

**IX Krajowa Konferencja
POMIARY KOROZYJNE W OCHRONIE ELEKTROCHEMICZNEJ
9-th National Conference
CORROSION MEASUREMENTS IN ELECTROCHEMICAL PROTECTION
7-9. 06. 2006 Zakopane, Poland**



**POMIARY OCHRONY KATODOWEJ RUROCIĄGÓW NA TŁOCZNI GAZU
CATHODIC PROTECTION SURVEY AT GAS COMPRESSOR STATION**

Maciej Markiewicz, Krystyna Zaborowska

Instytut Nafty i Gazu, Kraków
EuRoPol GAZ s.a., Warszawa

Słowa kluczowe: układy ochrony katodowej, skuteczność ochrony, sonda pomiarowa,
Keywords: CP arrangements, CP effectiveness, measuring probe

Streszczenie

Omówiono problemy zagrożenia korozyjnego i ochrony katodowej rurociągów w warunkach ich galwanicznego połączenia z siecią uziemiającą i zbrojeniami żelbetu. Przedstawiono sposoby koordynacji ochrony katodowej z ochroną odgromową i przeciwporażeniową oraz zasadę ochrony lokalnej. Porównano możliwe rozwiązania układów zasilania i układów anodowych. Zestawiono zaprojektowane i zrealizowane instalacje ochrony katodowej. Przedstawiono zakres pomiarów rozruchowych i eksploatacyjnych ochrony katodowej. Podkreślono potrzebę korzystania z sond pomiarowych dla oceny skuteczności ochrony katodowej. Omówiono wyniki pomiarów rozruchowych ochrony katodowej trzech tłoczni gazu zrealizowanej z użyciem anody kablowej i jednego źródła polaryzacji – galwanostatu. Przedstawiono kryteria ochrony katodowej tzw. złożonych konstrukcji.

Summary

The problem of corrosion hazard and cathodic protection concept of pipelines being galvanically coupled with grounding tape and concrete reinforcements has been described. Different ways of co-ordinating cathodic protection with protection against electric shock and lightning protection have been presented. The idea of local cathodic protection has been explained. Possible arrangements of impressed current systems and anodic groundbeds have been compared. The list of designed and erected CP installations at gas compressor stations has been given. The scope of CP survey at commissioning and during operation has been presented. The need of using measuring probes for the assessment of CP effectiveness has been underlined. The results of the survey at the commissioning of CP installations at three gas compressor stations comprising one constant current rectifier and cable anode run along pipelines have been discussed. CP criteria for so called complex structures have been given.

1. Zagrożenie korozyjne rurociągów na terenie tłoczni gazu

Ochrona katodowa gazociągów na terenie tłoczni gazu jest złożonym problemem, przede wszystkim ze względu na galwaniczne połączenie gazociągów z siecią uziemień, oraz, często ze zbrojeniami fundamentów żelbetowych. Połączenia te wynikają z wymagań ochrony odgromowej i przeciwporażeniowej [1,2]. Zbrojenia żelbetu mogą być celowo wykorzystane jako tzw. uziomy fundamentowe. Jeżeli nie są, to i tak prawdopodobne są przypadkowe połączenia prętów zbrojeniowych z częściami technologicznymi, np. poprzez śruby kotwiące armatury i urządzeń.

Galwaniczne połączenie rurociągów, sieci uziemiającej i zbrojeń żelbetu jest zwykle regułą na terenie istniejących obiektów. Natomiast w przypadku obiektów projektowanych można wyeliminować połączenia pomiędzy prętami zbrojeniowymi żelbetu a częściami technologicznymi. Korpusy elementów armatury i innych urządzeń umieszcza się na podkładach izolacyjnych z twardej gumy lub na płytach izolacyjnych, a śruby kotwiące wprowadza się w tuleje izolacyjne. Stalowe obejmy mocujące rurociągi do żelbetowych podpór umieszcza się w węzłach PCV zbrojonych włóknem szklanym względnie stosuje się podkładki gumowe.

Połączenia części technologicznych z siecią uziemiającą są nie do uniknięcia na terenie każdego, istniejącego lub projektowanego obiektu, ze względu na wymagania ochrony przeciwporażeniowej. Ponadto połączenie elementów technologicznych z rozległą siecią uziemień, na terenie obiektu gazowniczego, gdzie znajdują się strefy zagrożenia wybuchem, zapewnia pożądaną ekwipotencjalizację.

Pomiędzy stalowymi rurociągami, prętami zbrojeniowymi żelbetu i taśmą uziemiającą istnieją różnice potencjałów elektrochemicznych. Ponieważ wymienione konstrukcje znajdują się w tym samym elektrolicie glebowym, zaczynają funkcjonować ogniwa korozyjne: stal rurociągu – pręt zbrojeniowy, taśma ocynkowana – stal rurociągu oraz taśma ocynkowana – pręt zbrojeniowy.

Potencjał elektrochemiczny stali mieści się na ogół w granicach od około -350 mV do około -750 mV względem elektrody miedź / nasyc. siarczan miedzi. Mniej ujemne wartości potencjałów dotyczą konstrukcji eksploatowanych od dawna, pokrytych produktami korozji, a przy tym umieszczonych w glebach lekkich, dobrze natlenionych. Bardziej ujemne wartości dotyczą konstrukcji nowych, nie pokrytych produktami korozji, umieszczonych w glebach ciężkich, w których procesy katodowe odbywają się głównie z udziałem wodoru.

Pręty zbrojeniowe w alkalicznym środowisku betonu (pH powyżej 10), ulegają pasywacji, tj. pokrywają się ochronną warstwą tlenków żelaza. Potencjały elektrochemiczne spasywowanej stali mieszczą się zwykle w zakresie $-400 \div -200$ mV względem elektrody miedź / nasyc. siarczan miedzi. Spasywowany pręt nie koroduje. Jednak warstwy pasywacyjne są narażone na zniszczenie w wyniku karbonatyzacji betonu pod wpływem dwutlenku węgla oraz działania jonów chloru. Jeżeli więc do konstrukcji żelbetowej jest możliwy dostęp tlenu, a w betonie znajdują się chlorki, to warstwy pasywacyjne ulegają uszkodzeniom, pręty zaczynają korodować a ich potencjały obniżają się, zbliżając się do potencjałów eksponowanych powierzchni stalowych rurociągów. Dopóki warstwy pasywacyjne na powierzchni prętów zbrojeniowych pozostają nienaruszone, ochrona katodowa jest zbędna, a nawet niewskazana, bowiem prąd ochrony katodowej działa niszcząco na warstwy pasywacyjne. Pręt zbrojeniowy pozbawiony warstwy pasywacyjnej jest takim samym obiektem ochrony katodowej jak stalowy rurociąg. Jeżeli nie ma pewności co do stanu pasywacji prętów, to lepiej jest objąć konstrukcję żelbetową ochroną katodową. Podejście takie jest szczególnie uzasadnione w przypadku istniejących obiektów, eksploatowanych od wielu lat. Natomiast w przypadku obiektów nowych należy dołożyć starań, aby, po pierwsze, konstrukcja żelbetowa była dobrze odizolowana od elektrolitu glebowego i po drugie, aby nie było połączeń prętów zbrojeniowych ze stalowymi częściami

technologicznymi. Wówczas prąd ochrony katodowej nie będzie polaryzować prętów zbrojeniowych konstrukcji żelbetowych. Jeżeli rzeczywiście nie ma połączeń zbrojeń żelbetu z rurociągami, to niezależnie od tego czy pręty zbrojeniowe są czy nie są spasywowane, nie jest możliwa ich polaryzacja katodowa prądem pochodzącym z instalacji ochrony rurociągów.

Potencjał elektrochemiczny cynku wynosi -1100 mV względem elektrody miedź / nasyc. siarczan miedzi. Cienka powłoka cynkowa na powierzchni stalowej taśmy uziemiającej ulega stosunkowo szybko roztworzeniu. Potencjały taśmy ocynkowanej są mieszanymi potencjałami stali i cynku i są zwykle o $100 - 150$ mV bardziej ujemne od potencjałów stalowych rurociągów.

W galwanicznie połączonej podziemnej sieci metalowej najbardziej ujemna jest taśma uziemiająca, a najmniej ujemne są pręty zbrojeniowe. Stają się one katodami w powstających ogniach. Korodującymi anodami w stosunku do prętów zbrojeniowych są powierzchnie rurociągów w miejscach uszkodzeń powłoki izolacyjnej. Anodą w stosunku zarówno do zbrojeń żelbetu jak i do stalowych rurociągów jest taśma uziemiająca. Fakt jej roztwarzania ma na ogół drugorzędne znaczenie. Istotne niebezpieczeństwo dla stalowych rurociągów stanowią ogniwa utworzone z prętami zbrojeniowymi. Powierzchnia zbrojenia jest wielokrotnie większa od powierzchni niewielkiego defektu w powłoce izolacyjnej rurociągu. W rezultacie gęstość prądu na powierzchni rurociągu jest na tyle duża, że może to prowadzić do szybkiego postępu korozji. Należy więc, w przypadku nowego obiektu, zadbać w fazie projektowania i wykonawstwa o odizolowanie zbrojeń żelbetu od części technologicznych połączonych z podziemnymi rurociągami.

2. Zasady ochrony katodowej gazociągów na terenie tłoczni gazu

Ochrona katodowa gazociągów musi być skoordynowana z ochroną odgromową i ochroną przeciwporażeniową. Koordynacja polega na zastosowaniu zgodnych ze sztuką i z przepisami rozwiązań każdej ochrony, które równocześnie nie zakłócają funkcjonowania pozostałych ochron. Praktycznie wymagania ochrony przeciwporażeniowej i ochrony odgromowej są zbieżne, natomiast pozostają w sprzeczności do wymagań ochrony katodowej.

Idealnym rozwiązaniem z punktu widzenia potrzeb ochrony katodowej, byłoby elektryczne odizolowanie za pomocą złączy izolujących, podziemnych odcinków rurociągów od odcinków naziemnych połączonych z uziemionymi częściami technologicznymi. Jednak zainstalowanie kilkudziesięciu podziemnych złączy monolitycznych, tzw. monobloków jest kosztowne, a kontrola skuteczności izolującego działania układu zawierającego kilkadziesiąt czy nawet kilkanaście równoległych gałęzi jest trudna. Z tych względów elektryczne odizolowanie części podziemnych od naziemnych za pomocą złączy izolujących nie może być zalecane i praktycznie nie jest stosowane.

W przypadku obiektu niewielkiego, jakim jest np. stacja gazowa, lub zespół zaporowo – upustowy, koordynację ochrony katodowej z ochroną odgromową zapewnia zastosowanie iskierników uziemiających w instalacji ochrony odgromowej. Koordynację z ochroną przeciwporażeniową zapewnia zasilanie urządzeń elektrycznych poprzez transformatory separacyjne lub użycie wysokoczułych wyłączników różnicowo – prądowych wyłączających zasilanie przy przepływie wyzwalającego prądu różnicowego zamykającego swój obwód przez rezystancję uziemienia gazociągu; w obydwóch przypadkach uziemiony przewód ochronny nie jest wymagany. Jeżeli stacja gazowa jest odcięta złączami izolującymi od zewnętrznej sieci, to można zrealizować jej autonomiczną ochronę katodową bez wyżej opisaną koordynacji z ochroną odgromową i przeciwporażeniową. Rolę bezpośrednich uziemień w instalacji ochrony odgromowej i równocześnie dodatkowych uziemień w instalacji ochrony przeciwporażeniowej, pełnią wówczas anody galwaniczne zastosowane do ochrony katodowej gazociągów [3].

W przypadku tłoczni gazu, koordynacja ochrony katodowej z ochroną przeciwporażeniową na omówionych wyżej zasadach jest niewykonalna. Separacja elektryczna nie może być zastosowana z uwagi na niewystarczające moce transformatorów separacyjnych. Wyłączniki różnicowo – prądowe w układzie bez uziemionego przewodu ochronnego w zasadzie mogłyby być zastosowane, jednak w obiektach o wielu odbiorach elektroenergetycznych rozwiązanie to jest niepraktyczne.

Tak więc na terenie tłoczni części naziemne i podziemne są galwanicznie ze sobą połączone i stan taki należy traktować jako wyjściowy. W układzie zasilania elektroenergetycznego TN na uziemionym przewodzie PE (PEN) i na połączonych z nim częściach przewodzących dostępnych (biernych) utrzymywany jest potencjał ziemi. Koordynacja trzech ochron sprowadza się do zaprojektowania i zrealizowania skutecznej ochrony katodowej gazociągów w warunkach klasycznych rozwiązań ochrony odgromowej i ochrony przeciwporażeniowej. Stosuje się rozwiązania wywodzące się z koncepcji lokalnej ochrony katodowej (niem. lokaler kathodischer Korrosionsschutz) [4], która zakłada, że rurociągi są połączone z siecią uziemiającą a przede wszystkim ze zbrojeniami żelbetu.

Stosuje się ochronę prądem z zewnętrznego źródła. Stacja(e) ochrony katodowej współpracuje(a) z:

- głębokim uziomem anodowym, w razie potrzeby uzupełnionym pojedynczymi anodami w miejscach gdzie polaryzacja katodowa prądem dopływającym z głębokiego uziomu jest niewystarczająca,
- uziomem anodowym rozdzielonym, tj. składającym się z licznych pojedynczych anod, np. z żeliwa wysokokrzemowego zlokalizowanych blisko rurociągów,
- anodą kablową w postaci miedzianej linki w powłoce z przewodzącego polimeru, umieszczonej najczęściej fabrycznie w zasypce koksowej i ułożonej wzdłuż rurociągu

Ochronę katodową istniejącej tłoczni realizuje się w zasadzie metodą prób i błędów. Należy się liczyć z tym, że zaprojektowana konfiguracja obwodu anodowego może wymagać uzupełnień w postaci dodatkowych pojedynczych uziomów lub dodatkowych odcinków anody kablowej.

3. Układy zasilania obwodu ochrony katodowej oraz rozwiązania uziomów anodowych

Dotychczas w Polsce zostały zbudowane lub zaprojektowane następujące układy stacji ochrony katodowej i uziomów anodowych:

- A. Jeden prostownik z ręczną regulacją napięcia, głęboki uziom anodowy + ewentualnie pojedyncze uziomy płytkie w miejscach, gdzie nie będzie spełnione kryterium ochrony katodowej (projekt) – jest to rozwiązanie klasyczne
- B. Jeden lub dwa prostowniki z ręczną regulacją napięcia, dwa lub trzy płytkie uziomy anodowe (1 projekt, 1 realizacja)
- C. Trzy prostowniki z regulacją ręczną, uziom anodowy rozłożony (realizacja)
- D. Jeden prostownik galwanostat, uziom anodowy w postaci anody kablowej (4 realizacje)
- E. Kilkanaście prostowników potencjostatów, uziom anodowy w postaci anody kablowej (2 realizacje)

Z dotychczasowych doświadczeń z realizacjami ochrony katodowej tłoczni gazu lub podobnych obiektów wynika, że:

- dobrym rozwiązaniem w gruncie jednorodnym, niskoomowym jest instalacja składająca się z jednego prostownika współpracującego z anodą kablową + ewentualnie pojedyncze anody lub z uziomem rozłożonym,

- w gruncie niejednorodnym a przy tym wysokoomowym wskazanym byłoby zainstalowanie kilku prostowników galwanostatów współpracujących z anodą kablową + ewentualnie pojedyncze anody lub z uziomem rozłożonym,
- w przypadku istniejącego obiektu instalacja anody kablowej lub uziomów rozłożonych jest trudna. Należy stosować rozwiązanie klasyczne z jednym prostownikiem, z centralnym uziomem głębokim uzupełnionym lokalnymi pojedynczymi anodami lub rozwiązanie z kilkoma uziomami płytkimi.

Umieszczając uziom anodowy blisko konstrukcji ukierunkowuje się dystrybucję prądu ochrony katodowej, który mimo połączenia rurociągu z katodami (prętami zbrojeniowymi) i anodami (uziemiającymi) o niskiej rezystancji względem ziemi, dopływa do pozbawionych powłoki izolacyjnej powierzchni rurociągu. Oczywiście należy dołożyć starań, aby elementy żelbetowe zostały odizolowane od elementów technologicznych (płyty, tuleje, podkładki, rękawy) i od ziemi (folia, izolacja). Sieć uziemiającą umieszcza się w miarę możliwości jak najdalej od uziomu anodowego.

Ponadto, wskutek umieszczenia rozdzielonych anod lub anody kablowej blisko rurociągu, znajduje się on w obrębie stożka napięciowego uziomu anodowego, czyli w miejscu o podwyższonym potencjale ziemi [5]. Tym samym obniża się potencjał rurociągu względem ziemi, dzięki czemu prąd ochrony katodowej "łatwiej" wpływa do rurociągu, a czego dowodem są prądy płynące w połączeniach elektrod symulujących z rurociągiem. .

4. Pomiary ochrony katodowej rurociągów na tłoczni gazu

Pomiary przeprowadza się w ramach rozruchu oraz podczas eksploatacji instalacji ochrony katodowej. Pomiary eksploatacyjne obejmują kontrolę, przeglądy oraz ocenę sprawności instalacji i skuteczności ochrony katodowej.

W ramach kontroli i przeglądów mierzy się parametry wyjściowe stacji ochrony katodowej, potencjały zintegrowanej konstrukcji podziemnej w wybranych punktach, potencjały elektrod odniesienia, rezystancje elektrod symulujących i elektrod odniesienia.

Ocenę sprawności instalacji ochrony katodowej przeprowadza się na podstawie: analizy wyników pomiarów napięć anoda – katoda, analizy wyników pomiarów rozprywu prądu w obwodzie anodowym oraz sprawdzenia poprawności działania automatycznej stabilizacji prądu wyjściowego SOK (w przypadku galwanostatu).

Ocenę skuteczności ochrony katodowej rurociągów przeprowadza się na podstawie analizy wyników pomiarów:

- potencjałów polaryzacji katodowej (bez składowej IR) elektrod symulujących
- prądów polaryzacji katodowej elektrod symulujących,

W ramach badania sprawności i skuteczności ochrony katodowej sprawdza się też oddziaływanie ochrony katodowej tłoczni na gazociąg przesyłowy wchodzący do i wychodzący z tłoczni.

Rezystancje przejścia elektrod symulujących polaryzowanych katodowo mogą ulec znacznemu, kilkakrotnemu zwiększeniu w wyniku pokrywania się powierzchni elektrody warstwą osadów katodowych. Wzrost ten może być szczególnie wyraźny w pierwszym roku eksploatacji ochrony katodowej. Jeżeli jednak rezystancja przejścia elektrody jest nie do zmierzenia miernikiem uziemień, czyli przekracza 50 kΩ, to może to świadczyć o uszkodzeniu sondy lub całkowitym braku jej styku z gruntem.

5. Ocena skuteczności ochrony katodowej gazociągów - dlaczego sondy pomiarowe

Sonda pomiarowa jest to układ złożony z elektrody symulującej i elektrody odniesienia Cu/CuSO₄. Elektroda symulująca jest stalową płaską powierzchnią rzędu cm² lub 10 cm², umieszczoną blisko rurociągu, posiadającą dobry styk z gruntem, połączoną kablem

z obiektem ochrony katodowej, polaryzowaną, wraz z całym obiektem, prądem ochrony katodowej.

Potencjał załączeniowy gazociągu E_{Gon} zmierzony nawet względem elektrody odniesienia umieszczonej przy elektrodzie symulującej jest przede wszystkim potencjałem pobliskiej dużej nieizolowanej konstrukcji, galwanicznie połączonej z rurociągiem, jaką jest taśma uziemiająca.

Potencjał wyłączeniowy gazociągu E_{Goff} , zmierzony po wyłączeniu źródła prądu ochrony katodowej jest nadal przede wszystkim potencjałem taśmy uziemiającej, zakłóconym ponadto spadkami napięcia w ziemi wywołanymi prądami makroogniw, o elektrodach będących powierzchniami, które podczas pracy ochrony katodowej mogły zostać nierównomiernie spolaryzowane.

Jeżeli zamierzamy oceniać skuteczność ochrony katodowej rurociągu według PN-EN 12954 [6], to nie możemy porównywać z wartością kryterium ochrony ani potencjału załączeniowego ani wyłączeniowego zmierzonego w wyżej opisanych warunkach, ponieważ żaden z tych potencjałów nie jest potencjałem E_{IRfree} wolnym od omowego spadku napięcia IR.

Skuteczność ochrony katodowej rurociągu można wiarygodnie ocenić na podstawie pomiaru potencjału elektrody symulującej odłączonej na czas pomiaru od gazociągu w punkcie pomiarowym, przy równoczesnym wyłączeniu prądu ochrony katodowej. Jeżeli spełnione jest kryterium ochrony katodowej na powierzchni elektrody symulującej, to pobliskie defekty w powłoce izolacyjnej rurociągu o powierzchniach równych lub mniejszych od powierzchni elektrody symulującej, znajdujące się w gruncie o podobnej rezystywności, są również chronione katodowo.

Wartość potencjału sondy symulującej odczytuje się z edycji rejestracji przebiegu czasowego jej potencjału podczas chwilowego odłączenia sondy od gazociągu przy równoczesnym wyłączeniu prądu ochrony katodowej. Osoba oceniająca wyniki pomiarów skuteczności ochrony katodowej decyduje o tym, po jakim czasie od odłączenia sondy / wyłączenia SOK, odczytuje się wartość potencjału porównywaną z wartością kryterium ochrony katodowej. Osoba ta decyduje też o tym czy istnieje potrzeba rozładowania ładunku pojemnościowego, jaki może się pojawić pomiędzy sondą symulującą a elektrodą odniesienia i który fałszuje pomiar potencjału elektrochemicznego, zaniżając mierzoną wartość.

W gruntach wysokoomowych, zwłaszcza o zróżnicowanej rezystywności, równomierna dystrybucja prądu ochrony katodowej jest utrudniona. Są rejony, gdzie potencjały elektrod symulujących są nadmiernie ujemne, są też rejony gdzie potencjały elektrod są niewystarczająco ujemne. W pierwszym przypadku w pobliżu gazociągów nie ma taśmy uziemiającej, w związku z czym elektrody są jedynymi konsumentami prądu ochrony. W drugim przypadku prąd ochrony płynie przede wszystkim do taśmy uziemiającej. Układ nie reguluje samoczynnie rozptywu prądu. Trzeba więc wprowadzić regulację prądu ochrony katodowej. Rozwiązaniem nie jest z pewnością, co zostało wykazane przez pomiary, podział obwodu anodowego na gałęzie promieniowe i zasilanie każdej z nich z odrębnego zasilacza - potencjostatu. Potencjostaty stabilizują potencjały mieszane dodatkowo zakłócone spadkami napięcia od prądów wyrównawczych będących efektem automatycznie podejmowanych działań regulacyjnych w kilkunastu punktach. Natomiast w układzie anodowym pętlowym, z wieloma "podpętlami" i z licznymi punktami łączeniowymi, poprzez regulację oporową (rezystory i przerwy), metodą prób i błędów, można uzyskać właściwy rozptyw prądu ochrony, ograniczając prąd tam gdzie jest go za dużo i zwiększając tam gdzie taśma uziemiająca jest jego głównym konsumentem. Alternatywą dla regulacji rezystorowej w pętlach jest zastosowanie kilku galwanostatów w pętli.

6. Zestawienie danych projektowych i wyników pomiarów ochrony katodowej rurociągów na trzech tłoczniach gazu EuRoPol GAZ s.a.

Tablica 1. Zestawienie danych projektowych i wyników pomiarów rozruchowych ochrony katodowej trzech tłoczni gazu

	TG Ciechanów	TG Szamotuły	TG Zambrów
Powierzchnia gazociągów, m ²	6050	6570	6650
Długość taśmy uziemiającej, m	3860	3980	3860
Powierzchnia taśmy uziemiającej, m ²	262	271	262
Powierzchnia zbrojeń żelbetu, oszacowana, m ²	880	790	880
Rezystywność gruntu, Ωm	22 ÷ 25	28 ÷ 586	35 ÷ 58
Oblicz. prąd ochr. katodowej	14,1 A	13,36 A	14,1 A
Oblicz. napięcie SOK	7,93 V	10,3 V	9,23 V
Oblicz. prąd ochr. katodowej bez poboru prądu przez żelbet	5,3 A	5,44 A	5,31 A
Długość anody kablowej, m	2775	2290	2220
Rozruchowy prąd ochr. katod.	8,3 A	9,6 A	9,4 A
Rozruchowe napięcie SOK	3,35 V	4,12 V	3,2 V
Rozruchowe napięcie anoda – katoda	-	3,44 ÷ 2,45 V śr 2,80 V	2,52 ÷ 1,89 V śr. 2,03 V
E _{Gon}	-1,00 ÷ -1,42 V śr. -1,14 V	-1,14 ÷ -1,67 V śr. -1,36 V	-1,22 ÷ -1,66 V śr. -1,36 V
E _{Goff}	-0,94 ÷ -1,00 V*	-0,99 ÷ -1,00 V*	-0,96 ÷ -1,16 V śr. -1,07 V
E _{eskor} 1cm ²	-0,53 ÷ -0,86 V śr. -0,79 V	-0,56 ÷ -0,79 V śr. -0,74 V	-0,18 ÷ -0,80 V śr. -0,54 V
E _{esoff} 1cm ²	-0,72 ÷ -1,14 V śr. -1,02 V	-0,87 ÷ -1,40 V śr. -1,15 V	-0,96 ÷ -1,24 V śr. -1,09 V
E _{eskor} 10cm ²	-0,58 ÷ -0,86 V śr. -0,79 V	-0,43 ÷ -0,80 V śr. -0,72 V	-0,29 ÷ 0,80 śr. -0,53 V
E _{esoff} 10cm ²	-0,85 ÷ -1,18 V śr. -1,04 V	-0,81 ÷ -1,32 V śr. -1,09 V	-0,94 ÷ -1,18 V śr. -1,08 V

*tylko zespół podłączeniowy tłoczni

Na wszystkich tłoczniach ochrona katodowa została zrealizowana w układzie: jeden prostownik galwanostat, anoda kablowa jako uziom anodowy w postaci pętli z licznymi „podpętlami”. Zaprojektowany układ zapewnił równomierny rozptyw prądu ochrony katodowej, bez potrzeby modyfikacji w fazie rozruchu i bez regulacji rezystorowej. Ocena skuteczności ochrony katodowej gazociągów przeprowadzona na podstawie wyników pomiarów potencjałów elektrod symulujących, zgodnie z PN-EN 12954, wykazała, że:

- na TG Ciechanów kryterium ochrony -0,87 V jest niespełnione na powierzchni 2 elektrod symulujących na 37;

Są to elektrody zainstalowane przy punkcie pomiarowym S24. Potencjał elektrody 10 cm² wyniósł -0,85 V, a więc był wyższy od wartości przyjętego kryterium zaledwie o 0,02 V. natomiast elektroda 1 cm², pobierająca bardzo duży prąd ochrony została najprawdopodobniej

zwarta z taśmą uziemiającą i stała się przez to niewiarygodna. Fakt ten ma drugorzędne znaczenie skoro większa elektroda 10 cm^2 jest prawie w 100% chroniona.

- na TG Szamotuły kryterium ochrony $-0,87\text{ V}$ jest niespełnione na powierzchni jednej elektrody symulującej na 39;

Jest to elektroda 10 cm^2 zainstalowana przy punkcie pomiarowym PP4 na ZPT. Jej potencjał $-0,81\text{ V}$ jest tylko o 60 mV wyższy od wartości przyjętego kryterium. Należy natomiast podkreślić, że wartość potencjału $-0,81\text{ V}$ spełnia dwa kryteria ochrony katodowej wymienione w prEN14505 [7] (patrz p.7).

- na TG Zambrów kryterium ochrony $-0,87\text{ V}$ jest spełnione na powierzchni wszystkich 35 elektrod symulujących.

Jak się okazuje, przy nastawionych prądach polaryzacji, na blisko 20% elektrod symulujących występują wysokie ujemne potencjały. I tak:

- na TG Ciechanów potencjały $E_{\text{es,off}} < -1150\text{mV}$ występują na jednej elektrodzie 10 cm^2 ,

- na TG Szamotuły potencjały $E_{\text{es,off}} < -1150\text{mV}$ występują na 7 elektrodach 1 cm^2 i 8 elektrodach 10 cm^2

- na TG Zambrów potencjały $E_{\text{es,off}} < -1150\text{mV}$ występują na dwóch elektrodach 1 cm^2 i dwóch elektrodach 10 cm^2

Jak wiadomo, w aktualnej normie PN-EN 12954 [6], nie ma pojęcia nadmiernego ujemnego potencjału ochrony katodowej. Niezależnie jednak od tego, wymienione wartości potencjałów są niepotrzebnie wysokie. Przy najbliższych pomiarach eksploatacyjnych nastawione podczas rozruchu i utrzymane po kilku miesiącach eksploatacji prądy ochrony katodowej będą odpowiednio zmniejszone. To, że początkowe prądy ochrony katodowej nie przekraczają 10 A , a co więcej mogą być jeszcze obniżone, dowodzi, że żelbet został najprawdopodobniej w około 80% skutecznie odizolowany od rurociągów i taśmy uziemiającej. Z drugiej jednak strony przyczyną wysokich ujemnych potencjałów elektrod symulujących może być utrzymujący się ładunek pojemnościowy pomiędzy elektrodą symulującą a elektrodą odniesienia. Powoduje on, że potencjał elektrody symulującej zmierzony po jej odłączeniu od rurociągu, w bardzo wielu przypadkach nie różni się od potencjału wyłączeniowego zintegrowanej konstrukcji a często jest od niego bardziej ujemny.

7. Ochrona katodowa tłoczni gazu jako tzw. złożonej konstrukcji

Według prEN14505 [7] konstrukcja złożona jest to konstrukcja składająca się z konstrukcji chronionej oraz jednej lub kilku konstrukcji obcych (elektrod), które ze względów bezpieczeństwa lub technicznych nie mogą być od niej odłączone. Definicja powyższa nadaje się doskonale dla tłoczni gazu. Normę prEN14505 należy stosować, jeżeli ochrona katodowa złożonej konstrukcji nie może być zrealizowana zgodnie z wymaganiami PN-EN12954.

Dla oceny skuteczności ochrony katodowej złożonej konstrukcji stosuje się kryteria alternatywne w stosunku do kryteriów określonych w PN-EN12954, wynikające z doświadczenia i pozwalające upewnić się, że uzyskano wystarczające zmniejszenie szybkości korozji. Są to następujące kryteria:

1. Potencjał Eon jest równy lub bardziej ujemny niż $-1,2\text{ V}$ wzgl. Cu/CuSO_4 , jeżeli miejsce pomiaru znajduje się poza obrębem oddziaływania dużej katody (np. żelbetu lub miedzi), a rezystywność gruntu jest wystarczająco niska (poniżej $100\Omega\text{m}$).

W miejscach wejścia konstrukcji do lub jej przebiegu w pobliżu konstrukcji żelbetowych lub rozległych uziomów miedzianych działających jak obce katody, wystarczający jest potencjał Eon bardziej ujemny niż $-0,8\text{ V}$ wzgl. Cu/CuSO_4 . (potencjał Eon = $-0,8\text{ V}$ zapobiega tworzeniu się ogniw galwanicznych ze stałą zbrojeniową).

2. Prąd ochrony katodowej wpływa do konstrukcji. Świadczy o tym:

a) ujemne przesunięcie potencjału konstrukcji w punkcie pomiarowym w stosunku do potencjału korozyjnego Ekor przynajmniej o 0.3V po włączeniu prądu ochrony katodowej,

b) przepływ prądu w kablu łączącym elektrodę symulującą z konstrukcją.

3. Potencjał elektrody symulującej przesuwa się w kierunku dodatnim (depolaryzacja) o przynajmniej 0.1V po 1 godz. od odłączenia elektrody od konstrukcji, co wykazuje, że konstrukcja została spolaryzowana.

Jeżeli kryterium 3 jest spełnione to tym samym jest spełnione kryterium 2b. Nie można ich stosować oddzielnie jako dwóch różnych kryteriów. Dla oceny skuteczności ochrony katodowej należy posłużyć się przynajmniej dwoma z wymienionych kryteriów.

Nie zawsze mimo znacznego prądu ochrony dostarczanego do konstrukcji z odległego uziomu anodowego uzyskuje się wymagany potencjał konstrukcji.. Wówczas należy lokalnie podwyższyć potencjał ziemi w pobliżu konstrukcji, co jest równoznaczne z obniżeniem potencjału konstrukcji. Efekt ten uzyskuje się przez umieszczenie uziomu anodowego w pobliżu konstrukcji, przez co znajdzie się ona w obszarze stromego gradientu napięcia anodowego, czyli podwyższonego potencjału ziemi.

8. Podsumowanie

W jednorodnym, niskoomowym gruncie, w warunkach ekwipotencjalizacji zrealizowanej w wyniku galwanicznego połączenia rurociągów z siecią uziemiającą, w pełni możliwa jest ochrona katodowa rurociągów prądem z zewnętrznego źródła dostarczanym przez jeden prostownik – galwanostat współpracujący z anodą kablową ułożoną wzdłuż rurociągów w postaci pętli. Przy naturalnym, nieregulowanym rozplywie prądu ochrony katodowej, spełnione jest na terenie całego obiektu kryterium ochrony katodowej według PN-EN 12954. Jest to, w przypadku tłoczni, kryterium wymagające.

W gruncie wysokoomowym, niejednorodnym wskazane jest zastosowanie kilku prostowników – galwanostatów. W żadnym przypadku nie jest zalecana praca potencjostatyczna jednego a zwłaszcza wielu prostowników.

Jeżeli skuteczność ochrony katodowej ma być oceniana według PN-EN 12954, to potencjałem porównywanym z potencjałowym kryterium ochrony katodowej winien być potencjał elektrody symulującej odłączonej podczas wykonywania pomiaru od rurociągu przy równoczesnym wyłączeniu prądu ochrony katodowej.

Jeżeli skuteczność ochrony katodowej ma być oceniana według prEN 14505, to w zależności od przyjętego kryterium ochrony katodowej, należy się posługiwać bądź potencjałem złączeniowym zintegrowanej konstrukcji (rurociąg + taśma uziemiająca + ewent. żelbet), bądź potencjałem elektrody symulującej odłączonej od zintegrowanej konstrukcji.

W każdym przypadku potencjał wyłączeniowy zintegrowanej konstrukcji jest niemiarodajny dla oceny skuteczności ochrony katodowej rurociągu.

Literatura

- [1] PN-86/E-05003.01: *Ochrona odgromowa obiektów budowlanych. Wymagania ogólne*
- [2] PN-92/E-05009.41: *Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych. Ochrona zapewniająca bezpieczeństwo. Ochrona przeciwporażeniowa*
- [3] Markiewicz M., Kilijański K.: *Koordinacja ochron: katodowej, odgromowej i przeciwporażeniowej na stacjach gazowych*, Nafta – Gaz, nr 4/2000, s.221-229

- [4] AfK Empfehlung nr 9: *Lokaler kathodischer Korrosionsschutz von unterirdischer Anlagen in Verbindung mit Stahlbeton Fundamenten*
- [5] Baeckmann W., Schwenk W.: *Handbook of Cathodic Corrosion Protection*, Gulf Publishing Company, Houston, Texas, 1997
- [6] PN-EN 12954: *Ochrona katodowa konstrukcji metalowychw gruntach lub w wodach. Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów*
- [7] prEN 14505: *Cathodic protection of complex structures*, June 2002