XIII Krajowa Konferencja
POMIARY KOROZYJNE W OCHRONIE ELEKTROCHEMICZNEJ
XIII National Conference
CORROSION MEASUREMENTS IN ELECTROCHEMICAL PROTECTION
9-11. 06. 2014 Ostróda, Poland

OCENA ZAGROŻENIA PIORUNOWEGO INSTALACJI OCHRONY KATODOWEJ RUROCIĄGÓW GAZOWYCH

LIGHTNING RISK ASSESSMENT FOR CATHODIC PROTECTION SYSTEMS OF GAS PIPELINES

Mirosław Zielenkiewicz, Tomasz Maksimowicz, Marek Sekściński

RST sp.j.
Centrum Ochrony przed Przepięciami i Zakłóceniami Elektromagnetycznymi
w Białymstoku

Słowa kluczowe: korozja, ochrona katodowa, gazociąg, piorun
Keywords: corrosion, cathodic protection, gas pipelines, lightning

Streszczenie

Z praktyki eksploatacyjnej wynika, iż aż około 65% awarii Systemów Monitoringu Ochrony Katodowej z ogólnej liczby zgłoszeń serwisowych spowodowanych jest oddziaływaniem przepięć przychodzących od strony linii zasilania elektroenergetycznego oraz od strony układów pomiarowych i wyjściowych, podłączonych bezpośrednio do chronionej konstrukcji [1]. W referacie dokonano oceny, w jakim stopniu wpływ na te awarie może mieć narażenie instalacji elektrolitycznej ochrony katodowej gazociągów stalowych na oddziaływanie wyładowań atmosferycznych oraz przedstawiono krótki przegląd środków zmniejszających to zagrożenie.

Summary

Over 65% of Cathodic Protection Monitoring Systems failures within all service reports are caused by impact of overvoltages which originate from energetic power lines and from measuring systems, connected directly to protected construction [1]. The paper presents assessment of lightning strikes influence on electrolytic cathodic protection systems of steel gas pipelines. Review of measures reducing lightning threat is presented.

1. Wprowadzenie

Ochrona przed korozją zakopanych w gruncie stalowych gazociągów to zagadnienie niezwykle istotne i złożone z uwagi na znaczne ryzyko wystąpienia korozji pomimo stosowania środków ochronnych oraz związane z tym zagrożenie dla życia ludzkiego i lokalnego środowiska naturalnego. Powszechnie stosowaną metodą dla takiej ochrony jest elektrolityczna ochrona katodowa realizowana na bazie stacji ochrony katodowej (SOK), stanowiących źródło prądu stałego polaryzującego odpowiednio stalowe rury gazociągu.

Na skuteczność działania ochrony katodowej gazociągów przed korozją wpływa wiele czynników, a do grupy głównych należy zaliczyć: ciągłość ochrony w czasie oraz zapewnienie jej odpowiednich parametrów elektrochemicznych. Wszelkie niekontrolowane przerwy w działaniu instalacji elektrolitycznej ochrony katodowej obniżają jej skuteczność, a jednocześnie podważają wiarygodność przyjętego do stosowania rozwiązania.

2. Przenikanie zaburzeń elektromagnetycznych do instalacji ochrony katodowej gazociągów

Wśród głównych przyczyn przerw w pracy instalacji ochrony katodowej wymienia się błędy eksploatacyjne oraz awarie obwodów elektrycznych stacji ochrony katodowej spowodowane oddziaływaniem przepięć [1]. W tym drugim przypadku chodzi o zaburzenia elektromagnetyczne, które przenikają do urządzeń instalacji ochrony katodowej wszelkimi przewodzącymi drogami, a w tym:

- liniami zasilania elektroenergetycznego (najczęściej 230 V 50 Hz);
- liniami obwodu polaryzującego (prądowego), połączonego ujemnym biegunem z chronionym rurociągiem, którego zasadnicze elementy to: Stacja Ochrony Katodowej (SOK) jako źródło prądu, chroniony gazociąg oraz pomocnicza anoda;
- liniami obwodu kontrolnego (napięciowego) z elektrodą odniesienia i miliwoltomierzem, włączonym dla monitorowania wartości potencjałów na powierzchni chronionego gazociągu;
- liniami pomiarowymi, np. korozymetrycznymi;
- przewodami uziemiającymi obudowy urządzeń ochrony katodowej.

W rozpatrywanym środowisku elektromagnetycznym gazociągów głównym źródłem zaburzeń elektromagnetycznych są wyładowania atmosferyczne doziemne, a także wyładowania rozwijające się w chmurach. Wydaje się, iż znaczenie przepięć łączeniowych pochodzących z linii zasilania elektroenergetycznego w danym przypadku ma wtórne znaczenie.

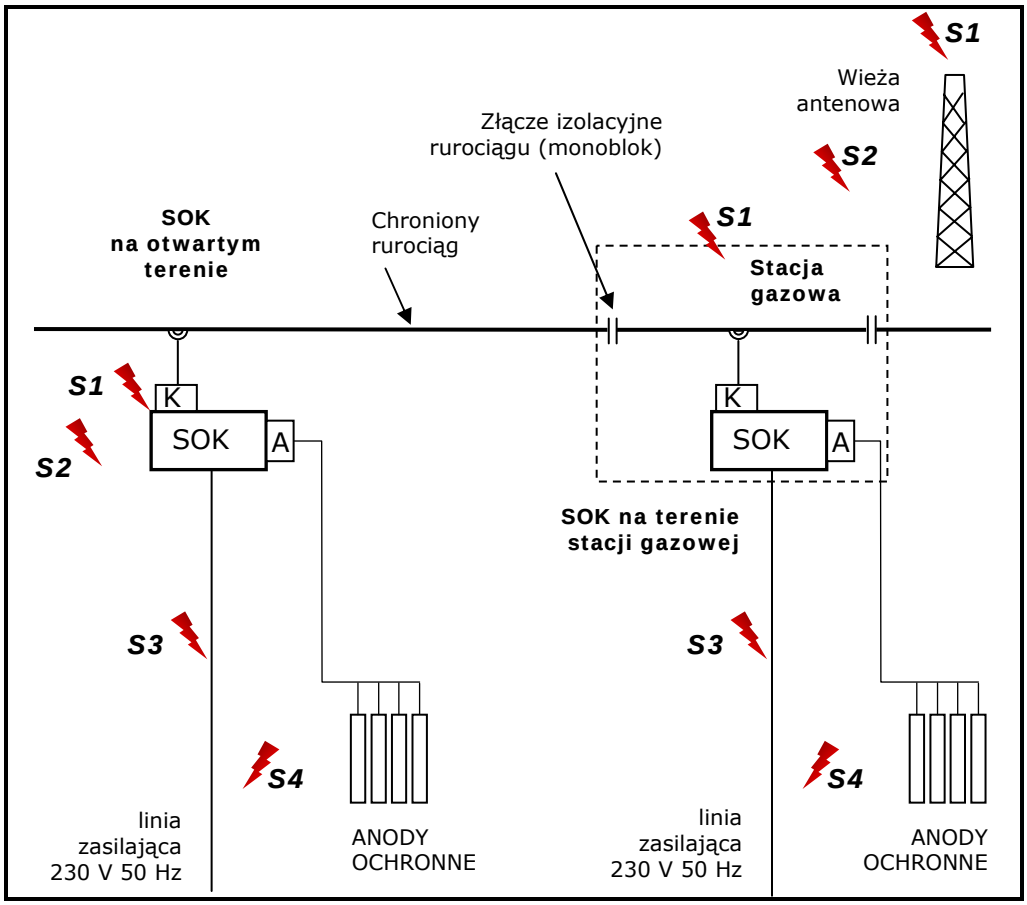
Należy przy tym zwrócić uwagę na fakt, iż pokrycie powłoką ochronną gazociągów dla celów ochrony katodowej w celu dobrego odizolowania stalowych rur od elektrolitu tworzonego przez glebę w rezultacie skutkuje utworzeniem na ich powierzchni warstwy o dużej rezystywności ($\geq 10^{12}$ Ωm) i znacznej wytrzymałości dielektrycznej (≥10 kV/mm). W związku z tym w przypadku bezpośredniego lub pośredniego (w wyniku indukcji elektromagnetycznej) oddziaływania prądu kanału piorunowego, energia przepięć będzie przemieszczać się wzdłuż rurociągów stalowych na znaczne odległości, o ile nie zostanie przekroczona wartość napięcia przebicia izolacji gazociągu.

Mając na uwadze stosowane obecnie zasady oceny zagrożenia piorunowego obiektów [2] należy podkreślić, iż uwzględnia się w nich wyłącznie wpływ wyładowań doziemnych, jednak w przypadku gazociągów, biorąc pod uwagę ich znaczne długości, wydaje się również

koniecznym uwzględnienie oddziaływania prądów wyładowań piorunowych rozwijających się w chmurach, nierzadko na znaczne odległości osiągające często100 km i więcej. Aktualnie brak jednak wypracowanej metodyki oceny tego zagrożenia.

Skupiając się na stosowanych zasadach oceny zagrożenia wyładowaniami atmosferycznymi doziemnymi w przypadku obiektów gazowniczych należy uwzględnić następujące oddziaływania pioruna z uwagi na miejsce jego uderzenia (rys.1):

- **S1:** bezpośrednie wyładowanie w obiekt (np. w stację gazową);
- **S2:** wyładowanie w pobliżu obiektu;
- **S3:** bezpośrednie wyładowanie w linię usługową (określenie wg nomenklatury norm ochrony odgromowej odnoszące się np. do linii zasilania elektroenergetycznego, rurociągów, linii pomiarowych i wszelkich innych linii wykonanych z materiałów przewodzących prąd elektryczny, które docierają z zewnątrz an teren analizowanego obiektu);
- **S4:** wyładowanie w pobliżu linii usługowej.



Rys. 1. Zagrożenie instalacji ochrony odgromowej wyładowaniami atmosferycznymi

3. Zagrożenie piorunowe instalacji ochrony katodowej rurociągów gazowych

Liczba wyładowań atmosferycznych, które mogą oddziaływać na obiekt zależy od średniej rocznej gęstości wyładowań w danym regionie $\boldsymbol{N_G}$ (1/km^2/rok), powierzchni zbierania wyładowań (rozmiarów i charakterystyki obiektu z przyłączonymi liniami usługowymi) i charakterystyki otaczającego środowiska (teren miejski/podmiejski/wiejski, obiekt odosobniony/otoczony wyższymi obiektami itp.). Jeśli wartość $\boldsymbol{N_G}$ nie jest znana oblicza się ją z zależności:

$$N_G \approx 0{,}1\ T_D \tag{1}$$

gdzie: T_D – liczba dni burzowych w danym rejonie w skali jednego roku kalendarzowego, określana na podstawie map izokeraunicznych. W Polsce wartość $N_G \approx$ 2-3.

Liczbę groźnych zdarzeń oblicza się mnożąc lokalną gęstość wyładowań piorunowych przez powierzchnię ich zbierania zgodnie z następującymi formułami:

a) na skutek wyładowań w obiekt:
$$N_D = N_G \times A_D \times C_D \times 10^{-6};$$
b) na skutek wyładowań blisko obiektu:
$$N_M = N_G \times A_M \times 10^{-6};$$
c) na skutek wyładowań w linię usługową:
$$N_L = N_G \times A_L \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6};$$
d) na skutek wyładowań w pobliżu linii:
$$N_I = N_G \times A_I \times C_I \times C_E \times C_T \times 10^{-6},$$

Powierzchnie zbierania wyładowań wyznaczane są w zależności od wymiarów geometrycznych obiektu oraz od długości przychodzących i wychodzących linii usługowych. Zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 62305-2 [2] do obliczania powierzchni zbierania wyładowań bezpośrednich trafiających w obiekt A_D wykorzystuje się metodę „3H": granica powierzchni zbierania wyznaczana jest w punkcie przecięcia prostej o nachyleniu 1:3 przechodzącej od skrajnych górnych części obiektu z płaszczyzną posadowienia obiektu. Powierzchnię zbierania wyładowań w pobliżu obiektu wyznacza się w promieniu 500 m od granic obiektu (A_M).

Powierzchnia zbierania wyładowań w linię zewnętrzną ograniczona jest bokami prostokąta o szerokości 40 m oraz długości L_L i określa się ją za pomocą wyrażenia

$$A_L \approx 40 \times L_L \tag{2}$$

gdzie: L_L – to długość sekcji linii (jeśli nie jest ona znana zakłada się, że L_L = 1000 m).

Powierzchnia zbierania wyładowań w pobliżu linii zewnętrznej ograniczona jest bokami prostokąta o szerokości 4000 m i długości L_L i określana jest za pomocą iloczynu

$$A_I \approx 4000 \times L_L \tag{3}$$

z czego należy wyciągnąć wniosek, iż brane są wyładowania w pasie do 2 km od linii usługowej.

Istotny wpływ na wartość powierzchni zbierania mają współczynniki korekcyjne C_x występujące w przedstawionych formułach:

C_D – współczynnik lokalizacji równy: 0,25 – gdy rozpatrywany obiekt otoczony wyższymi obiektami; 0,5 – gdy obiekt otoczony jest obiektami o tej samej wysokości

lub mniejszymi; 1,0 – gdy w otoczeniu brak innych obiektów (obiekt odizolowany), 2,0 – gdy obiekt odizolowany zlokalizowany jest na wzgórzu lub pagórku;

C_I – współczynnik instalacji linii usługowej równy: 1,0 – gdy rozpatrywana linia ułożona jest w gruncie, 0,5 – gdy linia poprowadzona jest nad ziemią, 0,01 – gdy linia jest całkowicie zakopana pod uziomem kratowym;

C_E – współczynnik środowiskowy równy: 1,0 – gdy rozpatrywana linia biegnie w terenie wiejskim, 0,5 – gdy linię ułożono w terenie podmiejskim, 0,1 – gdy linię poprowadzono w mieście, 0,01 – gdy linia biegnie w terenie miejskim z wysokimi budynkami;

C_T – współczynnik typu linii równy: 1,0 – dla linii zasilania elektroenergetycznego niskiego napięcia, telekomunikacyjnych, przesyłu danych, rurociągów, 0,2 – dla linii zasilania elektroenergetycznego wysokiego napięcia z transformatorem WN/ nn.

Szczegółowa analiza zagrożenia piorunowego stacji gazowych i związanych z tym ryzyk pojawiła się ostatnio w publikacji Stowarzyszenia Naukowo-Techniczne Inżynierów i Techników Przemysłu Naftowego i Gazowniczego [3]. Analiza ta została opracowana jednak na podstawie założeń wcześniejszej wersji norm odgromowych.

4. Statystyczna liczba groźnych zdarzeń w skali roku dla systemu ochrony katodowej rurociągów stalowych podczas wyładowań atmosferycznych

Dla oceny zagrożenia piorunowego instalacji ochrony katodowej rurociągów gazowych ograniczymy się do analizy dwóch przypadków przedstawionych na rys.1:

1) SOK jest zlokalizowana na terenie stacji gazowej i służy do ochrony jej wewnętrznych instalacji gazowych (działanie SOK na gazociągi magistralne ograniczają izolacyjne złącza na wejściu rurociągu na teren stacji),
2) SOK jest zlokalizowana na otwartym terenie i służy do ochrony gazociągu.

Analizie zostały poddane następujące lokalizacje Stacji Ochrony Katodowej:

Lokalizacja nr 1: Stacja SOK została zamontowana w na terenie stacji gazowej o wymiarach 2 x 20 x30 m, zasilanie stacji gazowej odbywa się linią napowietrzną, obiekt zagrożony wybuchem.

Lokalizacja nr 2: Stacja SOK została zamontowana w na terenie stacji gazowej jak wyżej, lecz dodatkowo dla transmisji sygnałów obok stacji ustawiono wieżę antenową o wysokości 60 m.

Lokalizacja nr 3: Stacja SOK została zlokalizowana na otwartym terenie, a jej zasilanie odbywa się linią napowietrzną.

Lokalizacja nr 4: Stacja SOK została zlokalizowana na otwartym terenie, a jej zasilanie odbywa się linią podziemną.

Obliczenia były prowadzone przy następujących założeniach:

a) lokalna gęstość wyładowań piorunowych w rozpatrywanym terenie wynosi: $N_g = 2{,}5$ wyładowania/km^2/rok;
b) do wyznaczenia powierzchni zbierania wyładowań bezpośrednich przyjmuje się obszar o wymiarach 20 m × 30 m i wysokości 2 m;
c) wymiary geometryczne stacji SOK są pomijalnie małe z punktu widzenia zagrożenia wyładowaniem bezpośrednim;
d) w obiekcie występują strefy zagrożenia wybuchem;

e) obiekty oraz linie usługowe: zasilania elektroenergetycznego, gazociągi i linie pomiarowe położone są w terenie odosobnionym
f) rozpatruje się dla uproszczenia, iż z liczby tzw. linii usługowych występujących w rozpatrywanej instalacji ochrony katodowej znaczący – ze względu na długość – wpływ na ryzyko uszkodzenia obiektu mają jedynie linie zasilające i gazociągi, przy czym:
   - stacja zasilana jest z napowietrznej linii energetycznej niskiego napięcia (zgodnie z zaleceniami normy PN_EN 62305-2 przy braku dokładnych danych o długości linii zakłada się L_c = 1000 m);
   - uwzględnia się dwa stalowe gazociągi: przychodzący i odchodzący (dla każdego przyjmuje się Lc = 1000 m);
   - gazociągi stalowe: zasilający stację i wychodzący ze stacji są izolowane od stacji (a więc i od uziomu stacji) ze względu na wymogi ochrony katodowej (Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 30 lipca 2001 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe (Dz. U. Nr 97, poz. 1055)), co realizuje się przez stosowanie złącz izolujących dla elektrycznego oddzielenia instalacji gazowych stacji od gazociągu;
   - dla uproszczenia zakłada się brak innych urządzeń usługowych (transmisja stanów systemów AKPiA odbywa się drogą radiową za pomocą modemu GSM, a linie: anodowa, drenażowa i sygnałowe są pomijalnie krótkie).

W tabelach 1 i 2 przedstawiono wyniki obliczeń zagrożenia piorunowego dla każdej z czterech omówionych wcześniej lokalizacji stacji ochrony odgromowej, które – dla łatwiejszego zrozumienia – przedstawiono w dwóch wariantach: jako statystyczną liczbę groźnych zdarzeń na rok i jako częstotliwość wystąpienia groźnych zdarzeń.

Obliczenia pokazują, iż zagrożenie piorunowe instalacji ochrony katodowej wyraźnie zależy od miejsca jej lokalizacji i sposobu zasilania. I tak:

- zagrożenie awariami SOK w wyniku bezpośrednich wyładowań atmosferycznych w stację gazową niską występuje raz na 90 lat, zaś po zamontowaniu w bezpośrednim sąsiedztwie stacji gazowej wieży antenowej o wysokości 60 m należy się ich spodziewać już co 4 lata;
- zagrożenie wyładowaniami piorunowymi w pobliżu wszystkich rozpatrywanych lokalizacji jest równe i należy się w takich przypadkach spodziewać zagrożenia z dość dużą częstotliwością, bo aż co pół roku;
- częstotliwość zagrożeń awariami SOK przy wyładowaniach w linię zasilającą poprowadzoną trasą napowietrzną wynosi jeden raz na 10 lat dla Lokalizacji 1 ÷ 3, a w przypadku opisanym w Lokalizacji 4; gdzie zakłada się ułożenie kabla zasilającego w gruncie, takich zdarzeń przy bezpośrednim wyładowaniu w kabel zasilający możemy spodziewać 2 razy rzadziej;
- spodziewana częstotliwość uszkodzenia SOK w wyniku bezpośrednich wyładowań w gazociąg wynosi również jeden raz na 10 lat, jak to ma miejsce dla bezpośrednich wyładowań w napowietrzna linię zasilania elektroenergetycznego;
- częstotliwość zagrożeń awariami SOK przy wyładowaniach w pobliżu analizowanych linii usługowych (zasilającej i gazowej) jest bardzo duża, gdyż należy się jej spodziewać nawet 1 raz w miesiącu i jest nieznacznie mniejsza dla SOK zlokalizowanego na otwartym terenie, gdy zasilanie odbywa się linią podziemną.

W tabeli 1 podano również, jakie środki ochrony, dobrane na podstawie przedstawionych wyliczeń, niezbędne są dla zapewnienia bezpiecznej pracy instalacji ochrony katodowej, gdzie dla przykładu: LPS klasy II – oznacza instalację odgromową odpowiadającą 2. poziomowi ochrony odgromowej, a SPD – LPL I – oznacza zespół skoordynowanej ochrony odgromowej dostosowanej do 1. poziomu ochrony odgromowej.

Tab. 1. Statystyczna liczba groźnych zdarzeń na rok

Źródło zagrożenia		Liczba groźnych zdarzeń na rok			
		Lokalizacja nr 1	Lokalizacja nr 2	Lokalizacja nr 3	Lokalizacja nr 4
Wyładowania bezpośrednie w obiekt	N_D	0,0111	0,2545	~0	~0
Wyładowania w pobliżu obiektu	N_M	2,0885	2,0885	1,9635	1,9635
Wyładowania w linię zasilającą	N_L^E	0,1	0,1	0,1	0,05
Wyładowania w pobliżu linii zasilającej	N_I^E	10	10	10	5
Wyładowania w gazociąg *	N_L^G	0,1	0,1	0,1	0,1
Wyładowania w pobliżu gazociągu *	N_I^G	10	10	10	10
Wymagane środki ochrony		LPS klasy II SPD – LPL I	LPS klasy I SPD – LPL I	SPD – LPL I	SPD – LPL I
* uwzględnienie gazociągu przychodzącego i odchodzącego					

Tab. 2. Statystyczna częstotliwość wystąpienia groźnych zdarzeń

Źródło zagrożenia		Częstotliwość wystąpienia groźnych zdarzeń (co jaki czas w latach)			
		Lokalizacja nr 1	Lokalizacja nr 2	Lokalizacja nr 3	Lokalizacja nr 4
Wyładowania bezpośrednie w obiekt	N_D	90,1	3,9	-	-
Wyładowania w pobliżu obiektu	N_M	6/12	6/12	6/12	6/12
Wyładowania w linię zasilającą	N_L^E	10	10	10	20
Wyładowania w pobliżu linii zasilającej	N_I^E	1/12	1/12	1/12	2/12
Wyładowania w gazociąg *	N_L^G	10	10	10	10
Wyładowania w pobliżu gazociągu *	N_I^G	1/12	1/12	1/12	1/12

* uwzględnienie gazociągu przychodzącego i odchodzącego

5. Wnioski

Analiza zagrożenia piorunowego instalacji ochrony katodowej potwierdza wnioski eksploatacyjne [1] o znacznym wkładzie przepięć przenikających do nich od strony chronionych rurociągów i linii zasilania elektroenergetycznego w ogólną liczbę odnotowywanych awarii.

Pomimo określonych niedokładności, jakimi charakteryzuje się metodyka obliczeń zagrożenia piorunowego przyjęta do stosowania w normach odgromowych [2] wnioski z przeprowadzonej analizy tego zagrożenia dla instalacji ochrony katodowej wyraźnie potwierdzają potrzebę stosowania odpowiednich środków ochronnych: instalacji odgromowej, skutecznych połączeń wyrównawczych oraz układów ochrony przed przepięciami o parametrach odpowiednich do spodziewanego zagrożenia piorunowego. Środki zabezpieczające należy dobierać na podstawie obowiązujących aktualnie przepisów i norm odgromowych po przeprowadzeniu każdorazowo (dla każdego obiektu) niezbędnej do tego celu oceny ryzyka występującego w obiekcie lub urządzeniu usługowym, jakim jest m.in. instalacja ochrony katodowej wskutek doziemnych wyładowań piorunowych.

Literatura

[1] Brodnicki T., Nowakowski B., *Przepięcia elektroenergetyczne jako główne źródło awaryjności systemu ochrony katodowej*, VII konferencja naukowo-techniczna „Współczesne Technologie Przeciwkorozyjne", Ostróda, 8–10.05.2013.

[2] PN-EN 62305-2:2012: Ochrona odgromowa – Część 2: Zarządzanie ryzykiem

[3] *Vademecum gazownika*, praca zbiorowa, *Infrastruktura przesyłowa i dystrybucyjna gazu ziemnego*, tom II: rozdział 3.4.9 *Ochrona odgromowa obiektów gazowniczych*, Stowarzyszenie Naukowo-Techniczne Inżynierów i Techników Przemysłu Naftowego i Gazowniczego, 2013, s. 1256.