

Paweł Stochaj

Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy

Problem zastosowania ochrony katodowej na obiektach złożonych

W artykule omówiono zagrożenia wynikające z istnienia na obiekcie konstrukcji żelbetowych i taśmy uziemiającej. Przedstawiono problem występowania ogniw korozyjnych, mających wpływ na poprawne działanie ochrony katodowej chronionego obiektu. Ponadto omówiono sposoby koordynacji ochrony katodowej z ochroną przeciwporażeniową i ochroną odgromową. Pokróćce przedstawiono rozwiązania instalacji ochrony katodowej na obiektach złożonych.

Słowa kluczowe: potencjał, koordynacja, ogniwo korozyjne, ochrona katodowa, obiekt złożony.

The problem with applying cathodic protection to complex objects

This article discusses the dangers arising from the existence of reinforced concrete structures and earthing tapes on the site. The problem of the occurrence of corrosive cells affecting the proper operation of the cathodic protection of the protected object is presented. In addition, methods of coordinating cathodic protection with shock protection and lightning protection are discussed. The solutions for cathodic protection installation on complex objects are briefly presented.

Key words: potential, coordination, corrosion cells, cathodic protection, complex object.

Wstęp

O stanie technicznym podziemnych konstrukcji decyduje w dużej mierze korozja. Zjawisko to dotyczy zarówno stalowych rurociągów przesyłowych, dystrybucyjnych, technologicznych, jak i podziemnych lub zakopcowanych stalowych zbiorników. Znajdują się one na terenach takich obiektów jak tłocznie gazu lub paliw naftowych, stacje gazowe czy też stacje pomp i zasuw należące do systemu przesyłowego ropy, gazu i wody.

W przemyśle naftowym i gazowniczym, a także wodociągowym od wielu lat stosuje się systemy ochrony przed korozją. Stalowe konstrukcje – głównie rurociągi, ale też zbiorniki i armatura umieszczona w ziemi – podlegają oddziaływaniom różnych czynników korozyjnych, które w mniejszy lub większy sposób przyśpieszają procesy korozji. Wprawdzie według statystyk przesył rurociągami jest jednym z najbezpieczniejszych rodzajów transportu paliw, jednak awarie się zdarzają, czasem z poważnymi skutkami [1]. Aby przeciwdziałać procesom korozji, obecnie stosuje się bierną i czynną ochronę przed tym zjawiskiem.

Ochrona bierna realizowana jest głównie przez różnego rodzaju powłoki izolacyjne, mające za zadanie odseparowa-

nie chronionej konstrukcji od środowiska korozyjnego – najczęściej elektrolitu, z którym się styka. Powłoka izolacyjna ma również w wielu przypadkach zastosowanie jako ochrona mechaniczna, której zadaniem jest ochrona przed twardymi i ostrymi elementami znajdującymi się w ziemi, takimi jak kamienie, korzenie czy też inne konstrukcje, oraz przed ingerencją osób trzecich w integralność konstrukcji, np.: uszkodzeniami mechanicznymi spowodowanymi pracą koparki. Właściwa eksploatacja powinna zapewnić integralność konstrukcji. Pod pojęciem integralności konstrukcji rozumie się taki jej stan techniczny, który pozwala na bezpieczny i ciągły przesył transportowanego medium [2].

Ochrona czynna jest realizowana przez ochronę stałym prądem elektrycznym dostarczanym z zewnętrznego źródła. Ochrona czynna dzieli się na ochronę katodową i ochronę anodową. Ochrona katodowa, będąca najbardziej popularnym rodzajem ochrony czynnej, polega na dostarczeniu do chronionej konstrukcji prądu o takich parametrach, które spowodują zahamowanie procesów korozji do wartości założonego kryterium ochrony katodowej. Zgodnie z normą PN-EN 12954:2004

szybkość korozji jest na akceptowalnym niskim poziomie, jeśli jest nie większa niż 0,01 mm/rok [5]. Jednakże spełnienie tego kryterium na obiekcie złożonym jest trudne do realizacji i wymaga wielu działań, aby ochrona przed korozją była skuteczna.

Podstawowym zagadnieniem na obiektach złożonych jest koordynacja ochrony katodowej z ochroną odgromową i przeciwporażeniową. Niestety sposoby koordynacji tych systemów ochrony różnią się w zależności od wielkości obiektu. Rozwiązania sprawdzające się na obiektach dużych, typu

łoczni gazu, najczęściej nie mają zastosowania na małych obiektach typu stacja gazowa. Dlatego też każdą instalację ochrony przed korozją powinno się projektować i wykonywać indywidualnie. W przypadku obiektów starszych, które nie zostały jeszcze objęte systemem ochrony katodowej, niezbędne jest jak najszybsze zabezpieczenie ich taką ochroną. Starzejące się instalacje technologiczne stwarzają potencjalne ryzyko awarii, które nie może być całkowicie wyeliminowane [3].

Problem występowania ogniw korozyjnych na obiekcie złożonym

Na terenie obiektu złożonego występują 3 rodzaje podziemnych konstrukcji:

- stalowe rurociągi wraz z armaturą,
- stalowe zbrojenia fundamentów żelbetowych,
- wykonana z ocynkowanej taśmy stalowej sieć uziemiająca.

Wszystkie te trzy rodzaje podziemnych konstrukcji są umieszczone w ziemi we wspólnym elektrolicie glebowym, dlatego pomiędzy tymi konstrukcjami występują różnice potencjałów elektrochemicznych. Różnice te powodują występowanie ogniw korozyjnych:

- stal konstrukcji–pręt zbrojeniowy,
- taśma ocynkowana–stal rurociągu,
- taśma ocynkowana–pręt zbrojeniowy.

Potencjał elektrochemiczny stali waha się w granicach od -450 mV do -750 mV względem elektrody miedź/nasycony siarczan miedzi (Cu/CuSO_4), przy czym bardziej ujemne potencjały odnoszą się do konstrukcji nowych, niepokrytych produktami korozji, które znajdują się w glebach ciężkich i których procesy katodowe odbywają się głównie przy udziale wodoru. Mniej ujemne wartości potencjałów dotyczą konstrukcji starszych, umieszczonych w glebach lekkich dobrze natlenionych, eksploatowanych od dawna i pokrytych produktami korozji.

Pręty zbrojeniowe umieszczone w alkalicznym środowisku betonu ulegają pasywacji, tj. pokrywają się ochronną warstwą tlenków żelaza. Spasywowany pręt nie koroduje i jego potencjał mieści się zazwyczaj w zakresie od -300 mV do -200 mV. Jednak stan ten nie jest stabilny, gdyż warstwa pasywacyjna pokrywająca stalowe pręty może ulec zniszczeniu wskutek karbonatyzacji betonu pod wpływem tlenku węgla(IV) oraz niszczącego działania jonów chloru. Korozja prętów jest wywołana przez dostający się do konstrukcji żelbetowej tlen oraz przez znajdujące się w betonie chlorki, które powodują zniszczenie warstwy pasywacyjnej. W wyniku tego następuje obniżenie potencjału do poziomu zbliżonego do potencjału odkrytych powierzchni stalowych konstrukcji. Gdy warstwy pasywacyjne na powierzchni stalowych prętów konstrukcji żelbetowej są nienaruszone, ochrony katodowej nie powinno się

stosować, gdyż zbyt duży i niekontrolowany prąd może spowodować zniszczenie tych warstw.

Gdy warstwy pasywacyjne ulegają uszkodzeniu, włącza się ochronę katodową. Niewielka polaryzacja katodowa prętów spowoduje obniżenie się potencjałów, co utrudni migrację ujemnych jonów chloru do ich powierzchni, powodując zahamowanie procesów niszczenia warstwy pasywacyjnej. Jednak gdy pozbawi się pręty zbrojeniowe warstwy pasywacyjnej, to należy je włączyć do ochrony katodowej jak stalową konstrukcję. To rozwiązanie powinno się stosować w przypadku obiektów eksploatowanych od wielu lat. W przypadku nowych konstrukcji już na etapie budowy obiektu powinno się dołożyć wszelkich starań, by konstrukcję żelbetową odizolować od elektrolitu glebowego oraz odizolować stalowe pręty zbrojeniowe od stalowych elementów konstrukcyjnych obiektu, co pozwoli uniknąć zbędnej polaryzacji prętów zbrojeniowych.

Stalowa taśma uziemiająca jest pokrywana cienką warstwą cynku, którego potencjał elektrochemiczny względem elektrody Cu/CuSO_4 wynosi około -1100 mV. Niestety warstwa cynkowa w gruncie ulega dość szybkiemu rozтворzeniu, przez co potencjał taśmy w rzeczywistości stanowi wypadkową potencjału stali i cynku i jest o 100 mV do 150 mV bardziej ujemny od potencjału stalowych rurociągów.

W galwanicznie połączonej stalowej podziemnej sieci taśma uziemiająca jest najbardziej ujemna, a najmniej ujemne są pręty zbrojeniowe, które pełnią rolę katod w powstałych ogniwach. Korodującymi anodami w stosunku do prętów zbrojeniowych stają się powierzchnie rurociągów w miejscach, gdzie występuje nieciągłość powłoki izolacyjnej konstrukcji. Ocynkowana taśma w stosunku do rurociągów, jak i prętów zbrojeniowych staje się anodą. Roztworzenie taśmy uziemiającej nie jest istotne i ma drugorzędne znaczenie w obliczu niebezpieczeństwa, jakie stanowi utworzenie ogniw pomiędzy chronioną konstrukcją a prętami żelbetu. Powierzchnia prętów jest wielokrotnie większa od powierzchni niewielkich defektów w powłoce izolacyjnej konstrukcji. W wyniku tego gęstość prądu na powierzchni defektu powłoki izolacyjnej konstrukcji może być na tyle duża, by doprowadzić do szybkiego postępu korozji.

Współpraca ochrony katodowej z ochroną przeciwporażeniową i odgromową

Na terenach małych i dużych obiektów złożonych współpraca ochrony katodowej z ochroną przeciwporażeniową i odgromową może znacznie się różnić. Dla prawidłowo działającej ochrony katodowej idealnym rozwiązaniem byłoby całkowite odizolowanie podziemnej konstrukcji od naziemnych części technologicznych. W przypadku rurociągów można to osiągnąć za pomocą izolujących złączy oraz przekładek mających na celu odizolowanie chronionej konstrukcji od części technologicznych (np. armatury od żelbetu). Jest to dość trudne i kosztowne rozwiązanie, gdyż kontrola skuteczności izolującego działania złączy w przypadku kilku równoległych gałęzi obwodu anodowego jest bardzo trudna do przeprowadzenia.

Na terenie małych obiektów współpracę trzech ochron powinno realizować się poprzez:

- rozwiązanie sieci uziemiającej w taki sposób, by można ją było wykorzystać do ochrony katodowej chronionego obiektu,
- nieuziemiać części przewodzących połączonych z konstrukcją (rurociągami) i niełączyć ich z uziemionym przewodem PE (PEN).

W przypadku wykorzystania sieci uziemiającej do ochrony katodowej obiektu ochrona ta powinna być realizowana przy użyciu anod galwanicznych, które spełnią jednocześnie rolę bezpośrednich uziemień w instalacji odgromowej i dodatkowych uziemień w instalacji ochrony przeciwporażeniowej. Zastosowanie anod galwanicznych powinno być ograniczone do gruntów o rezystywności poniżej 100 Ωm i do obiektów, których zapotrzebowanie na prąd ochrony katodowej wynosi około 0,01 mA/m² [5]. Ponadto powłoka izolacyjna konstrukcji powinna mieć izolację co najmniej rzędu 10⁴ Ωm^2 . Tego typu ochronę katodową można zrealizować na obiektach typu podziemne zbiorniki na stacji paliw lub stacje gazowe, których konstrukcje da się wydzielić za pomocą złączy izolujących czy też monobloków.

Na małych obiektach z liczną naziemną armaturą w ramach ochrony odgromowej należy uziemić naziemne części technologiczne połączone metalicznie z chronioną katodowo konstrukcją poprzez iskierniki ochronne. Do celów ochrony przeciwporażeniowej powinno się zastosować separację elektryczną lub szybkie samoczynne wyłączanie z wykorzystaniem wysokoczułego wyłącznika różnicowoprądowego. Separację elektryczną można uzyskać, stosując zasilanie urządzeń elektroenergetycznych poprzez transformatory separacyjne, w których obwodu separowanego i zasilanych z niego odbiorników nie wolno uziemiać, zerować ani łączyć z innym obwodem elektrycznym. Wydzielony obwód traktujemy jako wyspę w układzie TT – dzięki zastosowaniu wyłącz-

nika różnicowoprądowego samodzielnie wyłączającego zasilanie obwodu wydzielonego z obwodu zasilania układu TN. W układzie TT części przewodzące są uziemione, lecz uziom nie mają galwanicznego połączenia z punktem neutralnym i nie występuje przewód PE. Uziom, do którego są przyłączone części technologiczne przewodzące, powinien posiadać odpowiednią rezystancję, dostosowaną do prądu wyzwajającego wyłącznika różnicowoprądowego. Rolę takiego uziomu może spełniać konstrukcja chroniona katodowo. Jeżeli jej rezystancja spełnia warunek:

$$R_g \cdot I_{\Delta n} \leq 50 \text{ V}$$

gdzie: $I_{\Delta n}$ – prąd znamionowy wyłącznika różnicowoprądowego, to można nie łączyć dostępnych przewodzących części technologicznych z przewodem ochronnym.

Niestety w większości przypadków sposoby współpracy trzech ochron wykorzystywane na małych obiektach złożonych nie mają zastosowania na obiektach dużych. Praktyczna separacja za pomocą transformatorów separacyjnych nie jest możliwa z uwagi na małe moce tych transformatorów, a zastosowanie wyłączników różnicowoprądowych w układzie bez uziemionego przewodu ochronnego przy wielu odbiorach elektroenergetycznych nie jest praktyczne.

Rozwiązaniem w zakresie współpracy ochrony katodowej i ochrony odgromowej jest wykorzystanie iskierników ochronnych w połączeniach przewodów instalacji odgromowej naziemnych części technologicznych z siecią uziemiającą. W ramach ochrony przeciwporażeniowej zaleca się stosowanie urządzeń ograniczających przepływ prądu stałego z połączeniem przewodzących części technologicznych z przewodem ochronnym PE (PEN) lub połączenie przewodu ochronnego PE (PEN) z siecią uziemiającą. Działanie ograniczników prądu stałego polega na tym, że w stanie normalnej pracy sieci elektroenergetycznej ogranicznik zapewnia przerwę izolacyjną. Gdy pojawi się napięcie większe niż napięcie bezpieczne 50 V, np. w wyniku uszkodzenia izolacji na części przewodzącej, następuje doziemienie części przewodzącej przez urządzenia zwierające, a w konsekwencji szybkie wyłączenie uszkodzonego obwodu przez zabezpieczenie nadprądowe lub różnicowoprądowe.

Na terenie dużego obiektu złożonego należy zaprojektować i wykonać ochronę katodową podziemnej infrastruktury technologicznej w stanie jej galwanicznego zwarcia z siecią uziemiającą i jeśli to konieczne z powodu braku możliwości odizolowania konstrukcji technologicznej od żelbetu – ze zbrojeniami żelbetu. Prąd ochrony katodowej będzie polaryzować nie tylko konstrukcję chronioną katodowo, ale również będzie wpływać do żelbetu i sieci uziemiającej. Dzięki temu rozwiązaniu

ogranicza się funkcjonowanie obcych katod, jakimi są zbrojenia żelbetu, obniżając oddziaływanie ogniów korozyjnych pomiędzy zbrojeniem a rurociągiem. W ten sposób w pełni wykorzystujemy możliwości ochrony katodowej chronionej konstrukcji. Ponadto zastosowanie lokalnej ochrony katodowej pozwala na współdziałanie ze sobą trzech ochron: kato-

dowej, przeciwporażeniowej i odgromowej, ponieważ nie wymaga wprowadzenia specjalnych technicznych środków. Wymaga natomiast takiego rozwiązania ochrony katodowej chronionej konstrukcji, które zapewni jej funkcjonowanie w warunkach połączenia chronionej konstrukcji z siecią uziemiającą i ewentualnymi zbrojeniami żelbetu.

Rozwiązania instalacji ochrony katodowej na obiektach złożonych

W zależności od wielkości obiektów oraz warunków występujących na obiekcie stosuje się następujące rozwiązania instalacji ochrony katodowej:

- Płytki, centralnie umieszczony uziom(y) – to rozwiązanie stanowi przykład klasycznej konwencjonalnej ochrony katodowej. Jest to jedno z najprostszych rozwiązań instalacji ochrony katodowej na obiekcie złożonym. Instalację stanowi ochrona prądem z zewnętrznego źródła (SOK) z jednym centralnym lub kilkoma płytkami uziomami anodowymi. Zadaniem prądu ochrony katodowej jest dotarcie poprzez płytko umieszczony uziom do wszystkich miejsc nieszczelności w izolacji chronionej konstrukcji i zapewnienie odpowiedniego potencjału, który spełni założone kryterium ochrony. Z reguły jednak rozbudowuje się instalacje o kilka płytkich uziomów anodowych rozstawionych na terenie obiektu w celu zapewnienia lepszej dystrybucji prądu ochrony katodowej. Konwencjonalna ochrona katodowa ma zastosowanie głównie na obiektach o niedużej powierzchni i z powodów ekonomicznych nie projektuje się instalacji o złożonej budowie.
- Uziom anodowy centralny (głęboki) wraz z pojedynczymi uziomami płytkimi – ten rodzaj instalacji ochrony katodowej wykonuje się z centralnie umieszczonym, na ogół głębokim uziomem wraz z pojedynczo lokalnie umiejscowionymi płytkimi anodami. To rozwiązanie stosuje się między innymi wtedy, gdy eksploatacja obiektu trwa już od jakiegoś czasu i nieznanym jest dokładny stan izolacji chronionej instalacji technologicznej. O rozplywie prądu ochrony katodowej z uziomów anodowych decyduje rezystywność gruntu, która im jest wyższa, tym bardziej utrudnia dystrybucję prądu ochrony, ale też zmniejsza na niego zapotrzebowanie. Jeśli wzrośnie liczba defektów, co może być spowodowane np. pogarszającym się stanem powłoki izolacyjnej, zapotrzebowanie na prąd ochrony katodowej wzrasta. Gdy chroniony obiekt jest uziemiony, a dodatkowo nie są odizolowane od niego konstrukcje żelbetowe, to większość prądu ochrony wpływa do bednarki i prętów zbrojeniowych. Może to spowodować niedochronienie defektów powłoki izolacyjnej. W miejscach, gdzie prąd ochrony katodowej niedostatecznie polaryzuje chronioną konstrukcję, stosuje się dodatkowe płytkie uziomy anodowe. Nie-

stety wadą takiego rozwiązania jest brak możliwości nastawienia prądu ochrony katodowej, aby uzyskać równomierną polaryzację chronionej konstrukcji na całym chronionym katodowo obiekcie.

- Płytkie uziomy umieszczone blisko chronionej konstrukcji – jest to rozwiązanie, w którym stosuje się liczne płytko umieszczone uziomy blisko chronionej konstrukcji. Jest ono korzystne w przypadku obiektów, w których konstrukcją chronioną są przede wszystkim podziemne rurociągi i zbiorniki. Rurociągi i zbiorniki są wtedy usytuowane blisko stożków napięciowych anod. Instalacje projektuje się w taki sposób, aby zapewnić – poprzez odpowiednie umieszczenie uziomów anodowych – wystarczającą dystrybucję prądu ochrony katodowej do wszystkich miejsc w chronionym obiekcie. Uziomy anodowe łączy się równolegle w obwód anodowy. Gdy chroniony obiekt jest rozległy, można je połączyć w kilka obwodów zasilanych za pomocą osobnych stacji ochrony katodowej (SOK). Ten układ pozwala na dokładną kontrolę prądu ochrony katodowej, którego regulację można uzyskać za pomocą rezystorów w poszczególnych gałęziach obwodu. Wadą tego rozwiązania jest regulacja napięciowa prądów ochrony katodowej kilku SOK, ponieważ wszystkie SOK są przyłączone do tej samej katody. Zmiany napięć wyjściowych SOK w jednym obwodzie powodują przepływ prądów wyrównawczych, w rezultacie prąd wyjściowy danej SOK nie jest równy prądowi obwodu anodowego tej stacji. Aby uzyskać odpowiednią polaryzację konstrukcji, regulacja odbywa się metodą prób i błędów.
- Uziom wykonany z anody kablowej – stanowi alternatywę dla rozwiązania ochrony katodowej z wykorzystaniem płytkich uziomów anodowych. Anoda kablowa składa się z miedzianej linki w izolacji z przewodzącego polimeru umieszczonej w zasypce koksowej utrzymywanej za pomocą tkaniny. Anodę kablową układa się blisko i na całej długości chronionej konstrukcji. Dzięki niewielkiej odległości od anody chroniona konstrukcja znajduje się w obszarze stożka napięciowego, na skutek czego potencjał w ziemi w pobliżu konstrukcji podwyższa się, co ułatwia dopływ prądu ochrony katodowej do pozbawionych izolacji powierzchni konstrukcji. Szczególne zastosowa-

nie anoda kablowa ma do ochrony przed korozją rurociągów na złożonych obiektach technologicznych typu tłocznie i magazyny gazu, gdzie głównymi instalacjami są rurociągi. Realizacja ochrony katodowej przy użyciu anody kablowej może odbywać się za pomocą jednej lub kilku

stacji SOK. Zaletą stosowania anody kablowej jest znaczne ograniczenie konsumpcji prądu ochrony przez taśmę uziemiającą i zbrojenia żelbetu. Dodatkową zaletą jest łatwość dotarcia prądu ochrony do wszystkich miejsc nieuszczelnności w powłoce izolacyjnej konstrukcji.

Podsumowanie

Podziemne konstrukcje na terenie obiektu złożonego są zagrożone korozją w takim samym, a często większym stopniu niż dalekosiężne rurociągi przesyłowe. Zwiększone zagrożenie powierzchni chronionej konstrukcji jest spowodowane przez ich połączenia ze zbrojeniami fundamentów oraz konstrukcji żelbetu.

Instalacja ochrony katodowej na obiekcie złożonym, zarówno dużym, jak i małym, powinna być skoordynowana z ochroną przeciwporażeniową i ochroną odgromową. Koordynację trzech ochron można zapewnić przez:

- zastosowanie lokalnej ochrony katodowej wszystkich galwanicznie zwartych konstrukcji podziemnych – przy zachowaniu wymaganych odpowiednimi normami rozwiązań ochrony odgromowej i ochrony przeciwporażeniowej,
- zastosowanie indywidualnej ochrony katodowej instalacji technologicznych odizolowanych od zbrojeń żelbetu oraz w czasie normalnej pracy od uziemień elektroenergetycznych – przy równoczesnym wykorzystaniu odpowiednich rozwiązań technicznych ochronników zwierających i iskierników ochronnych, zapewniających wła-

ściwe działanie ochrony przeciwporażeniowej i ochrony odgromowej.

Z punktu widzenia ochrony katodowej obiektu korzystne jest odizolowanie zewnętrznych gazociągów od dużego obiektu złożonego. Ograniczyć można w ten sposób oddziaływanie wzajemne ochrony katodowej np. rurociągów przesyłowych i ochrony katodowej chronionego obiektu. W przypadku nowych obiektów projektant już w fazie projektowej powinien zadbać o to, aby nie było połączeń urządzeń technologicznych ze zbrojeniami żelbetu, oraz powinien odpowiednio usytuować sieci uziemiające. W fazie wykonawstwa instalacja ochrony katodowej wraz z założeniami projektowymi powinna być wykonana zgodnie z projektem. Jeśli powyższe warunki zostaną spełnione, to przy odpowiedniej konfiguracji uziołów anodowych można znacznie ograniczyć prąd ochrony katodowej obiektu, nawet o rząd wielkości.

Na istniejącym obiekcie złożonym ochrona katodowa powinna być realizowana według koncepcji ochrony lokalnej, w której instalacje technologiczne, zbrojenia żelbetu i taśma uziemiająca stanowią jedną galwanicznie ze sobą połączoną instalację.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2018, nr 1, s. 44–48, DOI: 10.18668/NG.2018.01.05

Artykuł nadesłano do Redakcji 15.11.2017 r. Zatwierdzono do druku 12.12.2017 r.

Literatura

- [1] Dietrich A.: *Migracja gazu związana z nieuszczelnnością dystrybucyjnej sieci gazowej*. Nafta-Gaz 2016, nr 1, s. 40–44, DOI: 10.18668/NG2016.01.05.
- [2] Dietrich A.: *Ocena ryzyka w transporcie gazu rurociągami*. Nafta-Gaz 2009, nr 3, s. 248–254.
- [3] Dietrich A., Badowski J.: *System komputerowy oceny stanu technicznego i analizy ryzyka dla dystrybucyjnych sieci gazowych*. Nafta-Gaz 2009, nr 11, s. 895–900.
- [4] von Baeckmann W., Schwenk W., Prinz W.: *Handbook of Cathodic Corrosion Protection. Theory and Practice of Electrochemical Protection Processes*. Third Edition, Elsevier 1997.
- [6] PN-EN 13509:2005 *Metody pomiarowe w ochronie katodowej*.
- [7] PN-EN 13636:2007 *Ochrona katodowa metalowych zbiorników podziemnych i związanych z nimi rurociągów*.
- [8] PN-EN 14505:2007 *Ochrona katodowa konstrukcji złożonych*.
- [9] PN-EN 15112:2007 *Ochrona katodowa zewnętrznych powierzchni orurowań odwiertów*.

Akty prawne i normatywne

- [5] PN-EN 12954:2004 *Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruntach lub w wodach – Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów*.



Mgr inż. Paweł STOCHAJ

Główny specjalista inżynierjno-techniczny
w Zakładzie Przesyłania i Dystrybucji Gazu
Instytut Nafty i Gazu – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Lubicz 25 A
31-503 Kraków
E-mail: pawel.stochaj@inig.pl