



**OCHRONA PRZED KOROZJĄ PRZEMIENNOPRĄDOWĄ –
STUDIUM PRZYPADKU
NA PODSTAWIE DOŚWIADCZEŃ TERENOWYCH**

**PROTECTION AGAINST A.C. CORROSION CASE –
STUDY ON THE BASIS OF FIELD EXPERIENCE**

Jerzy Sibila, Jerzy Mossakowski, Jarosław Śmierzchalski

P.Z.A. CORRSTOP Sp. z o.o.

Słowa kluczowe: korozja, ochrona katodowa, prąd przemienny, odgranicznik prądu stałego
Keywords: corrosion, cathodic protection, alternating current, solid state decoupler

Streszczenie

W pracy przedstawiono rezultaty ograniczenia interferencji prądu przemiennego dla gazociągu ułożonego na czternastokilometrowym odcinku równoległym do napowietrznej linii wysokiego napięcia. Na gazociągu tym zainstalowano cztery lata wcześniej czternaście monolitycznych odgraniczników prądu stałego. Obecnie uzyskane wyniki pomiarów porównano z otrzymanymi po zakończeniu budowy instalacji. Przeprowadzono ocenę skuteczności ograniczenia oddziaływania prądu przemiennego na gazociąg ze szczególnym uwzględnieniem miejsc newralicznych.

Summary

The paper presents the results of limitation of an interference alternating current at a 14 km section of a gas pipeline laid parallel to the overhead high-voltage lines. Fourteen solid state decouplers were installed on that pipeline four years earlier. Measured results were compared with results obtained just after the installation. The study analysed the effectiveness of mitigation of alternating current interference on pipeline with particular emphasis on critical points.

1. Wprowadzenie

Zagadnienie indukcyjnego oddziaływania napowietrznych linii wysokiego napięcia na położone w pobliżu rurociągi było od lat przedmiotem zainteresowania badaczy, ale tylko z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy personelu obsługującego rurociągi i przepisów przeciwporażeniowych. Zwłaszcza w Stanach Zjednoczonych [1], gdzie dopuszczalne wyindukowane w rurociągu napięcie przemiennie nie może przekraczać 15V, powstało wiele prac na ten temat.

Przez wiele lat specjaliści od ochrony katodowej nie dostrzegali zagrożenia korozyjnego, powodowanego prądem przemiennym. Faktycznie, przy ówczesnych powłokach na rurociągach i licznych, rozległych defektach, małe gęstości wypływających z nich prądów przemiennych nie powodowały zauważalnej korozji ścianek.

Dlatego, odnośnie korozji ścianek rurociągów panowało przekonanie, że prądy przemiennie o częstotliwości $16^{2/3}$ Hz, 50Hz i 60 Hz nie powodują korozji.

Dopiero w latach 1980-tych zauważono, że przy większych gęstościach prądu przemiennego upływającego z defektu w powłoce podziemnego rurociągu, może wystąpić przyspieszona korozja ścianek rurociągu.

Werner Prinz opisał, że w 1986 roku wystąpiło szereg przypadków uszkodzeń korozyjnych, jakie wystąpiły na skutecznie zabezpieczonych katodowo rurociągach w Niemczech i Szwajcarii a spowodowane zostały prądem przemiennym [2]. We Francji w 1993 roku [3] opisano 31 uszkodzeń korozyjnych wywołanych wyindukowanym prądem przemiennym w gazociągach z powłokami polietylenowymi ułożonymi w pobliżu linii 400 kV a.c., i to przy stosunkowo wysokich potencjałach załączeniowych, przekraczających minus 2,0V względem nasyconej elektrody Cu/CuSO₄.

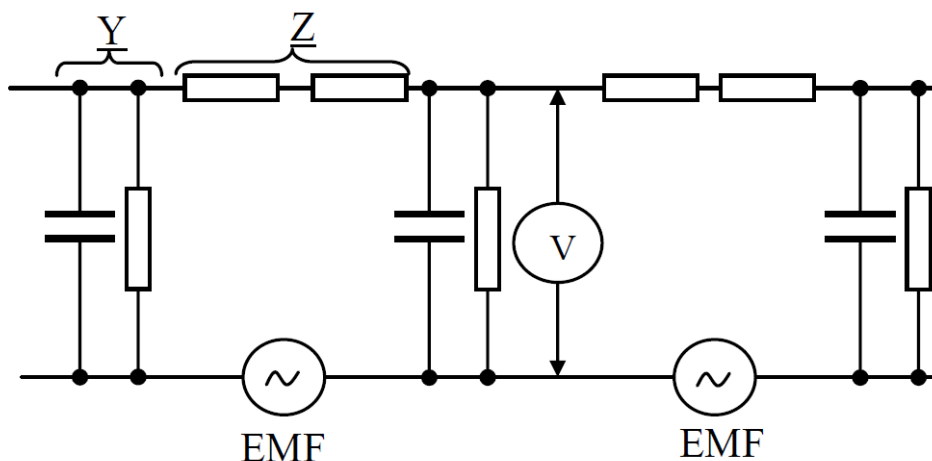
Ciągle trwają dyskusje na temat wartości progowej gęstości prądu przemiennego mogącego spowodować przyspieszoną korozję ścianek rurociągu i to pomimo ustanowionej normy EN 15280:2013 i podanego w niej kryterium gęstości prądu 30A/m², poniżej którego prawdopodobieństwo korozji wywołanej prądem przemiennym nie występuje lub uznaje się je jako niskie [4]. Norma niemiecka DIN 50925 [5] przyjmuje również 30A/m², ale w podręczniku Baeckmana i Schwenka [6] jest 20A/m², a w artykule amerykańskich specjalistów Yunovicha i Thompsona [7] stwierdza się, że już prąd o gęstości 20A/m² powoduje przyspieszoną korozję. Natomiast w pracy doktorskiej Goidanicha [8] postawiona jest teza, że w pewnych warunkach nawet prąd o gęstości 10A/m² może stanowić zagrożenie korozyjne.

W Standardzie Technicznym [9] Izby Gospodarczej Gazownictwa ST-IGG-0602:2013 jest zapis, iż zagrożenie korozją przemiennie-prądową nie występuje lub jest mało prawdopodobne, jeśli gęstość prądu przemiennego jest mniejsza niż 20A/m². Zapis ten jest ostrożny i słuszny.

Oddziaływanie indukcyjne napowietrznej linii wysokiego napięcia powoduje powstanie w ściankach rurociągu siły elektromotorycznej SEM, której wartość zależy od natężenia i napięcia prądu przemiennego w linii, długości zbliżenia rurociągu do linii i odległości rurociągu od linii. Natomiast nie zależy od rezystywności gruntu czy wartości rezystancji powłoki na rurociągu.

Należy zauważyć wyraźną różnicę pomiędzy siłą elektromotoryczną - SEM, a napięciem indukowanym na rurociągu. Siły elektromotoryczne są wirtualnymi prądnicami w obwodzie rurociąg - ziemia, wynikającymi ze sprzężenia indukcyjnego rurociąg - linia energetyczna.

To one powodują powstanie napięć rurociąg – ziemia i mają realny wpływ na ich wielkość. Przykładowy obwód zastępczy układu gazociąg – ziemia [9] przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Obwód zastępczy układu gazociąg – ziemia[9]

Dla równolegle ułożonego do napowietrznej linii WN rurociągu, wyindukowane napięcie jest najwyższe w miejscach zbliżenia i odejścia ich tras i maleje wykładniczo wraz z odsuwaniem się od tych punktów. Jednak o postępie korozji powodowanej wpływającym z rurociągu prądem przemiennym decyduje jego gęstość. Przy założeniu, że średnica defektu w powłoce jest większa od grubości powłoki, gęstość prądu można obliczyć według następującego wzoru:

$$J_{AC} = \frac{8U_{AC}}{\rho \Pi d} \quad (1)$$

gdzie:

J_{AC} – teoretyczna gęstość prądu AC [A/m^2]

U_{AC} – napięcie rurociągu w stosunku do ziemi odległej (V)

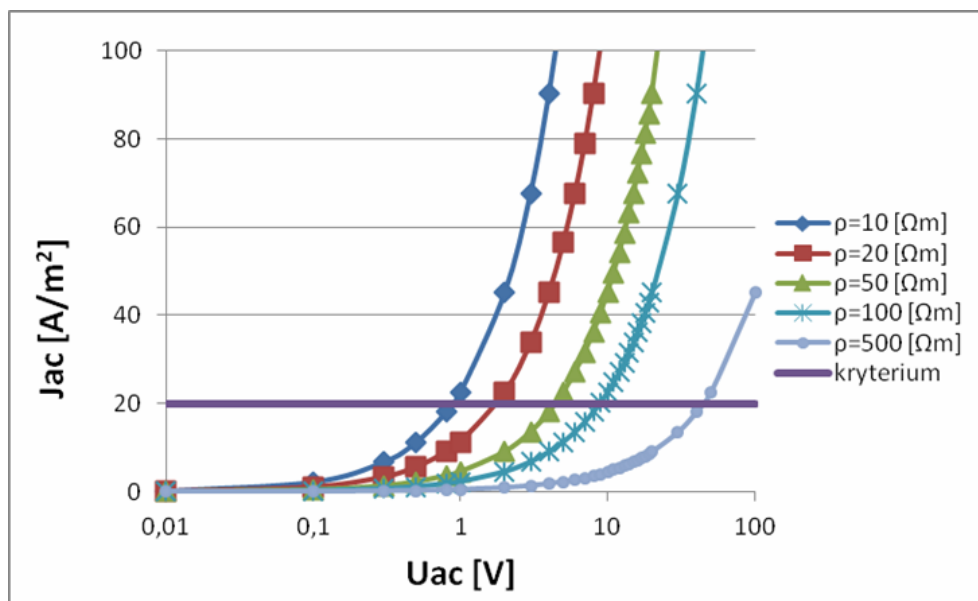
ρ – rezystywność gruntu [Ωm]

d – średnica defektu powłoki [m].

Ze wzoru (1) wynika, że dla defektu zlokalizowanego w gruncie o rezystywności $\rho = 10 \Omega m$, już przy wyindukowanym napięciu $U_{ac} = 1,33V$ gęstość wpływającego prądu wyniesie $30A/m^2$, czyli osiągnie dopuszczalną wartość progową podaną w normie PN-EN 15280 [4]. Gdyby przyjęć zachowawczo bezpieczną gęstość tylko $20A/m^2$ to napięcie U_{ac} nie powinno przekroczyć $0,89 V$. Już przy $U_{ac} = 4,43V$ gęstość prądu wyniesie $J_{ac} = 100 A/m^2$.

Z wykresu na rysunku nr 2 widać, że już przy napięciu poniżej $1 V$, dla gruntu o niskiej rezystywności, gęstość prądu może przekroczyć bezpieczną wartość graniczną określoną w standardzie, czyli $20 A/m^2$.

Wyniki przeprowadzonych analiz teoretycznych [10] pokazują, że wraz ze wzrostem rezystywności gruntu w przedziale do $100 \Omega m$, wyindukowane napięcie przemiennie rośnie logarytmicznie, a następnie przebieg ten staje się bardziej łagodny i liniowy (rys. 3).



Rys. 2. Gęstości prądu przemiennego, w zależności od napięcia U_{ac} do odległej ziemi, dla różnych rezystywności gruntu w miejscu defektu

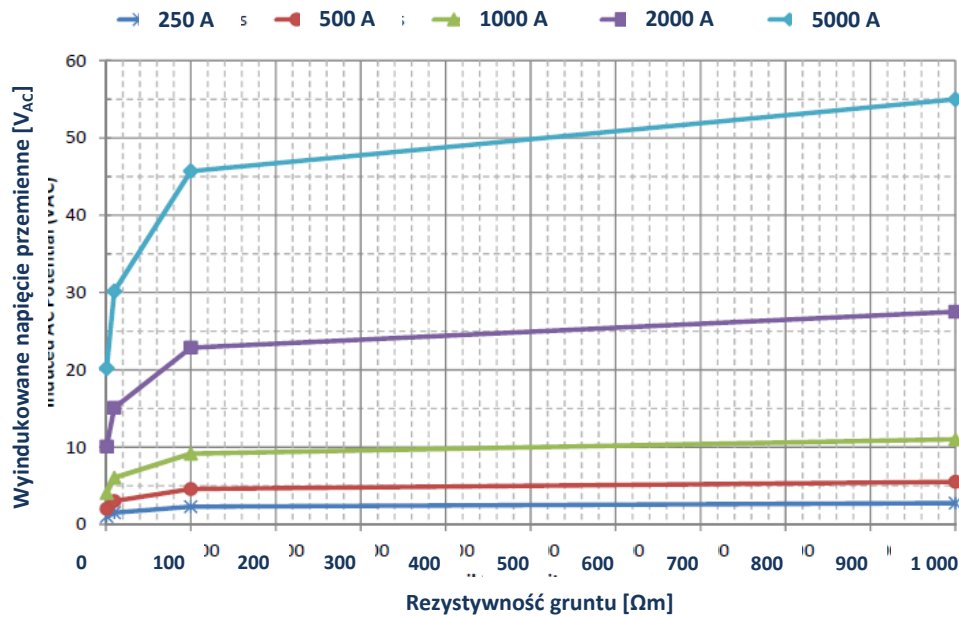
2. Opis dotychczasowego systemu redukcji napięć przemiennych i przeprowadzonej modernizacji

Badany gazociąg zbudowano w 1997 r. Jego długość wynosi około 46 km, a średnica 250 mm. Na odcinku 14 km trasa gazociągu przebiega równoległe do napowietrznych linii wysokiego napięcia 400 kV (średnia odległość 50 m) i 220 kV (średnia odległość 120 m). Dodatkowo, pod koniec odcinka zbliżenia do wspomnianych linii WN, gazociąg krzyżuje się z liniami średniego i wysokiego napięcia. Rezystywność gruntu wzdłuż trasy gazociągu wynosi od ok. 15 Ωm do ok. 10.000 Ωm .

W połowie długości odcinka zbliżenia do linii WN na gazociągu zainstalowany jest monoblok, który jednak został zwarty w celu umożliwienia zabezpieczenia całego gazociągu za pomocą jednej stacji ochrony katodowej zlokalizowanej na 32 kilometrze gazociągu (na końcu odcinka zbliżenia gazociągu do linii WN). Wzdłuż gazociągu są rozmieszczone punkty pomiarowe, ale żaden z nich nie pozwala na pomiar prądu.

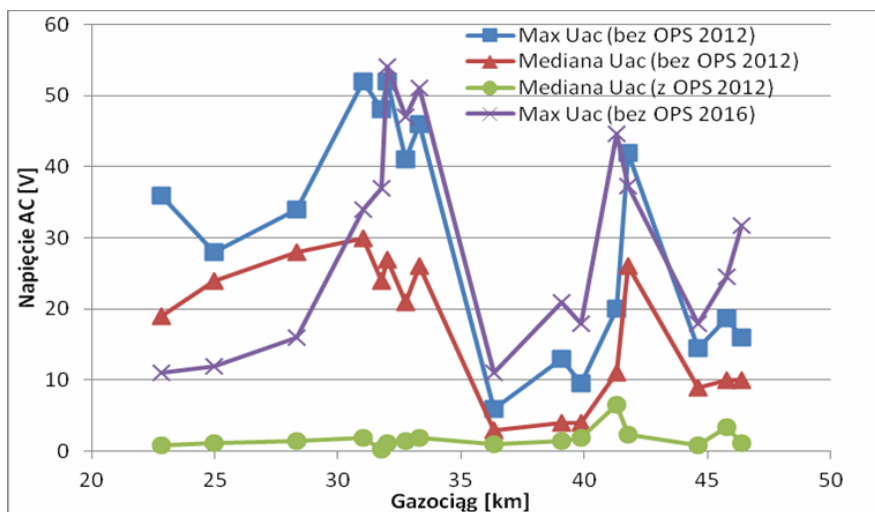
Instalację chroniącą gazociąg przed korozyjnym oddziaływaniem prądu przemiennego wykonano po raz pierwszy w latach 2002-2004, a zmodernizowano w roku 2012. Od tego czasu system minimalizowania zagrożenia gazociągu korozją prądem przemiennym składa się z czternastu ograniczników prądu stałego wraz z uziemieniami odprowadzającymi prąd przemienny do ziemi [11]. Rezystancje uziemień odprowadzających z gazociągu prądy przemiennie poprzez OPSy nie zmieniły się znacząco przez cztery lata i wynoszą od 0,7 Ω do 12,8 Ω , poza dwoma uziemieniami, w których wzrosły one z 12,8 Ω do 200 Ω i z 3,5 Ω do 10 Ω .

Ponadto w punktach pomiarowych zainstalowano elektrody symulujące o powierzchni 1 cm^2 i 10 cm^2 oraz czujniki korozymetryczne.



Rys. 3. Wynik symulacji: maksymalne wyindukowane napięcie przemiennie w funkcji rezystywności gruntu (1,5 km zbliżenia, odległość gazociąg – linia:30 m) [10]

Rozkłady zmierzonych w 2012 i 2016 roku, wyindukowanych w gazociągu napięć przemiennych, przy załączonych i wyłączonych ogranicznikach prądu stałego, zamieszczono na rys. 4.



Rys. 4. Rozkład napięć przemiennych zmierzonych wzdłuż gazociągu przy załączonych i odłączonych OPS

Z porównania rozkładów napięć maksymalnych U_{ac} z lat 2012 i 2016 widać ich duże podobieństwo. Podobny charakter mają obydwa wykresy, w tych samych punktach występują najmniejsze i największe napięcia.

W tabeli 2 zestawiono rezystancje uziemień i wartości prądów. W ciągu 4 lat zsumowany, odprowadzany przez 14 ograniczników prąd przemienny wzrósł o 46%.

Tabela 2. Odprowadzane prądy i wartości rezystancji uziomów

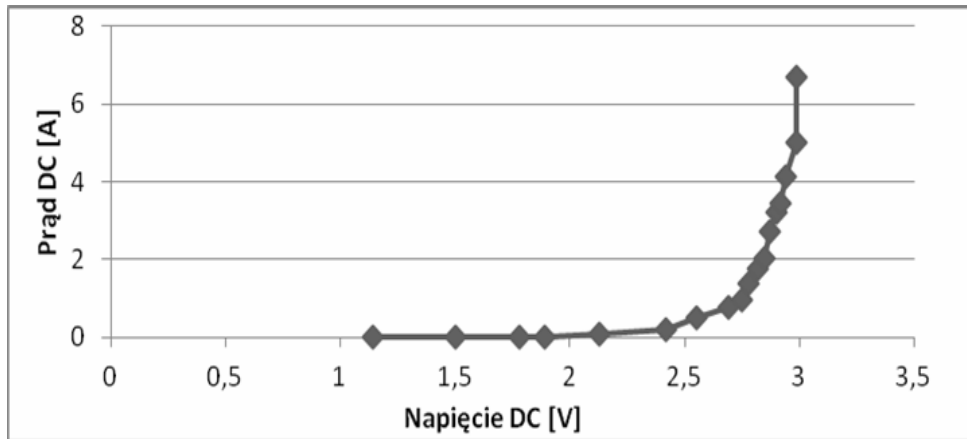
		Punkty pomiarowe						
Data pomiaru	Parametr	G28	G36	SOK	G37	G38	G39	G42
03.2016	$I_{AC\ OPS}$ [A]	0,007	3,2	6,9	4,6	2,27	2,25	2,9
06.2012	$I_{AC\ OPS}$ [A]	0,725	3,27	7,67	2,5	1,11	1,39	0,81
03.2016	R_{uziomu} [Ω]	200	2,5	0,90	0,74	1,52	3,5	2,4
06.2012	R_{uziomu} [Ω]	12,80	2,17	1,38	0,70	1,30	2,60	1,82
		Punkty pomiarowe						
Data pomiaru	Parametr	G45	G47	G48a	G49	G53	G56	G59
03.2016	$I_{AC\ OPS}$ [A]	5,15	0,76	10,28	6,05	1,95	2,85	1,47
06.2012	$I_{AC\ OPS}$ [A]	1,05	1,15	4,4	2,87	5,24	1,42	1,01
03.2016	R_{uziomu} [Ω]	3,2	10,5	1,27	4,1	3,5	4,7	8,0
06.2012	R_{uziomu} [Ω]	2,70	3,50	1,07	4,13	2,11	2,94	6,50

3. Charakterystyka zastosowanych urządzeń ograniczających prąd stały

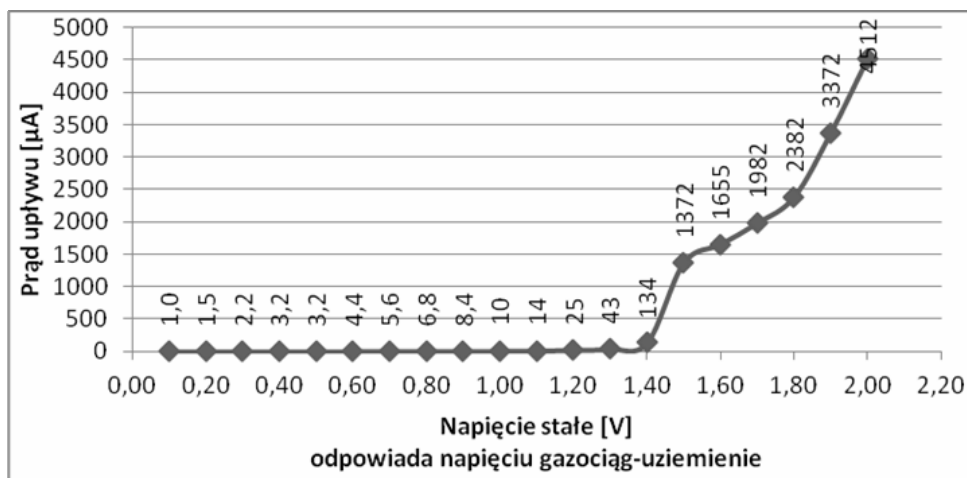
Zastosowane ograniczniki prądu stałego (OPS) charakteryzują się niską reaktancją pojemnościową oraz bardzo wysoką rezystancją dla prądu stałego w zakresie od -2V do +2 V. Dla napięć stałych o wartości bezwzględnej powyżej 2 V, rezystancja urządzenia jest rzędu M Ω , natomiast powyżej 3 V wynosi zaledwie kilka m Ω .

Mogą odprowadzać w sposób ciągły prąd przemienny do 45A a prąd piorunowy do 75kA. Są umieszczone w szczelnej obudowie umożliwiającej ich montowanie nawet w wodzie, do głębokości 2m.

Jeżeli ograniczniki mają być zainstalowane na rurociągach z powłokami o wysokiej szczelności, powinny się charakteryzować bardzo małą upływnością prądu stałego w zakresie potencjałów stosowanych w ochronie katodowej. Charakterystyki napięciowo – prądowe zastosowanych ograniczników przedstawione są na rys.5 i 6.



Rys. 5. Charakterystyka prądowo-napięciowa zastosowanego OPS dla napięcia stałego



Rys.6. Charakterystyka prądowo-napięciowa zastosowanego OPS dla napięcia stałego w zakresie 0,1-2 V

4. Ocena skuteczności ograniczenia oddziaływania prądu przemiennego na gazociąg

O stopniu zagrożenia podziemnego rurociągu korozją prądowo-prądową decyduje gęstość prądu przemiennego upływającego w miejscach defektów powłoki. (Należy pamiętać, że z defektu może także wypływać prąd ochrony katodowej). Na natężenie upływającego prądu przemiennego ma bezpośredni, liniowy wpływ, napięcie przemiennie wyindukowane w rurociągu. Zatem poprzez zmniejszenie tego napięcia zmniejsza się prawdopodobieństwo wystąpienia korozji prądowo-prądowej.

Napięcie to jest łatwiej i dokładniej mierzalne niż gęstości prądu i chociaż jego pomiar nie wystarczy do oceny zagrożenia korozją prądową to stanowi pierwszy wskaźnik prawdopodobieństwa jej wystąpienia.

W normie PN-EN15280:2013 [4] podano następujące akceptowalne poziomy oddziaływania prądów przemiennych:

- w pierwszym kroku, napięcie przemiennie mierzone na rurociągu powinno być ograniczone do 15V lub mniej. Dotyczy to jego wartości średniej z reprezentatywnego okresu np. 24 godzin;
- jako drugi krok, skuteczne złagodzenie korozji prądowej może być osiągnięte poprzez przestrzeganie kryteriów zdefiniowanych w normie PN-EN 12954, Tabela 1 - dotycząca potencjałów korozyjnych, potencjałów ochrony i potencjałów krytycznych typowych metali w gruncie oraz w wodzie słodkiej i słonej.

I równocześnie:

- zapewnienie średniej gęstości prądu przemiennego w reprezentatywnym okresie (np. przez 24 godziny) niższej niż 30A/m^2 , przy pomiarze na elektrodzie symulującej o powierzchni 1 cm^2 ;
- lub zapewnienie średniej gęstości prądu ochrony katodowej w reprezentatywnym okresie (np. przez 24 godziny) niższej niż 1A/m^2 mierzonej na elektrodzie symulującej o powierzchni 1 cm^2 , jeżeli gęstość prądu przemiennego wynosi więcej niż 30A/m^2 ;
- lub zapewnienie, że stosunek gęstości prądu przemiennego (J_{ac}) do gęstości prądu stałego (J_{dc}) jest mniejszy niż 5 przez reprezentatywny okres (np. 24 godziny). Stosunek J_{ac} do J_{dc} mniejszy niż 5 wskazuje małe ryzyko korozji prądowej. Jednakże w celu zredukowania ryzyka korozji do minimum preferuje się by ten stosunek był mniejszy niż 3.

W tabeli 3 przedstawiono wyniki pomiarów napięć przemiennych w poszczególnych punktach z podłączonymi i niepodłączonymi czternastoma odgranicznikami prądu stałego. Widać, że w rezultacie zastosowania odgraniczników i odprowadzeniu z rurociągu w kontrolowany sposób przez uziemienia prądu przemiennego o zsumowanej wartości 50,64A, uzyskano znaczną redukcję napięć przemiennych i w żadnym punkcie pomiarowym nie przekracza ono dopuszczalnych normą 15V.

Tabela 3. Wyniki pomiarów napięć przemiennych z podłączonymi i niepodłączonymi odgranicznikami prądu stałego

		Punkty pomiarowe						
Data pomiaru	Parametr	G28	G36	SOK	G37	G38	G39	G42
03.2016	$U_{ACz OPS}$ [V]	2,4	3,4	6,9	3,1	3,4	3,4	3,9
03.2016	$U_{AC bez OPS}$ [V]	11,2	12,3	16,2	51,2	37,3	54,6	47,1
		Punkty pomiarowe						
Data pomiaru	Parametr	G45	G47	G48a	G49	G53	G56	G59
03.2016	$U_{ACz OPS}$ [V]	5,3	7,7	13,1	11,3	3,2	12,4	9,7
03.2016	$U_{AC bez OPS}$ [V]	21	18	44,7	37,3	18	24,5	31,7

Szczególnie ciekawym jest punkt 37A.

1. Zredukowano w nim wyindukowane napięcie przemiennie z 51,2 V do 3,1 V.
2. Zachowane są wymagane przez normę PN-EN 12954 potencjały ochrony katodowej: $E_{ON} = -1,89V$ i $E_{OFF} = -1,15V$.
3. Zmniejszono gęstość prądu przemiennego z 370 A/m² do średniej wartości 28A/m².
4. Jednak średnia gęstość prądu ochrony katodowej w tym punkcie, położonym w odległości 200 m od stacji ochrony katodowej, wynosi aż 6A/m².
5. Stosunek J_{AC}/J_{DC} wynosi 4,67 < 5.

Średnia wartość prądu przemiennego wynosi 28 A/m², co oznacza, że spełnione są równocześnie warunki omówione w punktach 1, 2, 3 i 5. Jednak margines bezpieczeństwa jest mały (28/30 A).

W tabeli 4 zestawiono wartości chwilowe, maksymalne, zmierzone w punkcie G37A przy załączanym i odłączanym ograniczniku prądu stałego tylko w tym punkcie.

Tabela 4. Pomiary potencjałów i gęstości prądów w punkcie G37A.

E_{ON} [V]	E_{OFF} [V]	$J_{DC X}$ (10cm ²) z OPS [A/m ²]	$J_{AC X}$ (10cm ²) z OPS [A/m ²]	$J_{DC X}$ (10cm ²) z OPS* [A/m ²]	$J_{AC X}$ (10cm ²) z OPS* [A/m ²]	$J_{DC XR}$ (5cm ²) z OPS [A/m ²]	$J_{AC XR}$ (5cm ²) z OPS [A/m ²]
-1,89	-1,15	6	95	2,4	65	3,2	42
E_{ON} [V]	E_{OFF} [V]	$J_{DC X}$ (10cm ²) bez OPS [A/m ²]	$J_{AC X}$ (10cm ²) bez OPS [A/m ²]	$J_{DC X}$ (10cm ²) bez OPS* [A/m ²]	$J_{AC X}$ (10cm ²) bez OPS* [A/m ²]	$J_{DC XR}$ (5cm ²) bez OPS [A/m ²]	$J_{AC XR}$ (5cm ²) bez OPS [A/m ²]
-1,89	-1,15	6	124	2,4	154	3,2	92

gdzie:

$J_{DC X}$ – gęstość prądu ochrony katodowej zmierzona na elektrodzie symulującej – X lub rezystancyjnym czujniku korozymetrycznym – XR,

$J_{AC X}$ – gęstość prądu przemiennego zmierzona na elektrodzie symulującej – X lub rezystancyjnym czujniku korozymetrycznym – XR,

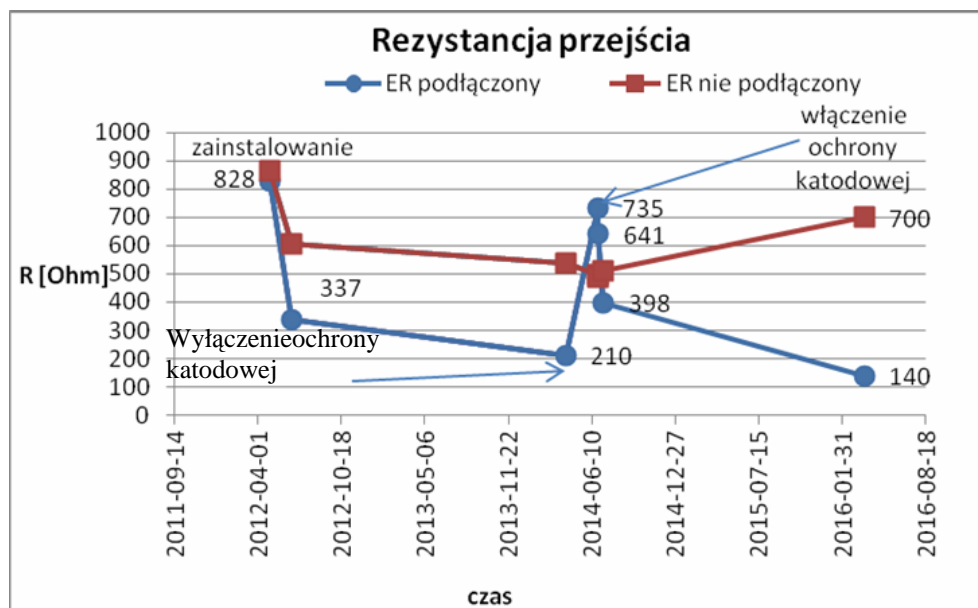
z OPS – pomiar przy działającym ograniczniku prądu stałego (OPS),

bez OPS – pomiar przy odłączonym ograniczniku prądu stałego (OPS),

* elektroda symulująca nie była na stałe podłączona do konstrukcji chronionej, więc nie była poddana długotrwałemu oddziaływaniu prądu ochrony katodowej i prądów przemiennych. Podłączano ją do gazociągu tylko na czas przeprowadzania pomiarów.

Z tego eksperymentu widać, że chociaż zarejestrowana w ciągu 24h średnia wartość prądu przemiennego wpływającego w tym punkcie wynosi 28A/m², to jednak wartości chwilowe zdarzają się wielokrotnie większe. Widać także, że zainstalowane w sąsiedztwie ograniczniki nie zredukują skutecznie, nie skompensują, oddziaływania prądu przemiennego w razie awarii ogranicznika w tym punkcie (37A).

W większości punktów rezystancje przejścia elektrod symulujących i czujników korozymetrycznych w ciągu czterech lat eksploatacji systemu wzrosły, prawdopodobnie na skutek wytworzenia się na nich warstewek osadów.



Rys. 7. Zmiany rezystancji przejścia czujnika korozymetrycznego pod wpływem ochrony katodowej

Natomiast w badanym punkcie 37A stwierdzono bardzo wyraźne, kilkukrotne, spadki wartości rezystancji przejścia elektrody symulującej oraz czujnika korozymetrycznego, spowodowane czteroletnim działaniem ochrony katodowej a być może także prądu przemiennego. Potwierdza to spostrzeżenie także fakt, że rezystancje przejścia zakopanych w tym punkcie elementów niepodłączonych do gazociągu, narażonych tylko na korozję ziemną, są większe niż dla podłączonych, tego samego typu i rozmiarów. Rezystancja przejścia niepodłączonej elektrody symulującej wynosi 450 Ω , a podłączonej 65 Ω . Podobnie rezystancja niepodłączonego czujnika korozymetrycznego wynosi 700 Ω , a podłączonego 140 Ω .

Zjawisko to starano się wyjaśnić wykonując badania składu elektrochemicznego gleby i wody w tym miejscu. Norma PN-EN 15280 mówi, że obecność jonów takich jak Na^+ K^+ czy Li^+ skutkuje tworzeniem się wysoce rozpuszczalnych wodorotlenków. W konsekwencji niską rezystancją rozplywu spowodowaną przez przyciąganą wodę i wysoką koncentrację jonów.

Wykonane badania wody i gleby z tego miejsca nie potwierdziły rażąco większej ilości jonów. Być może występuje ona tylko w bezpośredniej okolicy defektu, elektrody symulującej.

Chociaż chwilowa wartość gęstości prądów w energetycznym „szczyt” w punkcie G37A, mierzona na elektrodzie o powierzchni 10cm² wynosi 95A/m² z podłączonymi odgranicznikami i 328A/m² bez podłączonych odgraniczników, to postęp korozji jest znacznie mniejszy od dopuszczalnych 10 $\mu\text{m}/\text{rok}$, co potwierdzają wyniki korozymetrii rezystancyjnej.

Tabela 4. Szybkość korozji w punkcie G37A.

	Czujnik korozymetryczny podłączony do gazociągu	Czujnik korozymetryczny niepodłączony do gazociągu
Szybkość korozji (μ/rok)	2,29	20,82

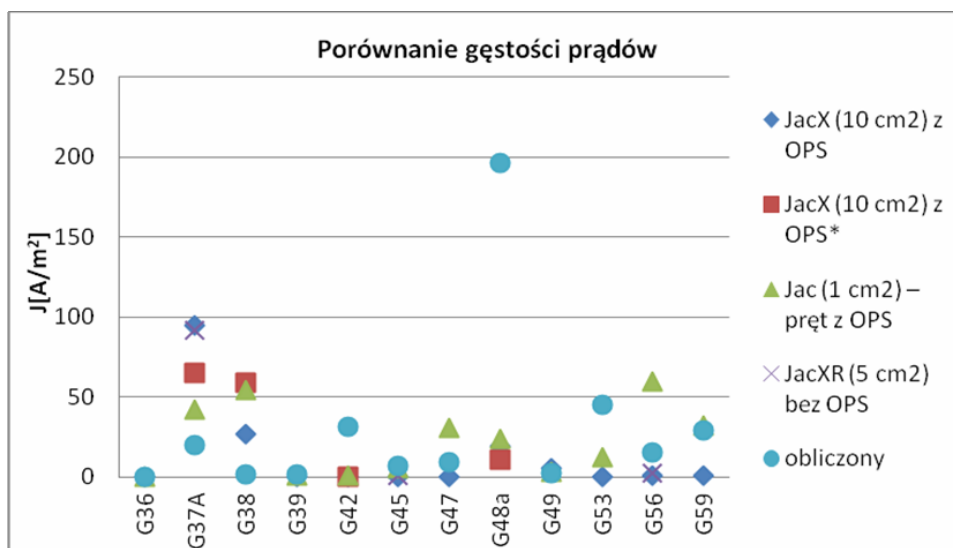
Niepodłączony czujnik korozymetryczny nie jest narażony na korozję wynikającą z wyindukowanego napięcia w gazociągu a jednak szybkość jego korozji jest znaczna, ponieważ znajduje się w agresywnym gruncie w dodatku posypywanym zimą solą.

5. Porównanie wyników gęstości prądów przemiennych pomierzonych różnymi metodami

Podczas badań wykonano pomiary by zweryfikować metody określania gęstości prądu. W tym celu w tabeli 6 dokonano porównania wyników otrzymanych gęstości prądów z elektrod symulujących zakopanych na stałe w gruncie, czujników korozymetrycznych o powierzchni 5 cm^2 , elektrody w postaci przenośnego, wbijanego w ziemię pręta o powierzchni czynnej 1 cm^2 i obliczonej na podstawie wzoru (1).

Tabela 6. Gęstości prądów zmierzone różnymi metodami

Parametr	Punkt					
	G36	G37A	G38	G39	G42	G45
J[A/m ²]						
J _{ACX} (A/m ²) z OPS	0,05	95,0	27,0	0,1	0,01	0,5
J _{ACX} (A/m ²) bez OPS	5,2	312,0	22,5	27,6	58,3	23,8
J _{AC} (A/m ²) – pręt z OPS	0,28	42,1	54,0	1,0	0,6	5,5
J _{ACXR} (A/m ²) bez OPS		92				1,04
Obliczony ze wzoru z OPS	0,3	20,1	1,3	2,0	31,3	6,9
Parametr	Punkt					
	G47	G48a	G49	G53	G56	G59
J[A/m ²]						
J _{ACX} (A/m ²) z OPS	0,17	19,0	5,5	0,36	0,6	1,2
J _{ACX} (A/m ²) bez OPS	62,9	395,3	11,3	243,2	79,5	58,4
J _{AC} (A/m ²) – pręt z OPS	30,6	24,0	3,4	12,0	59,5	32,0
J _{ACXR} (A/m ²) bez OPS			0,001		2,1	
Obliczony ze wzoru z OPS	9,2	196,8	2,5	45,1	15,2	29,1



Rys. 9. Porównanie gęstości prądów mierzonych różnymi metodami

Analiza wyników pomiarów pokazuje, że między wartościami zmierzonymi na elementach podłączonych na stałe do rurociągu, a podłączanymi tylko na czas wykonania pomiarów (pręt) występują znaczne różnice. Generalnie, na 1 cm² elektrodzie „prętowej” wbijanej tylko na czas pomiaru, obserwowane są wyższe gęstości prądów niż jest to na elementach podłączonych na stałe do chronionej konstrukcji. Jest to oczywiście wynikiem działania ochrony katodowej i tworzenia się osadów na tych elementach.

6. Wnioski

1. Najlepszym rozwiązaniem – zlikwidowaniem problemu indukcyjnego oddziaływania prądu przemiennego na stalowe podziemne rurociągi byłyby prowadzenie ich tras w znacznej odległości od linii WN.
2. Jeżeli podziemne rurociągi są w szczelnych powłokach - bez defektów, to również nie wystąpi zagrożenie korozją prądową. W takim rurociągu, położonym w pobliżu napowietrznej linii WN, wyindukują się prądowe siły elektromotoryczne, ale nie będą mogły z nich wypłynąć prądy przemiennie z powodu braku możliwości przepływu pomiędzy stalową ścianką rurociągu a elektrolitem glebowym. Jednakże, jeżeli w takiej szczelnej powłoce powstaną nieliczne, małe defekty, to wypływające z nich prądy przemiennie mogą być znacznej gęstości i stanowić przyczynę przyspieszonej korozji ścianek rurociągu.
3. Wielkość siły elektromotorycznej zależy między innymi od długości zbliżenia tras rurociągu i linii WN. Zmniejszając długość tego zbliżenia można zmniejszyć całkowitą siłę elektromotoryczną indukowaną w rurociągu. Można to osiągnąć instalując wzdłuż rurociągu monobloki lub IPK i w ten sposób, poprzez sekcjonowanie rurociągu zmniejszyć siły elektromotoryczne i w konsekwencji wielkości napięć i gęstości prądów przemiennych mogących spowodować korozję.

4. Pomiary wartości wyindukowanego w rurociągu napięcia przemiennego winny być zawsze prowadzone przez dłuższy okres, co najmniej 24 godzinny. Sama zmierzona wartość napięcia przemiennego stanowić może zaledwie wskaźnik dla określenia zagrożenia korozją przemiennie-prądową. W każdym miejscu pomiaru napięcia przemiennego należy wykonać pomiar rezystywności gruntu. Nawet przy niewielkim napięciu, ale zmierzonym w gruncie o niskiej rezystywności, gęstość wpływającego ze ścianki rurociągu poprzez defekt w powłoce prądu może przekraczać dopuszczalne wartości progowe i spowodować przyspieszoną korozję.
5. Ocena prawdopodobieństwa zagrożenia podziemnych rurociągów korozją przemiennie-prądową winna uwzględniać wiele czynników: napięcie przemiennie zmierzone w danym miejscu pomiędzy rurociągiem a ziemią, rezystywność gruntu, gęstość prądu przemiennego i gęstość prądu ochrony katodowej oraz stosunek tych gęstości, potencjał załączeniowy i wyłączeniowy a także skład chemiczny gruntu.
6. Bardzo przydatne jest stosowanie czujników korozymetrycznych, z których odczyty dostarczają wiarygodnych informacji o postępie korozji w mm/rok i to będącej skumulowanym skutkiem agresywności środowiska, oddziaływanie prądów błędzących, prądów przemiennych i ochrony katodowej.

Literatura

- [1] CIGRE Technical Brochure No. 95: Guide on the Influence of High Voltage a.c. Power System on Metallic Pipelines.
- [2] Prinz W., *Alternating Current Corrosion of Cathodically Protected Pipelines*, International Gas Research Conference, Rockville 1992.
- [3] Regault I., *AC Corrosion Induced by V.H.V. Electrical Lines on Polyethylene Coated Steel Gas Pipelines*, CORROSION/98, Houston 1998.
- [4] PN-EN 15280:2013: Ocena prawdopodobieństwa wystąpienia na zakopanych rurociągach korozji wywołanej prądem przemiennym stosowana do rurociągów chronionych katodowo.
- [5] DIN 50925: Corrosion of metals; proof of effectiveness of cathodic corrosion protection of underground installations.
- [6] Funk D., Schoeneich H.G., *Problem with Coupons when Assessing the AC-Corrosion Risk of Pipelines*, 3R International, Special Pipelines 41, 2002.
- [7] Yunovich M., Thompson N.G., *AC Corrosion: Corrosion Rate and Mitigation Requirements*, Houston 2004, CORROSION/2004, Houston 2004.
- [8] Goidanich S., *Influence of alternating current on metals corrosion*, rozprawa doktorska, Mediolan 2005.
- [9] ST-IGG-0602: Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Ochrona katodowa, projektowanie, budowa i użytkowanie, 2013.
- [10] The INGAA Foundation FINAL Report No. 2015-04: CIGRE Technical Brochure No. 95: Criteria for Pipelines Co-Existing with Electric Power Lines.
- [11] Sibila J., Jaroszewicz T., Mossakowski J., Malicki M., *Ograniczenie oddziaływania prądu przemiennego na gazociąg ułożony równolegle do linii wysokiego napięcia 400 kV i 220 kV*, XII Krajowa Konferencja Pomiary Korozyjne w Ochronie Elektrochemicznej, 19-21.09.2012, Jurata.

