociągu na uzbrojenie stacji gazowej, zasilanej poprzez ten gazociąg (rys. 1, 2). Mimo iż gazociąg jest elektrycznie oddzielony od stacji gazowej za pomocą monobloku izolującego, stwierdzono, że załączenie ochrony katodowej (zewnętrznego) gazociągu zasilającego „przesuwa” potencjał metalowego podziemnego uzbrojenia stacji w kierunku wartości elektroujemnych. Stacja gazowa (wraz z monoblokiem izolującym) jest obiektem nowym, zatem uszkodzenie monobloku wydawało się być mało prawdopodobne. Sytuacja była powodem wykonania dodatkowych pomiarów i stała się przedmiotem dociekań mających na celu wyjaśnienie przyczyn zaobserwowanych zmian potencjału stacji gazowej pod wpływem ochrony katodowej zewnętrznego gazociągu.



Rys. 1. Pomiar potencjału uzbrojenia stacji gazowej za monoblokiem izolującym;
1 – zewnętrzny gazociąg zasilający stację gazową, zabezpieczony ochroną katodową,
2 – monoblok izolujący, 3 – defekt w powłoce izolacyjnej, 4 – elektroda odniesienia CSE
Fig. 1. Measurement of potential of natural gas station, after monoblock isolation joint;
1 – cathodically protected external supply pipeline of the gas station, 2 – monoblock isolation joint,
3 – coating defect, 4 – CSE reference electrode

Podziemne uzbrojenie stacji gazowej nie jest zabezpieczone ochroną katodową, natomiast zewnętrzny gazociąg zasilający jest polaryzowany katodowo prądem z zewnętrznego źródła. Stacja ochrony katodowej gazociągu usytuowana jest w odległości ok. pięciu kilometrów od stacji gazowej i anodowy stożek potencjałowy w żaden sposób nie oddziałuje na uzbrojenie stacji.

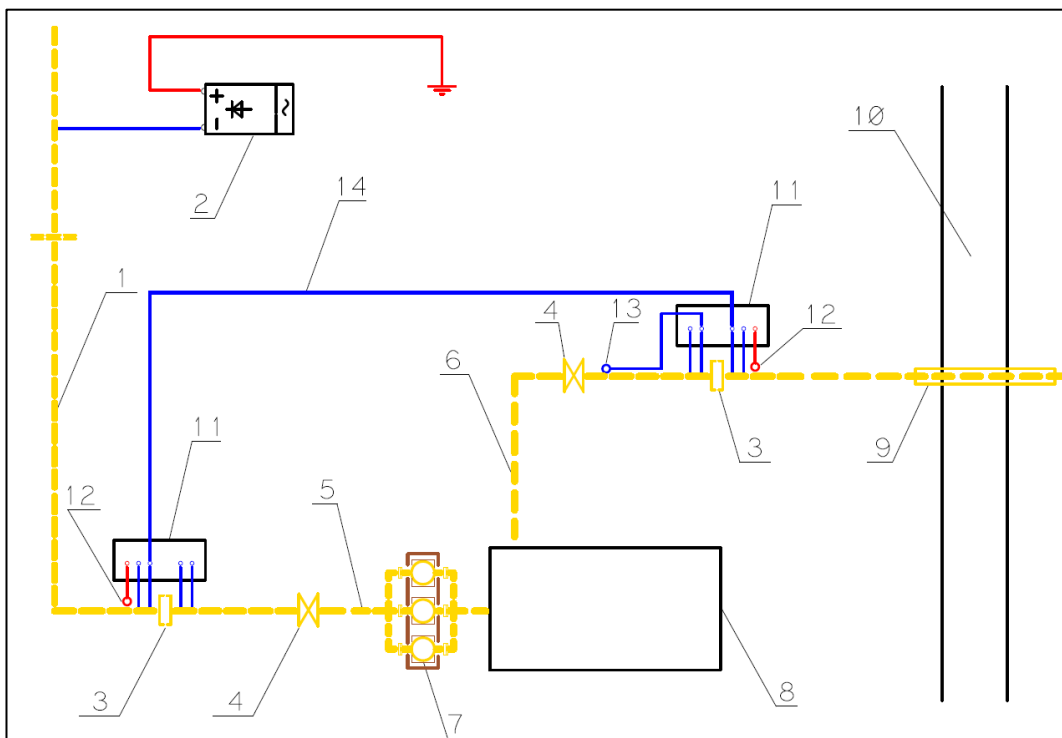
Stacja gazowa jest elektrycznie odizolowana od gazociągu zasilającego i od gazociągu wyjściowego za pomocą monobloków izolujących. Pomiędzy punktami pomiarów elektrycznych związanych z monoblokiem izolującym „na wejściu” i z monoblokiem „na wyjściu” ułożona jest linia kablowa bocznikująca, umożliwiająca „przeniesienie” ochrony katodowej z gazociągu zasilającego na gazociąg wyjściowy. Na gazociągu wyjściowym, bezpośrednio za stacją gazową, zabudowana jest stalowa rura osłonowa, która jest zwarta z przewodem gazowym. Przy rurociągu wyjściowym zamontowany jest rezystancyjny czujnik

korozymetryczny o powierzchni 1 cm^2 służący do monitorowania szybkości korozji podziemnego uzbrojenia stacji. Układ przedstawiono na rys. 2.

Jednostkowa rezystancja przejścia rurociągu wejściowego stacji, o długości kilkunastu metrów, ułożonego pomiędzy monoblokiem izolującym „na wejściu” a kontenerem stacji, $r_{co} \approx 1,3 \times 10^5 \Omega \text{m}^2$ - zatem w powłoce izolacyjnej tego rurociągu występuje jakaś niewielka nieszczelność.

Jednostkowa rezystancja przejścia rurociągu wyjściowego stacji, o długości kilkunastu metrów, ułożonego pomiędzy kontenerem stacji a monoblokiem izolującym „na wyjściu” $r_{co} \approx 1,6 \times 10^8 \Omega \text{m}^2$ - zatem powłoka izolacyjna tego rurociągu jest szczelna.

Gazociąg zasilający pokryty jest powłoką izolacyjną słabej jakości, w której występują liczne nieszczelności.



Rys. 2. Schemat układu; 1 – gazociąg zasilający, 2 – stacja ochrony katodowej gazociągu zasilającego, 3 – monobloki izolujące, 4 – zawory (kurki), 5 – rurociąg wejściowy, 6 – rurociąg wyjściowy, 7 – filtrseparator, 8 – kontener pomiarowy stacji gazowej, 9 – rura osłonowa zwarta z gazociągiem wyjściowym, 10 – droga publiczna, 11 – punkty pomiarów elektrycznych, 12 – stałe elektrody odniesienia CSE, 13 – czujnik korozymetryczny, 14 – kabel obejściowy

Fig. 2. Schematic layout; 1 – supply pipeline, 2 – cathodic protection station of the supply pipeline, 3 – monoblock isolation joints, 4 – valves (spigots), 5 – incoming pipeline, 6 – outgoing pipeline, 7 – filter/separator, 8 – metering container of the gas station, 9 – galvanically connected casing/pipeline, 10 – road, 11 – electric test stations, 12 – permanent CSE reference electrodes, 13 – corrosion rate sensor, 14 – by-pass link

W tabelicy 1 przedstawiono wyniki pomiarów dla dwóch stanów: przy załączonym i przy odłączonym kablu obejściowym stacji.

Pomiary zmian potencjałów wykonywano w warunkach odłączonego uziomu odgromowego od układu technologicznego stacji, natomiast pomiary natężeń prądu płynącego pomiędzy czujnikiem korozymetrycznym a rurociągiem wyjściowym wykonywano w sytuacji, gdy uziom odgromowy był przyłączony.

Tablica 1. Zmiany mierzonych wielkości pod wpływem załączania/wyłączania ochrony katodowej gazociągu zasilającego

Table 1. Magnitudes changing by supply pipeline cathodic protection ON/OFF

Wielkość		Kabel obejściowy	
		załączony	odłączony
Potencjał gazociągu zasilającego (przed monoblokiem wejściowym) załączeniowy/wyłączeniowy <i>Potential of the supply pipeline (before monoblock isolation joint)</i>	E_{on}/E_{off} [V]	-2,00/-1,00	-2,55/-1,07
Potencjał rurociągu wejściowego stacji (za monoblokiem wejściowym) przy załączonej/wyłączonej ochronie katodowej gazociągu zasilającego <i>Potential of the incoming pipeline of the station (after entrance monoblock isolation joint), supply pipeline cathodic protection ON/OFF</i>	E_{c+}/E_{c-} [V]	-0,695/-0,685	-0,644/-0,685
Potencjał rurociągu wyjściowego stacji (przed monoblokiem wyjściowym) przy załączonej/wyłączonej ochronie katodowej gazociągu zasilającego <i>Potential of the outgoing pipeline of the station (before entrance monoblock isolation joint), supply pipeline cathodic protection ON/OFF</i>	E_{c+}/E_{c-} [V]	-0,502/-0,673	-0,686/-0,671
Prąd przepływający pomiędzy czujnikiem korozymetrycznym a rurociągiem wyjściowym przy załączonej i wyłączonej ochronie katodowej gazociągu zasilającego <i>Current between corrosion rate sensor and the outgoing pipeline, supply pipeline cathodic protection ON/OFF</i>	I_{x+}/I_{x-} [μ A]	1,76/2,33	2,22/2,19

Przy włączonym kablu obejściowym stacji załączenie ochrony katodowej gazociągu zasilającego powoduje:

- przesunięcie mierzonego potencjału orurowania stacji za monoblokiem izolującym „na wejściu” o ok. 10 mV w kierunku elektroujemnym,
- przesunięcie mierzonego potencjału orurowania stacji przed monoblokiem izolującym „na wyjściu” o ok. 171 mV w kierunku elektrododatnim,
- zmniejszenie natężenia prądu wpływającego z ziemi do czujnika korozymetrycznego (przyłączonego do rurociągu wyjściowego) o ok. 0,57 μ A.

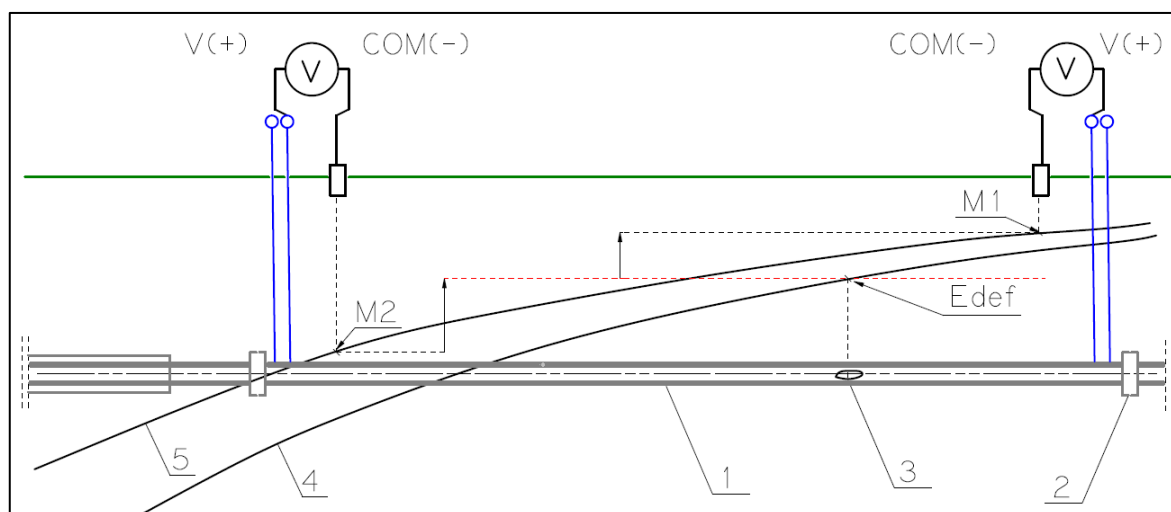
Przyczyną ww. zmian jest oddziaływanie katodowego stożka potencjałowego („leja”), związanego z rurą osłonową za stacją gazową, powstającego po załączeniu ochrony katodowej gazociągu zasilającego, a tym samym – gazociągu wyjściowego zawierającego tę rurę osłonową. Poprzez przyłączony kabel obejściowy ochrona katodowa gazociągu zasilającego przenosi się w gazociąg wyjściowy. Ochronie katodowej podlega wówczas także zewnętrzna powierzchnia rury osłonowej, która to rura, pokryta powłoką izolacyjną o niskiej jakości, jest zwarta z gazociągiem wyjściowym. Prąd polaryzacji katodowej wpływający z ziemi do rury osłonowej wytwarza w ziemi elektryczne pole przepływowe – duży „leja” potencjałowy, który obejmuje swym zasięgiem podziemne uzbrojenie stacji gazowej.

Miejsca położone bliżej rury osłonowej charakteryzują się bardziej ujemnym potencjałem elektrycznym, niż miejsca bardziej oddalone.

Na rys. 3 przedstawiono m.in. rozkład potencjału elektrycznego ziemi na głębokości ułożenia rurociągu (krzywa 4) oraz na powierzchni ziemi (krzywa 5). Podziemny rurociąg ułożony pomiędzy monoblokami izolującymi uzyska na całej swojej długości potencjał elektryczny Edef wynikający z kontaktu w jednym występującym defekcie izolacji z ziemią

o określonym potencjale w tym miejscu. Ten potencjał elektryczny jest bardziej ujemny, niż potencjał M1 na powierzchni ziemi przy monobloku „na wejściu” w miejscu ustawienia elektrody odniesienia, a mniej ujemny niż potencjał M2 na powierzchni ziemi przy monobloku „na wyjściu” w miejscu ustawienia elektrody odniesienia (rys. 3). W rezultacie, po załączeniu ochrony katodowej gazociągu zasilającego (a tym samym, przy włączonym kablu obejściowym – ochrony katodowej gazociągu wyjściowego), mierzony potencjał orurowania stacji gazowej, rozumiany jako napięcie elektryczne pomiędzy orurowaniem a elektrodą odniesienia, przesunie się w kierunku elektrododatnim w rejonie monobloku „na wejściu” i w kierunku elektrododatnim w rejonie monobloku „na wyjściu”. Opisane zmiany mierzonych potencjałów mają miejsce przy pełnej sprawności monobloków izolujących i nie są związane z polaryzacją elektrochemiczną podziemnego orurowania stacji.

Gdy kabel obejściowy jest włączony, wypadkowy prąd elektryczny płynący pomiędzy czujnikiem korozymetrycznym a ziemią jest prądem wpływającym z ziemi do czujnika. Jest to wynikiem oddziaływania uziomu odgromowego wykonanego ze stali ocynkowanej, który to uziom można traktować jako rozległą, cynkową anodę galwaniczną przyłączoną do orurowania stacji. Jednakże załączenie ochrony katodowej gazociągów zewnętrznych powoduje w tej sytuacji zmniejszenie natężenia tego prądu, zatem powoduje pojawienie się składowej prądu wypływającej z czujnika do ziemi, która jest mniejsza, niż składowa wpływająca. Pojawienie się składowej prądu wypływającej z czujnika do ziemi jest wynikiem działania katodowego „leja” potencjału w ziemi, związanego z rurą osłonową. W wyniku działania tego pola elektrycznego w ziemi, do defektu izolacji rurociągu wejściowego oraz do części uziomu odgromowego bardziej oddalonych od tej rury wpływa prąd z ziemi, natomiast wypływa do ziemi (a następnie wpływa do rury osłonowej) z czujnika korozymetrycznego oraz z części uziomu odgromowego położonych bliżej tej rury.



Rys. 3. Oddziaływanie potencjałowego „leja” na rurociąg stacji gazowej; 1 – rurociąg stacji gazowej, 2 – monoblok izolujący, 3 – defekt w powłoce izolacyjnej rurociągu, 4 – rozkład potencjału elektrycznego ziemi na głębokości ułożenia rurociągu, 5 – rozkład potencjału elektrycznego na powierzchni ziemi

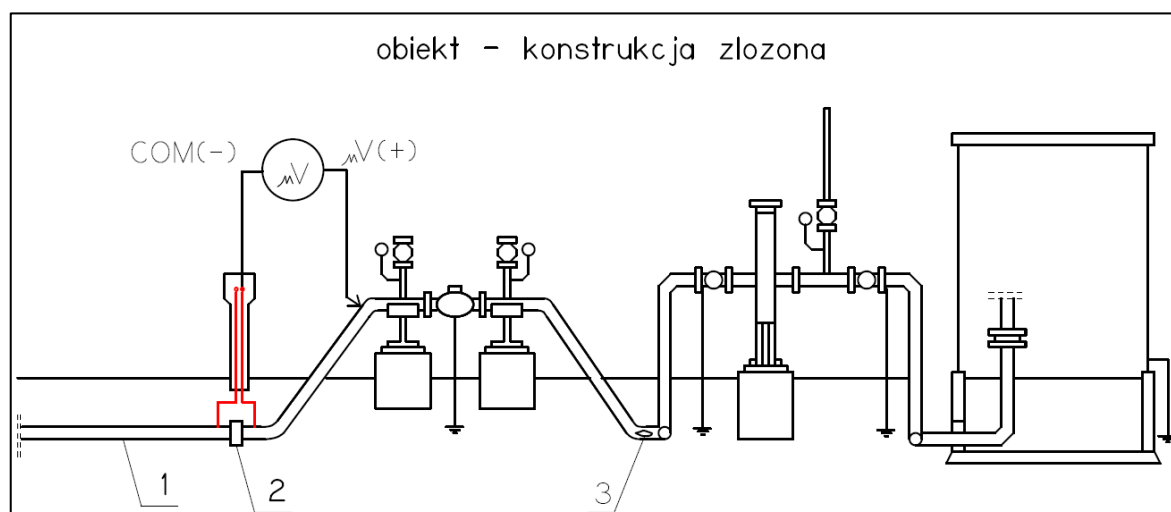
Fig. 3. Potential 'funnel curve' and its influence on the gas station internal pipeline; 1 – gas station internal pipeline, 2 – monoblock isolation joint, 3 – pipeline coating defect, 4 – spread of potential in earth at the pipeline depth, 5 – spread of potential in earth at the ground surface

Przy odłączonym kablu obejściowym stacji załączenie ochrony katodowej gazociągu zasilającego powoduje:

- przesunięcie mierzonego potencjału orurowania stacji za monoblokiem izolującym „na wejściu” o ok. 41 mV w kierunku elektrododatnim,
- przesunięcie mierzonego potencjału orurowania stacji przed monoblokiem izolującym „na wyjściu” o ok. 15 mV w kierunku elektroujemnym,
- zwiększenie natężenia prądu wpływającego z ziemi do czujnika korozymetrycznego (przyłączonego do rurociągu wyjściowego) o ok. 0,03 μA .

Zatem przy odłączonym kablu obejściowym zmiany są „słabsze” i następują w przeciwnych kierunkach, niż przy kablu włączonym. Z oczywistych powodów nie działa wówczas katodowy „lej” potencjału w ziemi, związany z rurą osłonową. Oddziałuje natomiast katodowa „bruzda”/„lej” potencjału związany z gazociągiem zasilającym, pokrytym powłoką izolacyjną słabej jakości (zdecydowanie nieuszczelną). To przepływowe pole elektryczne, wywołane przez przepływ prądu ochrony katodowej pomiędzy ziemią a gazociągiem zasilającym, mimo iż jest słabsze, obejmuje swym zasięgiem część uzbrojenia stacji gazowej. W rezultacie występują opisane zmiany mierzonych wielkości, a „mechanizm” ich powstawania jest taki sam, jak w przypadku oddziaływania pola przepływowego związanego z rurą osłonową (przy załączonym kablu obejściowym).

W omówionym przykładzie monobloki izolujące, w tym monoblok „na wejściu”, są sprawne, a zmiana mierzonego potencjału rurociągu wejściowego (za monoblokiem) w kierunku elektroujemnym, po załączeniu ochrony katodowej gazociągu zewnętrznego, przy przyłączonym kablu obejściowym, jest wynikiem powstania w ziemi katodowego „leja” potencjału, związanego z rurą osłonową – a nie wadliwego działania monobloku. Sprawność monobloku została ostatecznie potwierdzona poprzez pomiar spadku napięcia w orurowaniu tak, jak to przedstawiono na rys. 4. Załączenie ochrony katodowej gazociągu zasilającego nie powoduje powstania jakiegokolwiek spadku napięcia w orurowaniu, nawet na poziomie setnych mikrowolta, zatem poprzez monoblok prąd nie przepływa – jest on sprawny.



Rys. 4. Potwierdzenie sprawności monobloku poprzez pomiar spadku napięcia w orurowaniu; 1 – gazociąg zasilający zabezpieczony ochroną katodową, 2 – monoblok izolujący, 3 – defekt w powłoce izolacyjnej rurociągu wejściowego

Fig. 4. Quality of the monoblock isolation joint confirmed by piping voltage drop test; 1 – cathodically protected supply pipeline of the gas station, 2 – monoblock isolation joint, 3 – incoming pipeline coating defect

2. W ocenach zmian potencjału rury osłonowej pod wpływem ochrony katodowej rurociągu powinno się uwzględniać wiele aspektów

W badaniach odizolowania rur osłonowych od rurociągów, na których są zamontowane, wykonuje się między innymi pomiary zmian potencjału rury osłonowej pod wpływem załączania/wyłączania ochrony katodowej rurociągu. Kierunek i wielkość tych zmian zależą od wielu czynników, m.in. od:

- obecności/braku defektów w zewnętrznej powłoce izolacyjnej rury osłonowej,
- obecności/braku defektów w zewnętrznej powłoce izolacyjnej odcinka rurociągu ułożonego wewnątrz rury osłonowej,
- stosunku rezystancji przejścia zewnętrznej powierzchni rury osłonowej względem ziemi do rezystancji przejścia odcinka rurociągu ułożonego w tej rurze,
- obecności/braku wody lub innego elektrolitu wewnątrz rury osłonowej,
- występowania/braku zwarcia pomiędzy rurą osłonową a rurociągiem,
- obecności/braku w pobliżu, w ziemi, przepływowch pól elektrycznych obejmujących rurę osłonową, takich jak stożki anodowe lub katodowe „leje”,
- stosowanego potencjału załączeniowego ochrony katodowej rurociągu.

Na przykład, jeśli rura osłonowa:

- znajduje się w zasięgu anodowego stożka potencjałowego, związanego z uziomem anodowym stacji ochrony katodowej, lub
- znajduje się w zasięgu katodowego „leja” potencjału, związanego z pobliskim dużym defektem izolacji lub doziemieniem rurociągu,
- jest pokryta powłoką, w której występują nieszczelności,
- nie jest wypełniona elektrolitem,

a powłoka izolacyjna odcinka rurociągu ułożonego wewnątrz rury jest szczelna, to załączenie ochrony katodowej spowoduje mimo wszystko przesunięcie mierzonego potencjału rury osłonowej w kierunku elektroujemnym na jednym końcu rury i przesunięcie mierzonego potencjału w kierunku elektrododatnim na drugim końcu.

W tym przykładzie będzie to wynikiem oddziaływania sąsiednich elektrycznych pól przepływowych w ziemi (anodowego stożka potencjałowego związanego z uziomem anodowym stacji ochrony katodowej lub katodowego „leja” potencjału, związanego z pobliskim dużym defektem izolacji lub doziemieniem rurociągu).

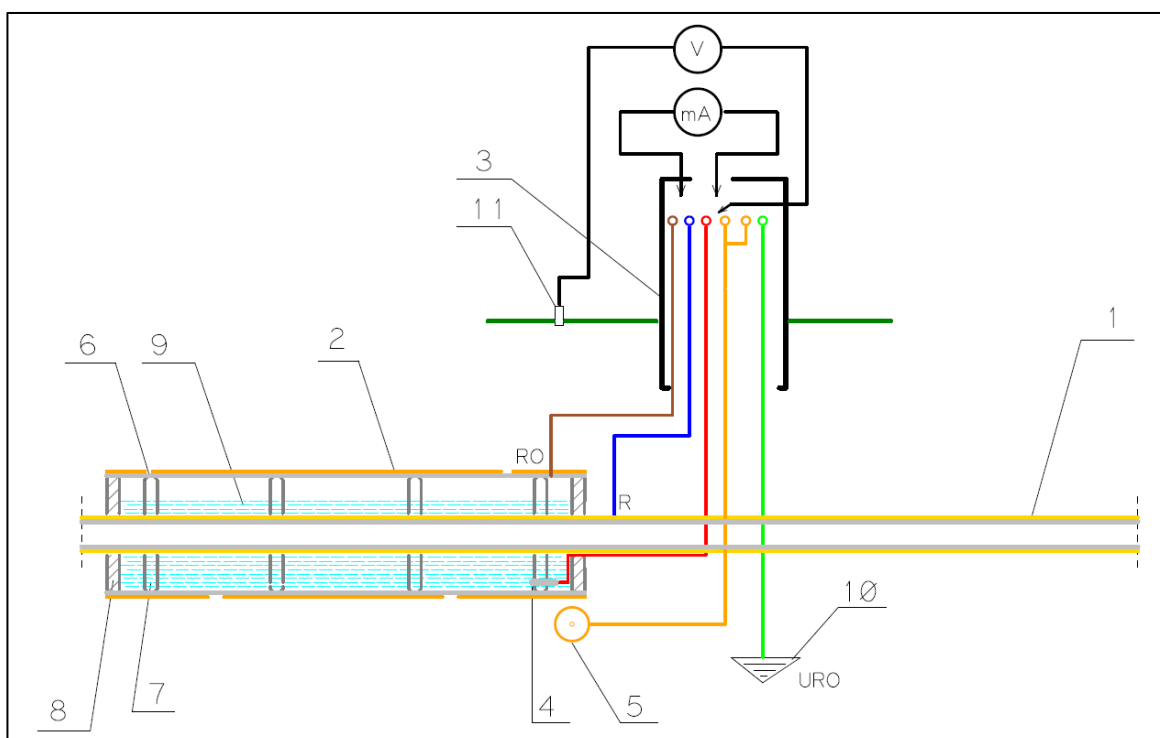
W następnej części pracy opisano inny przypadek rury osłonowej:

- rura osłonowa pokryta jest nieszczelną powłoką izolacyjną – jej jednostkowa rezystancja przejścia względem ziemi $r_{CO} \approx 2 \times 10^5 \Omega m^2$, rezystancja przejścia względem ziemi $R_{CO} \approx 1850 \Omega$.
- rura osłonowa uziemiona jest sztucznym uziomem poprzez punkt pomiarów elektrycznych, a rezystancja uziemienia tego uziomu $R_u \approx 15 \Omega$,
- wewnątrz rury osłonowej umieszczony jest czujnik korozymetryczny o powierzchni 5 cm^2 , służący do monitorowania szybkości korozji rury produktowej wewnątrz rury osłonowej – czujnik jest w stanie normalnym przyłączony do rurociągu poprzez punkt pomiarów elektrycznych,
- na rurę osłonową nie oddziałują jakieś pobliskie anodowe stożki potencjałowe i katodowe „leje” potencjału (stacja ochrony katodowej usytuowana jest w odległości

4 km od rury osłonowej, a rurociąg na odcinkach o długościach 200 m przed rurą i 150 m za rurą pokryty jest szczelną, nie posiadającą defektów powłoką izolacyjną),

- przy rurze osłonowej w ziemi umieszczony jest czujnik korozymetryczny odwzorowujący defekt o powierzchni 100 cm^2 , służący do monitorowania szybkości korozji rury osłonowej – ten czujnik nie będzie uwzględniany w dalszych rozważaniach.

Schemat układu przedstawiono na rys. 5. Specyficzną cechą tego układu jest także to, że odcinek rurociągu o długości kilkuset metrów, na którym zabudowana jest przedmiotowa rura osłonowa o dług. ok. 129 m, pokryty jest powłoką polietylenową o wysokim poziomie szczelności, a jest on bezpośrednio włączony do rurociągu dłuższego pokrytego powłoką bitumiczną o przeciętnej jakości. W związku z tym utrzymywany jest potencjał załączeniowy ochrony katodowej, który zapewnia skuteczną ochronę katodową całego rurociągu i który może być zbyt „silny” z punktu widzenia ochrony odcinka pokrytego powłoką polietylenową.



Rys. 5. Układ rurociąg – rura osłonowa, z czujnikami korozymetrycznymi i uziemieniem rury osłonowej; 1 – chroniony katodowo rurociąg, 2 – rura osłonowa, 3 – punkt pomiarów elektrycznych, 4 – czujnik korozymetryczny w rurze osłonowej, 5 – czujnik korozymetryczny w ziemi przy rurze osłonowej, 6 – defekt w powłoce izolacyjnej rury osłonowej, 7 – izolacyjne płyty dystansowe rury produktowej, 8 – uszczelnienie rury osłonowej, 9 – elektrolit wewnątrz rury osłonowej, 10 – uziom rury osłonowej, 11 – elektroda odniesienia CSE
 Fig. 5. Corrosion field monitors and casing of the pipeline-casing set earthed; 1 – cathodically protected pipeline, 2 – casing, 3 – electric test station, 4 – corrosion rate sensor (ER soil corrosion probe) inside casing, 5 – corrosion rate sensor under casing, in earth, 6 – casing coating defect, 7 – insulating distance runners, 8 – casing sealing, 9 – electrolyte inside casing, 10 – casing earthing, 11 – CSE reference electrode

Wykonano szereg pomiarów w trakcie przerywanej pracy ochrony katodowej rurociągu, których wyniki zamieszczono w tablicy 2.

Tablica 2. Wyniki pomiarów w punkcie pomiarowym usytuowanym przy rurze osłonowej
 Table 2. The results of the measurement at the test station located at the casing pipe

Nr	Mierzona wielkość		Wartość	Różnica
1	Potencjał rurociągu załączeniowy/wyłączeniowy <i>Pipeline potential ON/OFF</i>	E_{on}/E_{off} [V]	-1,72/-0,99	0,73
2	Potencjał rury osłonowej przy załączonej / wyłączonej ochronie katodowej rurociągu (dla stanu z odłączonym uziemem od rury i odłączonym czujnikiem korozymetrycznym od rurociągu) <i>Casing potential by pipeline cathodic protection ONN/OFF</i> <i>(casing earthing OFF, pipeline corrosion rate sensor OFF)</i>	E_{RO+}/E_{RO-} [V]	-0,8025/-0,8025	0,0000
3	Potencjał rury osłonowej przy załączonej / wyłączonej ochronie katodowej rurociągu (dla stanu z odłączonym uziemem rury i przyłączonym czujnikiem korozymetrycznym do rurociągu) <i>Casing potential by pipeline cathodic protection ON/OFF</i> <i>(casing earthing OFF, pipeline corrosion rate sensor ON)</i>	E_{RO+}/E_{RO-} [V]	-1,096/-0,627	0,469
4	Potencjał rury osłonowej przy załączonej / wyłączonej ochronie katodowej rurociągu (dla stanu z przyłączonym uziemem do rury osłonowej i przyłączonym czujnikiem korozymetrycznym do rurociągu) <i>Casing potential by pipeline cathodic protection ON/OFF</i> <i>(casing earthing ON, casing corrosion rate sensor ON)</i>	E_{RO+}/E_{RO-} [V]	-0,4954/-0,4673	0,0281
5	Prąd przepływający pomiędzy uziemem a rurą osłonową przy załączonej i wyłączonej ochronie katodowej gazociągu (dla stanu z odłączonym od rurociągu czujnikiem korozymetrycznym umieszczonym wewnątrz rury osłonowej) <i>Casing/earthing current by pipeline cathodic protection</i> <i>ON/OFF (corrosion rate sensor inside casing OFF)</i>	I_{URO+}/I_{URO-} [μ A]	348,3/348,3	0,0
6	Prąd przepływający pomiędzy uziemem a rurą osłonową przy załączonej / wyłączonej ochronie katodowej gazociągu (dla stanu z przyłączonym do rurociągu czujnikiem korozymetrycznym umieszczonym wewnątrz rury osłonowej) <i>Casing/earthing current by pipeline cathodic protection</i> <i>ON/OFF (corrosion arte sensor inside casing ON)</i>	I_{URO+}/I_{URO-} [μ A]	3000/-100	3100
7	Prąd przepływający pomiędzy czujnikiem korozymetrycznym a rurociągiem przy załączonej / wyłączonej ochronie katodowej rurociągu dla stanu z odłączonym uziemem od rury osłonowej <i>Corrosion rate sensor /pipeline current by pipeline cathodic</i> <i>protection ON/OFF (casing earthing OFF)</i>	I_{x+}/I_{x-} [μ A]	415/-300	715
8	Gęstość prądu przepływającego pomiędzy czujnikiem korozymetrycznym a rurociągiem przy załączonej / wyłączonej ochronie katodowej rurociągu dla stanu z odłączonym uziemem od rury osłonowej <i>Corrosion rate sensor /pipeline current density by pipeline</i> <i>cathodic protection ON/OFF (casing earthing OFF)</i>	j_{x+}/j_{x-} [mA/m ²]	830/-600 (0,83/-0,63 A/m ²)	

9	Prąd przepływający pomiędzy czujnikiem korozymetrycznym a rurociągiem przy załączonej / wyłączonej ochronie katodowej rurociągu dla stanu z przyłączonym uziomem do rury osłonowej <i>Corrosion rate sensor / pipeline current by pipeline cathodic protection ON/OFF (casing earthing ON)</i>	I_{x+}/I_{x-} [μA]	2500/-400	2900
10	Gęstość prądu przepływającego pomiędzy czujnikiem korozymetrycznym a rurociągiem przy załączonej / wyłączonej ochronie katodowej rurociągu dla stanu z przyłączonym uziomem do rury osłonowej <i>Corrosion rate sensor / pipeline current density by pipeline cathodic protection ON/OFF (casing earthing ON)</i>	j_{x+}/j_{x-} [mA/m^2]	5000/-800 (5,00/-0,80 A/m^2)	

Uzyskane wyniki świadczą iż:

- odcinek rurociągu umieszczony wewnątrz rury osłonowej pokryty jest szczelną powłoką izolacyjną (bez defektów) (pomiar nr 5),
- rura osłonowa wypełniona jest elektrolitem (pomiar nr 3, 4, 6, 7, 9),
- jeśli nie występują w sąsiedztwie w ziemi pola elektryczne, a w powłoce odcinka rurociągu ułożonego w rurze osłonowej nie występują defekty, to załączenie ochrony katodowej rurociągu nie spowoduje zmiany potencjału rury osłonowej (pomiar nr 2),
- jeśli nie występują w sąsiedztwie w ziemi pola elektryczne, to zmiana potencjału rury osłonowej w kierunku elektroujemnym po załączeniu ochrony katodowej może wskazywać na obecność elektrolitu w rurze osłonowej i defektów w powłoce izolacyjnej odcinka rurociągu ułożonego w rurze (pomiar nr 3),
- uziemienie rury osłonowej wypełnionej wodą może prowadzić do znaczącego wzrostu gęstości prądu ochrony katodowej wpływającego do defektów izolacji odcinka rurociągu ułożonego w takiej rurze osłonowej, znacznie przekraczającego „potrzeby” ochrony i prowadzącego do „przechronienia” tego odcinka rurociągu; taka nadmierna polaryzacja katodowa może występować także bez sztucznego uziemienia rury osłonowej.
W omawianym przykładzie gęstość prądu wpływającego do defektu wyniosła 830 mA/m^2 w sytuacji bez doziemienia rury osłonowej i 5000 mA/m^2 po doziemieniu tej rury (pomiar nr 8, 10).

Wnioski:

1. Brak zmiany potencjału rury osłonowej pod wpływem załączania/wyłączania ochrony katodowej rurociągu, na którym zamontowana jest ta rura, nie może upoważniać, jako jedyna przesłanka, do wniosku o braku elektrolitu wewnątrz rury.
2. Ocenianie odizolowania stalowej rury osłonowej od stalowego rurociągu, na którym jest zamontowana, jedynie na podstawie zmian potencjału rury osłonowej w wyniku załączania/wyłączania ochrony katodowej rurociągu, jest dalece niewystarczające.
3. Uziemienie rury osłonowej wypełnionej wodą może prowadzić do znaczącego wzrostu gęstości prądu ochrony katodowej wpływającego do defektów izolacji odcinka rurociągu ułożonego w takiej rurze osłonowej, znacznie przekraczającego „potrzeby” ochrony i prowadzącego do „przechronienia” (nadmiernej polaryzacji katodowej) tego odcinka rurociągu; takie „przechronienie” może występować także bez sztucznego uziemienia rury osłonowej.

4. W przypadku rurociągów pokrytych powłokami o zróżnicowanej jakości (z defektami o różnych wielkościach i występujących w różnych elektrolitach), w tym odcinków ułożonych w rurach osłonowych nie wypełnionych masami izolacyjnymi, w praktyce nie ma możliwości zapobiegania nadmiernej polaryzacji katodowej.
5. Celowe jest wypełnianie rur osłonowych (jeśli już są stosowane) masami izolacyjnymi.
6. W badaniach oddziaływań ochrony katodowej na sąsiednie konstrukcje metalowe, np. na podziemne uzbrojenie obiektów zasilanych przez chronione katodowo rurociągi (choćby w celu oceny działania złączy izolujących), niezbędne jest branie pod uwagę możliwości wpływania na wyniki pomiarów występujących w ziemi różnych elektrycznych pól przepływowych.
7. Ocenianie skuteczności działania złączy izolujących, oddzielających chronione katodowo rurociągi od niechronionych obiektów, wyłącznie na podstawie zmian potencjału obiektu w wyniku załączania/wyłączania ochrony katodowej rurociągu, jest dalece niewystarczające.