



**BEZPOŚREDNIA OCENA PROCESÓW KOROZJI
JAKO ELEMENT BEZPIECZEŃSTWA
EKSPLOATACJI RUROCIĄGÓW**

**CORROSION PROCESSES DIRECT ASSESSMENT
AS A PART OF OPERATIONAL PIPELINE SAFETY'S**

Wojciech Sokółski

SPZP CORRPOL, 80-718 Gdańsk, ul. Elbląska 133A

Słowa kluczowe: korozja, rurociągi, bezpośrednia ocena
Keywords: corrosion, pipelines, direct assessment

Streszczenie

W referacie opisane zostały podstawowe aspekty wprowadzonego w roku 2002 przez NACE International nadzoru eksploatacyjnego związanego z oceną zewnętrznej korozji rurociągów (external corrosion direct assessment – ECDA), zawarte w normie NACE RP0502-2002. Norma służy jako przewodnik dla operatorów do elastycznego dostosowania wymagań technicznych związanych z bezpieczeństwem eksploatacji rurociągów do specyficznych sytuacji na poszczególnych obiektach. ECDA traktowany jest jako ciągle rozwijający się i doskonalony proces, który powinien identyfikować uszkodzenia korozyjne, które już wystąpiły, aktualnie rozwijające się i te, które mogą nastąpić w przyszłości. Jego zadaniem jest podniesienie bezpieczeństwa eksploatacji rurociągów, a podstawowym przeznaczeniem – przeciwdziałanie wystąpieniu uszkodzeń korozyjnych w przyszłości.

Summary

In the lecture basic aspects have been described of operation supervision connected with external corrosion direct assessment – ECDA of pipelines, introduced by NACE in 2002 and incorporated in NACE standard RP0502-2002. The standard is used as a guide for operators for flexible adaptation of technical requirements connected with safety of operated pipelines to specific situations on given objects. ECDA is treated as a continuously developing and improving process which should identify corrosion damages already present, those developing and those which can occur in the future. Its aim is improvement of pipeline operation safety and its main intention is counteraction of occurrence of corrosion damages in the future.

Wprowadzenie

Pomimo stosowania coraz to lepszych materiałów i technologii do wytwarzania powłok ochronnych oraz eksploatacji systemów ochrony katodowej, uszkodzenia korozyjne rurociągów stalowych ciągle w statystykach znajdują się w czołówce przyczyn ich awarii, konkurując jedynie z uszkodzeniami powstałymi wskutek mechanicznych uszkodzeń rur przez działalność obcych przedsiębiorstw (stron trzecich). Zwraca się uwagę także na to, że ilość i częstotliwość uszkodzeń korozyjnych utrzymuje się w ostatnich latach na zbliżonym poziomie. Czynniki zewnętrzne, a nie błędy konstrukcyjne czy eksploatacyjne, zostały uznane za podstawową przyczynę wypadków zarówno dla rurociągów gazowych jak i ropy naftowej. Jak się uważa, pozostałe przypadki mają związek z czynnościami i środkami bezpieczeństwa podjętymi, lub nie podjętymi, przez operatora [1]. Nie zwraca się uwagi, a szkoda, na brak wiedzy i niezbędnego wykształcenia służb eksploatujących systemy ochrony katodowej, podstawowej techniki kontrolującej procesy korozyjne podczas eksploatacji rurociągów.

W ostatnim raporcie EGIG (European Gas pipeline Incident data Group) ocenia się ilość uszkodzeń gazociągów w ciągu ostatnich 5 lat na mniej niż 0,2 na 1000 km rocznie [2]. W podobny sposób szacuje także częstotliwość uszkodzeń rurociągów naftowych międzynarodowa organizacja zajmująca się ochroną środowiska CONCAVE (CONservation of Clean Air and Water in Europe - The Oil Companies' European Organisation for Environment, Health and Safety) [3].

Analiza przeprowadzona przez włoską firmę „Praoil”, należącą do grupy ENI, w ramach wdrożonego u siebie programu oceny ryzyka (Risk Assessment Pipelines - RAP) wykazała, że posługując się modelami matematycznymi można z dużym prawdopodobieństwem potwierdzić typowe uszkodzenia rurociągów w powiązaniu z określonymi czynnikami (warunkami brzegowymi) [4]. Szacowany udział podstawowych przyczyn uszkodzeń rurociągów przedstawiony jest w Tab. 1.

Tabela 1. Główne przyczyny uszkodzeń rurociągów [3,4]

Przyczyna uszkodzeń	Udział (wg Concawe)	Niebezpieczne warunki brzegowe	Zgodność kwalifikacji
Działalność stron trzecich	33%	tereny miejskie, mała średnica rurociągów, skrzyżowania kolejowe i drogowe	74%
Korozja	30%	grunty o niższej przepuszczalności, skrzyżowania z kanałami ściekowymi i drogami	93%
Uszkodzenia mechaniczne	25%	duże średnice rur i wysokie ciśnienia robocze	68%

Podobne dane, wskazujące na wysoki udział uszkodzeń korozyjnych, publikowane są w Stanach Zjednoczonych, gdzie eksploatowanych jest około 65% wszystkich rurociągów, a ich sieć jest w przybliżeniu pięciokrotnie większa niż w Europie. Dane gromadzone i analizowane są przez specjalne biuro (Office of Pipeline Safety – OPS) w amerykańskim ministerstwie transportu (Department of Transportation – DOT). Wybrane dane za rok 2003 [5] przedstawiono w Tab. 2. Występujące różnice w stosunku do danych europejskich wynikają z innego sposobu oceny, ale udział wzajemny

najważniejszych czynników odpowiedzialnych za uszkodzenia rurociągów są takie same. Różnica dla sieci rozdzielczych związana jest z odmiennym materiałem rur – tworzywami sztucznymi.

Obszerne informacje w języku polskim dotyczące uszkodzeń rurociągów udostępnione zostały przez Instytut Energii Atomowej [6].

Tabela 2. Uszkodzenia rurociągów w USA w roku 2003 [5]

Rodzaj	Ilość	Udział procentowy
Rurociągi z niebezpiecznymi cieczami		
Korozja zewnętrzna	18	14,51
Korozja wewnętrzna	13	10,48
Działalność stron trzecich	14	11,29
Rurociągi magistralne		
Korozja zewnętrzna	11	11,45
Korozja wewnętrzna	13	13,54
Działalność stron trzecich	15	15,62
Rurociągi rozdzielcze		
Korozja	1	0,69
Uszkodzenia mechaniczne	94	65,73

1. Korozja jako przyczyna uszkodzeń rurociągów

Współczesne rurociągi zabezpiecza się przed korozją za pomocą odpowiednio dobranych powłok ochronnych, dobrze przylegającej do stalowego podłoża grubej warstwy dielektrycznej, oraz ochrony katodowej, której zadaniem jest uniemożliwienie przebiegu procesów korozyjnych w miejscach uszkodzeń powłoki ochronnej. Obecnie podczas budowy linii przesyłowej starannie dobiera się materiały i kontroluje wykonawstwo zabezpieczeń przeciwkorozyjnych. Podczas eksploatacji kontrolę zachodzących zjawisk korozyjnych na powierzchni części liniowej rurociągu w całości przejmuje system ochrony katodowej. To za pomocą tego systemu gromadzone są obecnie informacje o aktualnej kondycji ochrony przeciwkorozyjnej, a tym samym i samego rurociągu.

Jeśli z jakichkolwiek przyczyn dochodzi lokalnie do powstania uszkodzenia stalowej ścianki wskutek korozji od strony zewnętrznej, proces ten zazwyczaj nie jest obserwowany przez służby operatora, ponieważ przebiega na bardzo małej powierzchni i w miejscu niewidocznym pod ziemią. Z natury rzeczy – zawsze w miejscu uszkodzenia zewnętrznej powłoki ochronnej. Przyczyn takiej sytuacji może być kilka – zazwyczaj są to anomalie związane z właściwościami elektrycznymi środowiska i ekranowaniem prądu ochrony katodowej przez różnego rodzaju obiekty w ziemi. Pojawiają się także nowe zagrożenia, np. korozja spowodowana przez indukowane prądy z linii elektroenergetycznych wysokiego napięcia.

Największą awaryjność wykazują rurociągi już eksploatowane w ziemi przez szereg lat. Procesy starzenia powłok, wynikające z niedoskonałości stosowanych wcześniej materiałów, a także nie najwyższej jakości wykonawstwo prac podczas budowy

rurociągów spowodowało, że systemy ochrony katodowej na takich obiektach pracują w trudnych warunkach – przy stosunkowo dużych gęstościach prądu. Wszelkie anomalie z biegiem czasu ujawniają się dopiero w postaci uszkodzeń, ponieważ ich ilość i powierzchnia są stosunkowo duże, a wśród nich pojedynczych, najgroźniejszych przypadków zazwyczaj nie można wyselekcjonować.

Współczesne metody pomiarów z powierzchni ziemi pozwalają na określenie miejsc, gdzie znalazły się pod ziemią uszkodzenia w izolacji powstałe z braku odpowiedniego dozoru technicznego czy niedostatków materiałowych w latach ubiegłych. Stwarza to szansę na stosunkowo proste usprawnienie systemu ochrony przeciwkorozyjnej rurociągów poprzez lokalne naprawy powłoki ochronnej i odpowiednią regulację systemu ochrony katodowej.

Metody detekcji defektów izolacji, a więc potencjalnych miejsc uszkodzeń ścianki rurociągu, są obecnie w powszechnym użyciu i mogą zapobiec awarii, jeśli w następstwie badań podjęty zostanie kompleksowy program konserwacji powłoki ochronnej lub podjęta decyzja o rehabilitacji określonego odcinka rurociągu. Zagadnienie to jest aktualne w dużych i starych sieciach.

Istniejące zagrożenia korozją znane są operatorom rurociągów. Są one badane i analizowane. Opracowano w ciągu ostatnich lat szereg nowych technik pomiarowych umożliwiających precyzyjną lokalizację uszkodzeń izolacji rurociągów oraz ocenę skuteczności ochrony katodowej w defektach powłoki ochronnej. Jednak bezpośrednia ocena uszkodzeń korozyjnych – poprzez odkopanie i pomiar ubytków w ściance – dokonywana jest sporadycznie, często dopiero w miejscach występowania awarii korozyjnych. Badanie stanu technicznego rurociągów poprzez bezpośrednie pomiary na odkopanych fragmentach ścianek stalowych dokonywane jest z poczucia potrzeby technicznej, a nie wymogu zasad czy procedur regulujących sposób eksploatacji obiektów podziemnych.

2. Norma NACE RP0502-2002

Niemal jednocześnie z wprowadzonymi przepisami kontroli kwalifikacji operatorów rurociągów w Stanach Zjednoczonych (DOT Operator Qualification Rule for Pipelines) [7] i obowiązkowym szkoleniem również z zakresu metod ochrony rurociągów przed korozją, opracowano w ostatnich dwóch latach procedury postępowania umożliwiające bezpośrednią ocenę uszkodzeń korozyjnych na rurociągach i podniesienie bezpieczeństwa ich eksploatacji. Działania te są wynikiem wprowadzonych przepisów podwyższających poziom bezpieczeństwa eksploatacji rurociągów w USA (Pipeline Safety Improvement Act of 2002 [8]).

Bezpośrednia ocena korozji rurociągu od strony zewnętrznej (External Corrosion Direct Assessment – **ECDA**) stanowi w tym zakresie nową koncepcję, której podstawą jest ciągły strukturalny proces oceny i zarządzania oddziaływaniem korozji od strony ziemi na integralność rurociągu podziemnego. Metoda ta przeznaczona jest do wykorzystywania przez operatorów rurociągów obok oceny korozji od strony wewnętrznej (Internal Corrosion Direct Assessment – ICDA), tradycyjnych już nieniszczących badań od wewnątrz rurociągów (In Line Inspection – ILI) czy prób ciśnieniowych.

Kluczowym elementem metody ECDA jest połączenie pośrednich badań i kontroli rurociągu dokonywanych z powierzchni ziemi z fizyczną charakterystyką obiektu i historią eksploatacji rurociągu. W następstwie tego następuje badanie fizyczne (bezpośrednie) rurociągu w miejscach zidentyfikowanych poprzez badania pośrednie jako potencjalnie narażone na uszkodzenie. Analizowane razem dane te umożliwiają stworzenie wiarygodnej oceny integralności rurociągu i upoważniają do zmniejszenia poziomu ryzyka wywołanego zagrożeniem stwarzanym przez korozję ziemną. Typowe pomiary pośrednie nie określają wprost ubytków ścianki rurociągu, a zazwyczaj służą do zweryfikowania działania systemów ochrony przeciwkorozyjnej (tj. powłok ochronnych i ochrony katodowej). Stąd też bezpośrednie badania, ale przeprowadzone w sposób zaplanowany i w precyzyjnie określonych miejscach, mają bardzo ważne znaczenie w zarządzaniu ryzykiem eksploatacji rurociągów.

Opracowana przez komitet TG041 NACE International [9] norma RP0502-2002 [10] pomyślana została jako poradnik dla operatorów w stosowaniu techniki ustalania zagrożenia korozyjnego stalowych ścianek rurociągu w sposób bezpośredni. Podaje ona jaką strukturę powinien posiadać proces ECDA i jak go zastosować. Nie odnosi się natomiast do związanego z nim systemu zarządzania bazami danych, niezbędnego do prawidłowej obsługi ECDA. Stąd też norma jest jedynie przewodnikiem, wg którego należy dokonywać adaptacji metody indywidualnie do każdego systemu rurociągów. Wobec trudności stosowania metod pomiarowych od strony wewnętrznej na starych gazociągach, nie przystosowanych konstrukcyjnie do tego typu badań, prawnie zaakceptowana metodologia oceny ryzyka korozji od strony zewnętrznej, podana w tej normie, ma szansę na szerokie wdrożenie w działalności technicznej.

Norma obejmuje czteroetapowy proces, na który składają się następujące działania:

- **ocena wstępna**, w której wykorzystywane są wszystkie informacje zgromadzone podczas dotychczasowej eksploatacji rurociągu oraz możliwie pełna dokumentacja z okresu jego budowy (charakterystyka fizyczna) celem ustalenia potencjalnych miejsc występowania korozji od strony zewnętrznej rurociągu oraz wyróżnienie obszarów zastosowania metody ECDA,
- **badania pośrednie**, które obejmują pomiary na powierzchni ziemi celem lokalizacji uszkodzeń powłoki izolacyjnej oraz skuteczności działania systemów ochrony katodowej (pól potencjałowych i elektrycznych na powierzchni ziemi), mających wpływ na stopień zewnętrznej korozji ścianki rurociągu,
- **badania bezpośrednie**, których zadaniem jest bezpośrednio zbadanie powierzchni rurociągu w odkrywkach celem określenia istnienia, rozległości i intensywności korozji zewnętrznej,
- **ocena końcowa**, której celem jest analiza danych pomiarowych z badań pośrednich i bezpośrednich wykonywanych na rurociągu oraz określenie stopnia integralności rurociągu, ustalenie priorytetów i harmonogramu napraw oraz interwałów czasowych kolejnych inspekcji i badań.

Ostatni element jest procesem, w którym dane pochodzące z poprzednich trzech etapów są łączone, porównywane i poddawane walidacji. Stanowią one ponownie dane wejściowe do etapu pierwszego ECDA podczas kolejnej analizy danych dla określonego odcinka rurociągu i innych podobnych lokalizacji terenowych. ECDA jest więc

złożonym procesem interdyscyplinarnym, wymagającym współpracy szeregu specjalistów z różnych dziedzin nauki i techniki – od gromadzenia i integracji danych po wieloaspektową analizę inżynierską.

Jeśli proces bezpośredniej oceny zewnętrznej korozji dla danego rurociągu prowadzony jest wg normy po raz pierwszy, w szczególności gdy nie posiada on dobrze udokumentowanej historii eksploatacji oraz gdy nie były wykonywane na nim badania pośrednie oceny jakości powłoki ochronnej czy skuteczności ochrony katodowej, to konieczne jest zastosowanie ostrzejszych wymagań i odpowiedniego dodatkowego programu badań. Dotyczy to także pogłębienia wiedzy oraz zrozumienia związku pomiędzy korozją zewnętrzną ścianki rurociągu a jego integralnością.

Norma wykorzystuje do pokazania przebiegu procesu ECDA blokowe schematy przepływu informacji, tak więc opracowanie na tej podstawie odpowiednich procedur dla służb eksploatacyjnych rurociągów nie powinno stanowić żadnego problemu. Zamieszczony został także bardzo bogaty słownik terminów z dziedziny korozji i ochrony przeciwkorozyjnej rurociągów podziemnych.

Warto w tym miejscu wyjaśnić termin „integralność rurociągu”, który pojawia się w niniejszym opracowaniu celowo, a będący wprost tłumaczeniem słowa angielskiego „integrity” lub „structural integrity”. Jego polskie znaczenie „niepodzielność” oznacza tutaj „utrzymanie w ustalonych granicach”, a więc trwanie w stanie niezmiennym czyli niedopuszczanie do zachodzenia jakichkolwiek zmian. Odnosi się to w przypadku zagadnień związanych z korozją do wymiarów geometrycznych rur lub ścianek rurociągu. Pojęcie „stopień integralności rurociągu” tak rozumiany znacznie lepiej oddaje cel prowadzonych prac w ramach ECDA niż takie pojęcia jak „stopień zniszczenia rurociągu” czy „wielkość ubytków ścianki rurociągu” – a sens jest ten sam.

3. Ocena wstępna

Przedmiotem prac wstępnych (Pre-Assessment Step) jest ustalenie czy technika ECDA może mieć zastosowanie (jest wykonywalna) dla określonego rurociągu oraz wytypowanie pośrednich technik badawczych i zidentyfikowanie obszarów zastosowania ECDA. Krok ten wymaga zgromadzenia wystarczającej ilości danych, ich scalenia i analizy. Prace wstępne muszą zostać wykonane zgodnie z obszernym i drobiazgowym trybem postępowania. Obejmuje on następujące działania:

3.1. Gromadzenie danych

W zależności od historii eksploatacji i aktualnej kondycji rurociągu zakres niezbędnej bazy danych ustala operator rurociągu i określa wartości krytyczne dla powodzenia procesu ECDA. Dla danego odcinka rurociągu w szczególności muszą zostać określone te z nich, które mają wpływ na pomiary pośrednie i definicję obszarów ECDA.

Jako minimum operator rurociągu powinien uwzględnić dane związane z rurociągiem i jego konstrukcją, właściwościami środowiska (otaczającego gruntu), ochroną przeciwkorozyjną i danymi eksploatacyjnymi.

W normie w obszernej tabeli zaprezentowano szereg parametrów w powiązaniu z ich wpływem na zagrożenie korozyjne zewnętrznych ścian rurociągu i na metody

jego badania. Dane gromadzone w omawianej fazie ECDA są analogiczne jak do oceny ryzyka eksploatacji rurociągów, techniki stosowanej coraz częściej, również w Polsce. Brak możliwości ich zgromadzenia wyklucza możliwość rozpoczęcia procesu ECDA dla określonego odcinka rurociągu.

3.2. Ocena realizowalności procesu ECDA

Zgromadzone dane powinny być poddane odpowiedniej analizie w celu wykluczenia miejsc (odcinków), w których skuteczne zastosowanie procesu ECDA może być utrudnione. Należą do nich odcinki:

- na których powłoki mogą powodować ekranowanie elektryczne,
- w skałach lub z zasypką skalną,
- pod utwardzoną nawierzchnią, zmarzliną lub żelbetem,
- zlokalizowane z sąsiednimi podziemnymi konstrukcjami metalowymi,
- na których wykonanie pomiarów z powierzchni ziemi jest niemożliwe w rozsądnych ramach czasowych,
- niedostępne.

Jeśli operator rurociągu posiada w dyspozycji specjalne techniki pomiarowe, które pozwalają na rzetelną ocenę integralności rurociągu w powyższych miejscach, to mogą być one włączone do procesu ECDA – w pozostałych przypadkach proces ten nie może być dla tych odcinków kontynuowany.

3.3. Wybór pośrednich technik badawczych

We wszystkich lokalizacjach i rejonach, gdzie ma być stosowany proces ECDA, operator rurociągu powinien wytypować co najmniej dwie techniki pomiarów pośrednich, których zadaniem będzie ocena aktywności korozyjnej w stosunku do rurociągu i/lub ocena obecności i wielkości uszkodzeń powłoki ochronnej. Należy dobierać techniki komplementarnie, tzn. niedoskonałości jednej z nich powinny być kompensowane przez zalety drugiej.

Zamiast badań pośrednich operator może zastąpić je badaniami bezpośrednimi w „najgorszych” miejscach, co nie zwalnia od wykonania w procesie ECDA fazy wstępnej i wniosków końcowych.

Dopuszczone w normie badania pośrednie i zakres ich zastosowania ujęty został w odpowiedniej tabeli, w której wymieniono jako przykłady: pomiary wzdłuż rurociągu (Close Interval Survey – CIS), pomiary spadków napięć na powierzchni ziemi wywołanych przepływem prądów (Current Voltage Gradient Surveys – ACVG and DCVG), pomiary metodą Pearsona, pomiary elektromagnetyczne oraz pomiary tłumienia prądu (AC Current Attenuation Surveys).

Inne techniki mogą i powinny być stosowane zgodnie z potrzebami w zależności od sytuacji terenowej, a także w wyniku nowych opracowań i postępu technicznego oceny stopnia ochrony przeciwkorozyjnej za pomocą ochrony katodowej czy zagrożeń wywołanych przez oddziaływanie prądu przemiennego.

Operator nie jest zobowiązany stosować tych samych technik wzdłuż całego odcinka rurociągu, a odwrotnie, powinien stosowane techniki dopasowywać do sytuacji lokalnej. Rodzaj i ilość stosowanych metod leży w gestii operatora rurociągu.

3.4. Identyfikacja obszarów stosowania ECDA

Kryteria identyfikacji obszarów ECDA określa operator rurociągu po przeprowadzeniu analizy danych zgromadzonych w fazie wstępnej procesu. Obszar zastosowania ECDA stanowi fragment odcinka rurociągu, który ma te same właściwości fizyczne, historię przebiegu procesów korozyjnych, oczekiwane warunki korozyjne w przyszłości, i na których stosowane są te same metody pośrednie oceny zagrożenia korozyjnego.

Cały rozpatrywany odcinek rurociągu powinien być podzielony na tak zdefiniowane rejony. Obszary te mogą być zmodyfikowane w toku przebiegu procesu ECDA po wykonaniu pomiarów pośrednich i bezpośrednich zagrożenia korozyjnego rurociągu.

W normie podany został przykład praktyczny podziału rurociągu na obszary ECDA.

4. Badania pośrednie

Badania pośrednie (Indirect Inspection Step) stanowią drugi główny etap procesu ECDA. Przedmiotem badań pośrednich jest identyfikacja i określenie intensywności uszkodzeń powłoki ochronnej, innych anomalii oraz obszarów, w których istnieje zagrożenie korozyjne lub może ono wystąpić w przyszłości. Wymagane jest zastosowanie co najmniej dwóch metod pomiarowych wykonywanych z powierzchni ziemi. Przed wykonaniem pomiarów powinny być określone i oznaczone poszczególne obszary ECDA w pierwszej fazie procesu.

Wszystkie badania powinny być prowadzone na wyznaczonych odcinkach rurociągów i następnie analizowane zgodnie z ogólnie zaakceptowaną praktyką techniczną.

Jeśli badania prowadzone są pierwszy raz, niezbędne jest ich sprawdzenie i weryfikacja celem walidacji wyników pomiarowych. Pomiarów powinny być prowadzone w odstępach pozwalających na szczegółową ocenę tak, aby umożliwić lokalizację oczekiwanych zagrożeń na danym odcinku rurociągu. Z praktycznego punktu widzenia pomiary powinny być prowadzone równocześnie za pomocą różnych technik, ponieważ zmiany sezonowe lub wywołane różnymi warunkami eksploatacji rurociągu uniemożliwiają późniejsze porównywanie wyników pomiarów.

Miejsca badań w terenie powinny być jednoznacznie zlokalizowane geograficznie, np. za pomocą systemu GPS, i zdokumentowane do celów porównawczych i ustalenia pozycji ewentualnych odkrywek. Do tego celu może być wykorzystywane komercyjne oprogramowanie typu GIS (Geographic Information System).

Po wykonaniu pomiarów wyniki powinny być wyrównane i porównane w stosunku do położenia rurociągu wg kryteriów ustalonych przez operatora rurociągu.

W przypadku rurociągów z powłoką ochronną kryteria identyfikujące powinny pozwalać na lokalizację defektu w powłoce niezależnie od zagrożenia korozyjnego w tym

uszkodzeniu, zaś w przypadku rurociągów gołych lub ze złej jakości powłoką, kryteria te powinny umożliwić identyfikację na nich stref anodowych.

Po ustaleniu i zweryfikowaniu miejsc wykonanych badań w stosunku do lokalizacji rurociągu, operator definiuje i stosuje kryteria umożliwiające ocenę zagrożenia korozyjnego w każdej z tych lokalizacji. W normie „klasyfikacja” jest traktowana jako proces estymacji prawdopodobieństwa zagrożenia korozyjnego w każdym wskazanym miejscu w typowych warunkach średniorocznych. Może być ona np. trzystopniowa. Klasyfikacja przypisywana jest dla każdego miejsca i indywidualnego obszaru ECDA. Przykłady takiej klasyfikacji w zależności od rodzaju zastosowanej metody pomiarowej zamieszczone są w normie w formie tabelarycznej.

Po zidentyfikowaniu lokalizacji i klasyfikacji wyników operator rurociągu powinien porównać ze sobą wyniki uzyskane różnymi technikami. Jeśli występują znaczące różnice w lokalizacji miejsc o istotnym zagrożeniu korozyjnym, należy wykonać dodatkowe pomiary pośrednie lub wstępne pomiary bezpośrednie. Wszelkie rozbieżności muszą być wyjaśnione.

Po ostatecznym zweryfikowaniu wyników operator rurociągu porównuje uzyskane rezultaty badań z danymi zgromadzonymi w pierwszej fazie procesu ECDA.

Jeśli wyniki nie są zgodne, należy ponownie określić stosowność dla danego odcinka procesu ECDA lub ponownie zdefiniować obszary ECDA.

5. Badania bezpośrednie

Celem badań bezpośrednich (Direct Examination Step) jest określenie, która z lokalizacji ustalonych w badaniach pośrednich jest najgroźniejsza, oraz zebranie danych do oceny zagrożenia korozyjnego. Wykonanie tego etapu wymaga dokonania odkrywki (odsłonięcia powierzchni rury) co umożliwia przeprowadzenie badań na rurociągu i w środowisku w najbliższym jego otoczeniu.

Minimum jeden wykop jest wymagany niezależnie od wyników poprzednich etapów procesu ECDA. Norma podaje wskazówki określające lokalizację i minimalną ilość odkrywek oraz rodzaj badań bezpośrednich.

Jeśli podczas odkrywek ujawnione zostaną innego rodzaju uszkodzenia niż wynikające z korozji ziemnej, takie jak uszkodzenia mechaniczne czy pęknięcia naprężeniowe, konieczne jest zastosowanie odpowiednich do charakteru zjawisk metod oceny, które zawarte są w innych normach.

Proces badań bezpośrednich obejmuje następujące czynności:

5.1. Ustalenie gradacji ważności informacji pozyskanych z badań pośrednich

Po przeprowadzeniu badań pośrednich operator rurociągu ustala kryteria wyboru miejsc do badań bezpośrednich (odkrywek). Jest to proces oceny potrzeby badań bezpośrednich dla każdej lokalizacji na bazie prawdopodobieństwa aktualnie istniejącego zagrożenia korozyjnego oraz rozległości i skutków wcześniejszej korozji. Oczywiście kryteria te mogą być różne dla poszczególnych regionów ECDA, będących funkcją stanu technicznego rurociągu, wieku, historii systemu ochrony przeciwkorozyjnej itp.

Jako minimum ustalono w normie kryteria kwalifikacji:

- do natychmiastowego podjęcia badań bezpośrednich (odkrywek),
- do zaplanowania odpowiednich badań bezpośrednich na rurociągu,
- do zastosowania monitorowania czynników umożliwiających ocenę stopnia zagrożenia korozyjnego.

W ustalaniu kryteriów operator powinien wziąć pod uwagę wszystkie czynniki wynikające z poprzednich etapów procesu ECDA.

5.2. Odkrywki i gromadzenie danych w miejscach, gdzie zagrożenie korozyjne jest najbardziej prawdopodobne

Miejsca odkrywek, wykonywanych wg ww. kryteriów, powinny być określone zgodnie z danymi z badań pośrednich celem ich jednoznacznej weryfikacji. Operator rurociągu przed dokonaniem odkrywki powinien zdefiniować minimalne wymagania dotyczące gromadzonych informacji i sposobu ich przygotowania.

Do typowych czynności norma zalicza:

- pomiar potencjału rurociągu,
- pomiar rezystywności gruntu,
- pobranie próbki gruntu,
- pobranie próbki wody,
- pomiar pH na powierzchni,
- wykonanie dokumentacji fotograficznej,
- dane dotyczące innych analiz, takich jak korozja wywołana mikroorganizmami, pękanie korozyjne itp.

5.3. Pomiary uszkodzeń w powłokach i ubytków korozyjnych

Operator powinien określić oczekiwany stan powłoki i ścianki rurociągu oraz ustalić swoje wymagania dotyczące pomiarów i rodzaju zgromadzonych danych dla każdej odkrywki. Dla miejsc, w których występują ubytki korozyjne, wymagane jest obliczenie pozostałej wytrzymałości rurociągu. Jako typowe działania umożliwiające oszacowanie stanu powłoki i ścianki rurociągu norma przewiduje następujące czynności:

- identyfikację typu powłoki,
- ocenę stanu powłoki,
- pomiar grubości powłoki,
- ocenę adhezji powłoki,
- odwzorowanie degradacji powłoki (pęcherze, odspojenia itp.),
- pobranie próbek produktów korozji,
- identyfikację ubytków korozyjnych,
- dokumentację fotograficzną.

Przed identyfikacją i odwzorowaniem ubytków korozyjnych należy usunąć powłokę i wyczyścić powierzchnię rury. Powinny być zmierzone i zdokumentowane wszystkie ważniejsze ubytki korozyjne ścianki rurociągu. W czasie tych badań mogą być wykonane inne czynności nie związane bezpośrednio z ECDA, np. pomiar grubości

ścianki metodą ultradźwiękową celem ustalenia wielkości ubytków od strony wewnętrznej rurociągu.

5.4. Wyznaczenie wytrzymałości rurociągu

W miejscach znalezionych ubytków korozyjnych operator powinien określić i obliczyć wytrzymałość rurociągu. Metody obliczeń podane są w cytowanych normach.

Jeśli obliczona wartość jest mniejsza od akceptowanej dla danego odcinka rurociągu, niezbędna jest naprawa lub wymiana rury. Należy pamiętać, że proces ECDA pomaga w znalezieniu reprezentatywnych ubytków korozyjnych na rurociągu, ale nie oznacza to, że wszystkich, dlatego należy oczekiwać podobnych uszkodzeń w całym tym obszarze ECDA.

5.4. Analiza głównych przyczyn

Wszystkie ważniejsze zagrożenia korozyjne powinny być zidentyfikowane. Mogą to być nieodpowiednie natężenie prądu ochrony katodowej, niezidentyfikowane interferencje lub inne sytuacje. Jeśli główną przyczyną są zjawiska, dla których ECDA nie jest odpowiednią metodą, np. gdy występuje ekranowanie przez odspojoną powłokę lub korozja mikrobiologiczna, konieczne jest zastosowanie alternatywnych metod oceny integralności rurociągu.

5.5. Przeciwdziałanie

Operator rurociągu zobowiązany jest do określenia działań i podjęcia czynności zmierzających do przeciwdziałania występowania uszkodzeń wywołanych głównym czynnikiem korozyjnym. Po wykonaniu tych czynności należy ponownie wykonać badania pośrednie.

5.6. Wartościowanie procesu

W celu zweryfikowania kryteriów wyboru potrzeby dokonywania odkrywek oraz kryteriów klasyfikacji badań pośrednich operator powinien dokonać oceny tych badań, obliczeń pozostałej wytrzymałości i analizy głównych przyczyn korozji. Należy oszacować rozległość i wielkość uszkodzeń korozyjnych w relacji do kryteriów przyjętych do oceny potrzeby naprawy rurociągu, a następnie dokonać odpowiednich korekt.

5.7. Wytyczne do oceny wymaganego zakresu badań bezpośrednich (odkrywek)

Norma przewiduje wykonanie przynajmniej jednej odkrywki dla zdefiniowanego obszaru ECDA, a w przypadku rozpoczynania procesu – dwóch, nawet jeśli z badań pośrednich nie wynika taka potrzeba. Miejsca odkrywek wskazywane są wtedy wg oceny wykonanej w etapie wstępnym.

Jeśli w badaniach pośrednich wyłonione zostały miejsca badań bezpośrednich, odkrywki rurociągu dokonuje się zgodnie z ustalonym priorytetem, wg kryteriów podanych w p. 5.1.

6. Ocena końcowa

Przedmiotem oceny końcowej (Post-Assessment Step) jest ustalenie interwału kolejnych badań oraz ogólna ocena efektywności procesu ECDA. Obejmuje ona następujące czynności:

6.1. Obliczenie żywotności rurociągu

Określenie przewidywanego dalszego okresu eksploatacji rurociągu dokonywane jest na podstawie wyników badań postępu korozji i wielkości ubytków korozyjnych. Stosuje się podejście inżynierskie z uwzględnieniem szeregu czynników. Uwzględnia się maksymalną dopuszczalną wielkość uszkodzenia korozyjnego oraz szybkość korozji. Norma podaje wzór empiryczny oceny żywotności rurociągu.

Jeśli z oceny ECDA wynika, że nie ma uszkodzeń korozyjnych – żywotność rurociągu przyjmuje się jak dla obiektu nowego.

6.2. Zdefiniowanie interwału badań

W normie jako zasadę przyjęto ustalanie interwału badań i ocen na poziomie połowy czasu uprzednio przewidywanej żywotności rurociągu w danym obszarze ECDA. Sposób ten wykorzystywany jest powszechnie w technice i stosowany w planowaniu remontów.

6.3. Ocena efektywności ECDA

ECDA traktowane jest jako samodoskonalący się proces, który ma umożliwić operatorowi rurociągu identyfikację i lokalizację zagrożeń korozyjnych - tych które występują, i tych które mogą wystąpić w przyszłości. Stąd też w tej części normy podane są sposoby walidacji procesu i poszczególnych jego części – zasady losowo wybranych badań dodatkowych, korekta kryteriów i priorytetów. Podane są także przykłady różnych sposobów podniesienia wiarygodności dokonywanej oceny.

6.4. Korekta i udoskonalanie

Podczas procesu ECDA oraz zaplanowanej działalności i ciągle dokonywanych ocen operator rurociągu na podstawie zgromadzonych danych powinien korygować wszystkie poprzednie etapy procesu: identyfikację i klasyfikację wyników badań pośrednich, wyniki badań bezpośrednich, obliczenia pozostałej wytrzymałości, analizę głównych przyczyn korozji, metody przeciwdziałania, metody oceny spójności wyników i ich walidacji, ocenę efektywności procesu ECDA oraz metody monitorowania i ustalania terminów badań. Tego rodzaju sprzężenie zwrotne powoduje, że ocena zewnętrznej korozji ścianki rurociągu jest ciągłym procesem, a opracowywane do jego realizacji procedury działania muszą się stale zmieniać i udoskonalać.

7. Dokumentacja ECDA

Norma precyzyjnie określa w sposób jasny, zwięzły i użyteczny zasady gromadzenia danych (ECDA Records) we wszystkich etapach procesu ECDA. Wszystkie działania i ich wyniki muszą mieć odzwierciedlenie w opracowanych procedurach i raportach. Norma nie określa okresu gromadzenia dokumentów, ale z innych źródeł należy wnioskować, że przez cały okres eksploatacji obiektu.

8. Zakończenie

W normie przytoczono 25 odnośników literaturowych i bibliografię przydatną we wszystkich etapach procesu ECDA. Zacytowane zostały różnego rodzaju normy stosowane w praktyce ochrony przeciwkorozyjnej rurociągów oraz wskazujące metodologię pomiarów.

W formie załączników zebrano szereg praktycznych wskazówek i procedur postępowania. Cztery załączniki poświęcono następującym zagadnieniom (podano w nich drobiazgowo procedury i sposoby oceny wyników):

- Metody pomiarów pośrednich:
 - pomiary potencjałowe,
 - metoda CIS, ACVG i DCVG,
 - metoda Pearsona,
 - tłumienie prądu i inne;
- Badania bezpośrednie – Metody gromadzenia danych przed usunięciem powłoki ochronnej;
- Badania bezpośrednie – Pomiary uszkodzeń powłoki i ubytków korozyjnych;
- Ocena końcowa – Określenie szybkości korozji.

9. Podsumowanie

Opracowana przez NACE International norma RP0502-2002 jest pierwszym zbiorem wytycznych i wymagań związanych ze stosowaniem systematycznej oceny zagrożenia korozją stalowych ścianek rurociągów od strony ziemi, uznanych prawnie w USA jako metoda zapewniająca wymagany stopień bezpieczeństwa ich eksploatacji.

Należy pamiętać, że również prawnie wymagane jest zabezpieczenie przeciwkorozyjne rurociągów za pomocą ochrony katodowej. NACE International – Corrosion Society opracowało dla tej technologii kilkanaście norm przedmiotowych, których wymagania stosowane są powszechnie na całym świecie. Proces ECDA stanowi więc uzupełnienie systemu ochrony przeciwkorozyjnej rurociągu o stałą kontrolę lokalnie występujących zjawisk korozyjnych, których opanowanie za pomocą znanych obecnie metod może być z różnych przyczyn zawodne. Jest jasne, że o trwałości i bezpieczeństwie eksploatacji całego obiektu decydują punkty najsłabsze – to one mają być zidentyfikowane, a następnie wyeliminowane za pomocą procedur procesu ECDA.

Ponieważ po wybudowaniu rurociągu jego żywotność i przydatność do dalszej eksploatacji uzależnione są od zabezpieczenia przeciwkorozyjnego, tzn. w praktyce od sprawnie funkcjonujących systemów ochrony katodowej, realizacja zaproponowanego procesu kontroli w postaci ECDA, która w znaczącej mierze opiera się na metodach stosowanych już w tej technologii ochrony, spoczywać będzie także na służbach ochrony katodowej operatora rurociągu. Ma to szczególne znaczenie w odniesieniu do gazociągów, dla których stosowanie innych metod, pozwalających na wiarygodną ocenę ubytków korozyjnych rurociągu, jest z różnych przyczyn utrudnione. Warto podkreślić, że część procedur i metod pomiarowych przewidzianych w ECDA jest dość szeroko stosowana przez służby ochrony katodowej, ponieważ wykorzystywane są one do oceny skuteczności zabezpieczenia przeciwkorozyjnego rurociągów. Jednak trzeba

od razu dodać, że nie w takim zakresie i nie w tak uporządkowany sposób, który pozwala na wiarygodne wyciąganie jednoznacznych wniosków i ich weryfikowanie.

Trudno przewidywać czy, i w jakim zakresie, metodologia ECDA zaproponowana przez NACE International będzie stosowana w Europie. ECDA wykorzystuje znane z nauki o korozji i inżynierii korozyjnej zasady oraz metodykę pomiarową, która wykorzystywana jest w praktyce ponad 50 lat. Podstawy nauki nie zmieniły się, ale nowoczesny sprzęt pomiarowy i procedury gromadzenia danych w znaczący sposób umożliwiają obecnie bardziej wiarygodną ocenę zjawisk i ich prognozowanie. Proces ECDA nic nowego w tym zakresie nie wnosi oprócz sformalizowania procesu związanego z zasadami pomiarów korozyjnych wzdłuż rurociągów. Przestrzeganie tego procesu pozwoli specjalistom z zakresu korozji na ciągłe udoskonalanie oceny stanu technicznego i integralności rurociągów podziemnych [11].

Sądząc z ilości firm specjalistycznych, które włączyły do swojej oferty badań rurociągów także metodologię ECDA, zainteresowanie bezpośrednią oceną korozji zewnętrznej rur celem podniesienia bezpieczeństwa eksploatacji rurociągów stale rośnie. Sukces we wdrożeniu procesu ECDA uzależniony jest od ścisłej współpracy operatorów rurociągów z wyspecjalizowanymi firmami zajmującymi się problematyką korozji i ochrony przeciwkorozyjnej konstrukcji podziemnych, a w szczególności wykorzystujących nowoczesne techniki pomiarowe oceny skuteczności ochrony katodowej.

Cechą znaną procesowi ECDA jest to, że jest on otwarty na nowe rozwiązania techniczne i metody badawcze, a przyjęte procedury pozwalają na możliwie szybką ich weryfikację w warunkach praktycznych. Można więc przewidywać, że niektóre elementy technologii ochrony katodowej, które stosowane były dotychczas w ograniczonym zakresie, wskutek oczywistych walorów dla procesu ECDA, staną się bardzo atrakcyjne i znacznie szerzej stosowane. Należy tu wymienić przede wszystkim techniki pomiaru potencjału za pomocą elektrod symulujących [12] i korozymetrię rezystancyjną [13]. Będzie też miejsce dla rodzących się dopiero nowych technik elektrochemicznych [14].

Przedstawione liczne zalety filozofii stosowania procesu ECDA, zawarte w omówionej normie amerykańskiej, powinny zostać zauważone przez operatorów polskich rurociągów.

LITERATURA

- [1] <http://www.corrosioncost.com/infrastructure/gasliquid/index.htm>
- [2] <http://www.egig.nl>
- [3] <http://www.concawe.be>
- [4] <http://www.safepipeline.com>
- [5] <http://ops.dot.gov>
- [6] http://manhaz.cyf.gov.pl/manhaz/ind_pl.php: "MANHAZ" Zarządzanie Zagrożeniami dla Zdrowia i Środowiska, IEA.
- [7] <http://www.nace.org/nace/content/education>
- [8] USA Public Law, 107-355, 7.12.2002; H.R. 3609: *The Pipeline Safety Improvement Act 2002*. (<http://energycommerce.house.gov/107/action/H.R.3609.htm>)
- [9] <http://www.nace.org>

- [10] NACE Standard RP0502-2002: *Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology*.
- [11] D. H. Kroon, *External Corrosion Direct Assessment of Buried Pipelines: The Process, Materials Performance*, June 2003, p.28.
- [12] <http://www.corropol.pl/elsym.htm>
- [13] J. Jankowski, W. Sokólski: *Monitorowanie skuteczności ochrony katodowej techniką rezystometryczną*, *Ochrona przed korozją* 8/2003, 218.
- [14] J. Jankowski, Harmonic Synthesis: A Novel Electrochemical Method for Corrosion Rate Monitoring, *Journal of The Electrochemical Society*, 150 (4) B181-B191 (2003).