



„BEZDEFEKTOWE” POWŁOKI IZOLACYJNE PODZIEMNYCH RUROCIĄGÓW

“FLAWLESS” INSULATION COATINGS OF UNDERGROUND PIPELINES

Marek Fiedorowicz
Operator Gazociągów Przesyłowych
GAZ-SYSTEM S.A. Oddział w Gdańsku

Słowa kluczowe: powłoka izolacyjna, defekt powłoki, rezystywność powłoki (jednostkowa rezystancja przejścia)

Keywords: insulation coating, coating defect, average coating resistance (average structure to soil resistance)

Streszczenie

Ochrona przeciwkorozyjna wybranych odcinków podziemnych rurociągów coraz częściej opiera się na szczelnych („bezdefektowych”) powłokach izolacyjnych. W pracy przedstawiono rozważania na temat definicji i kryteriów bezdefektowości powłoki. Sprawa właściwego kryterium bezdefektowości jest kluczowa dla skuteczności takiego wariantu ochrony przeciwkorozyjnej.

Abstract

Corrosion protection of selected areas of underground pipelines is based on flawless insulation coatings more and more often these days. In this work, the definition and criteria of the flawlessness of coating will be considered. The right criterion of flawlessness is essential for the effectiveness of this kind of anticorrosion protection.

1. Wprowadzenie

W niniejszej pracy używany termin „bezdefektowa” oznacza „szczelna”.

W [1] zasygnalizowano problemy dotyczące kryteriów bezdefektowości powłok izolacyjnych podziemnych rurociągów. Niniejsza praca jest kontynuacją i rozwinięciem tej kwestii.

Bezdefektowa powłoka izolacyjna coraz częściej ma być podstawą ochrony przeciwkorozyjnej wybranych odcinków rurociągów. Pojęcie powłoki bezdefektowej upowszechnia się, występuje ono w aktach prawnych i normatywach. W pewnych sytuacjach całkowicie szczelna powłoka izolacyjna jest najlepszym, jedynym skutecznym zabezpieczeniem przeciwkorozyjnym – o ile jest rzeczywiście szczelna.

Zasada generalna ochrony przeciwkorozyjnej podziemnych metalowych konstrukcji jest następująca: jeśli nie jest stosowana ochrona katodowa, nie jest stosowana, tam gdzie to jest niezbędne, ochrona przed korozją powodowaną przez prąd przemienny, oraz nie przeprowadzono modyfikacji środowiska, to warunkiem skutecznej ochrony przeciwkorozyjnej jest utrzymywanie powłoki izolacyjnej w stanie bez defektów.

Na przykład Rozporządzenie [2] dopuszcza, w pewnych sytuacjach, niestosowanie ochrony katodowej pod warunkiem zastosowania odpowiednio dobranych, całkowicie szczelnych powłok izolacyjnych (dla nowo budowanych gazociągów o maksymalnym ciśnieniu roboczym (MOP) do 0,5 MPa włącznie i o długościach nie większych niż 200 m, połączonych z istniejącymi gazociągami bez ochrony katodowej, oraz dla przyłączy o maksymalnym ciśnieniu roboczym do 0,5 MPa włącznie, wyprowadzonych z istniejących gazociągów bez ochrony katodowej).

Szczelne powłoki izolacyjne są wskazane nawet w przypadku wybranych odcinków rurociągów z ochroną katodową [3]: na skrzyżowaniach nowo budowanych podziemnych rurociągów metalowych z tracją elektryczną, a także na obszarach, na których występuje zagrożenie korozją mikrobiologiczną. Celowe jest, aby nowe rurociągi stalowe były pokryte szczelnymi powłokami izolacyjnymi, jeśli ze względu na małą długość będą one bezpośrednio, bez zastosowania złączy izolujących, połączone z istniejącymi/starymi rurociągami zabezpieczonymi ochroną katodową, pokrytymi powłokami izolacyjnymi złej jakości.

Z punktu widzenia ochrony przeciwkorozyjnej korzystne jest, jeśli powłoki izolacyjne stalowych odcinków rurociągów ułożonych w rurach otaczających – będą szczelne.

Bezdefektowe powłoki izolacyjne są najpewniejszym zabezpieczeniem przed korozją powodowaną przez prąd przemienny.

W gazownictwie Rozporządzenie [2] przewiduje dwuetapowe badania szczelności powłok budowanych gazociągów:

- przed zasypaniem, za pomocą poroskopu wysokonapięciowego o odpowiednim napięciu (to badanie wymaga dostępu do powierzchni gazociągu, dlatego wykonuje się je przed zasypaniem);
- po zasypaniu – poprzez pomiary jednostkowej rezystancji przejścia (powinna ona być zgodna z kryterium określonym w dokumentacji projektowej).

Skoro państwowe prawo wymaga, aby badać szczelność izolacji przed zasypaniem gazociągu, to, teoretycznie, powłoki izolacyjne po zasypaniu powinny być całkowicie bezdefektowe. W praktyce tak nie jest. Badanie poroskopem (jeśli jest wykonywane) nie wykrywa wszystkich nieszczelności – np. nie wykrywa nieszczelności występujących pod wadliwie nałożoną na placu budowy powłoką izolacyjną na połączeniu spawanym rur, w postaci szczelin podpowłokowych. Nie wykrywa także nieszczelności w postaci szczelin występujących pod wadliwie nałożoną na placu budowy naprawczą powłoką izolacyjną na defekcie powłoki.

Z kolei podczas zasypywania może dochodzić, i często dochodzi, do mechanicznego uszkodzenia powłoki. Dlatego istotne jest badanie izolacji po zasypaniu i stosowanie właściwych kryteriów odbiorowych, w tym kryteriów szczelności, jeśli powłoka izolacyjna ma być szczelna.



Rys. 1. Zbadanie powłoki izolacyjnej rurociągu poroskopem przed zasypaniem nie stanowi gwarancji, że po zasypaniu powłoka będzie szczelna

Fig. 1. Holiday detection test does not guarantee that the coating will be tight after covering it

W niniejszej pracy stosowane są zamiennie, równoznaczne następujące pojęcia dotyczące tego samego parametru powłoki odcinka/rurociągu: jednostkowa rezystancja powłoki, jednostkowa rezystancja przejścia, powierzchniowy opór właściwy powłoki, powierzchniowa rezystywność powłoki.

2. Pojęcie bezdefektowej powłoki izolacyjnej

Defekt (inaczej - nieciągłość powłoki) to miejscowy ubytek powłoki ochronnej (np. dziury, porowatość) [PN-EN 12954] [4].

Powłoka bezdefektowa to powłoka bez ww. defektów.

Sprawą dyskusyjną jest umieszczenie w powyższej definicji defektu (nieciągłości) porów w powłoce. Czy naturalne mikropory, które nie sięgają powierzchni metalowej, są defektami? Na podstawie zasady (metody) stwierdzenia szczelności powłoki izolacyjnej przed zasypaniem można stwierdzić, że naturalne mikropory w powłoce, które nie są wykrywane podczas takiego badania, nie są defektami.

Definicje defektu (dziury) zawarte w PN-EN ISO 21809-1[5] i w PN-EN ISO 21809-3 [6] są inne:

Holiday - coating discontinuity that exhibits electrical conductivity when exposed to a specific voltage.

W świetle tej definicji za defekty powinny być uznawane nieciągłości w powłoce (dziury), które wykrywa się podczas badania z zastosowaniem odpowiedniego napięcia elektrycznego.

Jednakże, jak zaznaczono we Wprowadzeniu, mogą występować wady powłok nie wykrywane podczas takiego badania (poroskopem), a poprzez które elektrolit może docierać do metalowej powierzchni – np. w postaci szczelin podpowłokowych.

Zdaniem autora obydwie definicje są niefortunne. Z kontekście tematyki niniejszej pracy celowe jest uporządkowanie pojęć. Autor proponuje:

Wady powłoki – wszelkie nieprawidłowości w budowie i stanie powłoki, takie jak pocienienia, wyłobienia, odwarstwienia, odspojenia, zafałdowania, powietrzne szczeliny podpowłokowe, brak przyczepności, braki powłoki, inne nieszczelności i in.

Nieszczelności powłoki - te wady powłok, poprzez które elektrolit może docierać do metalowej powierzchni rurociągu (konstrukcji).

3. Kryteria bezdefektywności powłoki izolacyjnej

Kryteria bezdefektywności powłoki są następujące:

Przed zasypaniem:

wynik badania szczelności powłoki za pomocą wysokonapięciowego poroskopu iskrowego wskazujący na brak nieszczelności w powłoce (brak wyładowań/iskier pomiędzy elektrodą badawczą poroskopu a pokrytym powłoką metalem), z zastrzeżeniem podanym we Wprowadzeniu.

Po zasypaniu:

- a) przyjmuje się, iż powłokę izolacyjną można uznać za szczelną, jeśli jednostkowa rezystancja powłoki izolacyjnej odcinka rurociągu jest nie mniejsza niż określona wartość właściwa dla rodzaju powłoki badanej;
- b) powłokę izolacyjną można również uznać za bezdefektową, jeśli wynik badania wykrywającego/lokalizującego defekty odpowiednią metodą wskazuje na brak defektów (niewykrycie defektów).

4. Wykazywanie/badanie szczelności powłoki przed zasypaniem

Instrukcje wykonywania prac izolacyjnych nakazują, aby przed zasypaniem rurociągu zbadać szczelność powłoki za pomocą poroskopu wysokonapięciowego, a wykryte nieszczelności naprawić. W gazownictwie od 1995 r. włącznie w kolejnych rozporządzeniach ministrów w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe [2, 7], formułowany jest nakaz wykonywania przed zasypaniem badań szczelności powłok izolacyjnych budowanych gazociągów. Teoretycznie, po zasypaniu gazociągów ich powłoki izolacyjne powinny być zatem bezdefektowe.

To badanie wymaga dostępu do powierzchni rurociągu, dlatego wykonuje się je przed zasypaniem. Po badanej, zaizolowanej powierzchni przeciąga się (utrzymując kontakt z badaną powłoką) elektrodę o kształcie właściwym dla kształtu badanego elementu (Rys. 1, 2), połączoną z urządzeniem – poroskopem, generującym impulsy wysokiego napięcia. Na elektrodę podane jest odpowiednie, wysokie napięcie z poroskopu. Drugi biegun urządzenia łączy się z rurociągiem; rurociąg, jeśli nie jest łączy z drugim biegunem urządzenia, również łączy się z rurociągiem. W miejscach występowania nieszczelności izolacji następuje widoczny przeskoc iskier (wyładowanie), któremu towarzyszy sygnał akustyczny.

Napięcia, przy których powinny być wykonywane badania szczelności powłoki, zależą od rodzaju powłoki i jej grubości. Są one określone w normach przedmiotowych dotyczących poszczególnych rodzajów powłok – zestawiono je w Tabeli 1.

Tabela 1. Napięcia elektryczne stosowane w badaniach szczelności wybranych powłok izolacyjnych za pomocą poroskopu wysokonapięciowego przed zasypaniem, wg norm przedmiotowych

Table 1. Electric voltages used in research of the tightness of selected insulation coatings with the use of holiday detector before being covered, according to subject norms

Rodzaj powłoki	Norma ¹⁾	Napięcie badania szczelności ¹⁾
Trójwarstwowe wytłaczane powłoki polietylenowe na rurach	PN-EN ISO 21809-1 [5]	10 kV/mm, nie więcej niż 25 kV
Trójwarstwowe wytłaczane powłoki polipropylenowe na rurach	PN-EN ISO 21809-1 [5]	10 kV/mm, nie więcej niż 25 kV
Dwuwarstwowe wytłaczane powłoki polietylenowe na rurach	PN-EN 10288 [8]	10 kV/mm, nie więcej niż 25 kV
Powłoki z taśm lub z materiałów termokurczliwych na rurach i połączeniach	PN-EN 12068 [9]	5 kV/mm, nie więcej niż 15 kV ²⁾
	PN-EN 10329 [10]	5 kV/mm+5 kV, nie więcej niż 15 kV
	PN-EN ISO 21809-3 [6]	5 kV/mm+5 kV, nie więcej niż 15 kV
Powłoki epoksydowe lub epoksydowe modyfikowane nanoszone w stanie ciekłym, na rurach i połączeniach	PN-EN 10289 [11]	8 V/μm, nie więcej niż 20 kV
	PN-EN 10329 [10]	8 V/μm, nie więcej niż 20 kV
	PN-EN ISO 21809-3 [6]	5 kV/mm, nie więcej niż 25 kV
Powłoki z poliuretanu lub poliuretanu modyfikowanego nanoszone w stanie ciekłym, na rurach i połączeniach	PN-EN 10290 [12]	8 V/μm, nie więcej niż 20 kV
	PN-EN 10329 [10]	8 V/μm, nie więcej niż 20 kV
	PN-EN ISO 21809-3 [6]	5 kV/mm, nie więcej niż 25 kV
Powłoki epoksydowe na armaturze	DIN 30677-2 [13]	0,4 kV/100 μm
Powłoki poliuretanowe na armaturze	DIN 30677-2 [13]	10 kV
Powłoki poliuretanowo-smołowe (PUR tar)	DIN 30677-2 [13]	15 kV
1) Napięcie badania szczelności (wykrywania nieciągłości, porów) ustala się jako iloczyn grubości powłoki i napięcia odniesionego do jednostki grubości, podanego w tablicy.		
3) Wg PN-EN 12068 badanie szczelności powłoki takim napięciem przeprowadza się po badaniach odporności powłoki na uderzenie lub wgniatanie. Na placu budowy badanie szczelności zaleca się przeprowadzać napięciem wg PN-EN 10329.		

Dla powłok bitumicznych wg BN-76/0648-76 [14] napięcia badania wynosiły 7÷8 kV dla izolacji ZO1 o grubości 2,5 mm oraz 13÷14 kV dla izolacji ZO2 o grubości 4,5 mm. Jeśli podczas badań powłok bitumicznych (które z natury są porowate) poroskopem o takim napięciu nie występowały wyładowania elektryczne, to powłoki te uznawano (słusznie) za powłoki szczelne, bez defektów.

W DIN 30672 [15] w punkcie 4.2.5 sformułowany jest zapis: „Powłoka musi być wolna od przenikających na wskroś porów. Wymaganie to jest spełnione, jeśli podczas badania wysokim napięciem nie stwierdza się przebić”.

W nowszej normie, na przykład w PN-EN 10288: 2003 [8] w punkcie 8.5 zawarty jest zapis: „Wykrywanie porowatości powinno być przeprowadzone zgodnie z metodą podaną w załączniku B. Powłoka powinna być bez porowatości.” Z kolei w załączniku B m.in. występuje zapis: „Porowatość powinna być wykrywana przy pomocy przeskakującej iskry między stałą rurą a elektrodą w miejscu wadliwym, któremu towarzyszy sygnał dźwiękowy i akustyczny wysyłany przez urządzenie.”

Zaskakujące jest, że dla tych samych materiałów izolacyjnych różne normy wskazują różne napięcia badania. Na przykład dla powłok poliuretanowych norma PN-EN 10290 [12] wskazuje napięcie 8 V/μm, nie

więcej niż 20 kV, natomiast norma PN-EN ISO 21809-3 [6] dla takich powłok określa napięcie 5 kV/mm (czyli 5 V/ μm), nie więcej niż 25 kV. Badanie szczelności powłoki izolacyjnej za pomocą poroskopu iskrowego nie jest badaniem wytrzymałości dielektrycznej materiału izolacyjnego. Ma ono na celu doprowadzenie do wyładowania elektrycznego w nieszczelnościach powłoki. Dlatego taka sytuacja (różne napięcia badania szczelności dla takich samych powłok izolacyjnych o takiej samej grubości) jest niezrozumiała.

To samo badanie szczelności poroskopem poszczególnych normach przedmiotowych dotyczących powłok izolacyjnych określane jest odmiennie, co jest przyczyną pewnego chaosu pojęciowego: BN-76/0648-76 - sprawdzenie szczelności powłoki, DIN 30672 - badanie braku porów, DIN 30670 [16] - badanie porowatości, PN-EN 10288 - badanie porowatości, PN-EN 10289, PN-EN 10290 i PN-EN 10290 - wykrywanie nieciągłości, PN-EN 10329, PN-EN ISO 21809-1 i PN-EN ISO 21809-3 - test wykrywający dziury (holiday detection test)



Rys. 2. Różne wykonania elektrod poroskopu wysokonapięciowego
Fig. 2. Various performances of electrodes of a holiday detector

5. Kryteria bezdefektywności powłok „po zasypianiu”

Stanowi powłoki „bez defektów”, potwierdzonemu poprzez badanie za pomocą poroskopu, towarzyszy określona, charakterystyczna jednostkowa rezystancja przejścia powłoki, nie mniejsza niż określona wartość. Rezystancje te określone są w normach przedmiotowych. W badaniach typów powłok (na zgodność z normą przedmiotową) wyznacza się je w laboratoriach po wielodniowych ekspozycjach w elektrolicie. Fragment rury pokryty powłoką o powierzchni nie mniejszej niż 0,03 m² ekspozuje się przez okres 100 dni w roztworze NaCl o stężeniu 0,1 mol/l, w temperaturze (23±2)°C. Na przykład opór właściwy dwuwarstwowej powłoki polietylenowej wg [8] po takiej ekspozycji nie powinien być mniejszy niż 10⁸ Ωm². W rzeczywistości uzyskuje się większe wartości. Powierzchniowy opór właściwy powłoki wyznacza się jako iloczyn rezystancji w Ω, wyznaczonej metodą techniczną, i powierzchni w m² badanej w laboratorium powłoki.

Zatem wydawałoby się, że po zakopaniu odcinka/rurociągu pokrytego powłoką (ziemia to też elektrolit), teoretycznie na podstawie wyznaczonej jednostkowej rezystancji przejścia rurociągu można wysnuwać wnioski o stopniu szczelności powłoki.

Powszechnie przyjmuje się, m.in. w [3], iż powłokę izolacyjną zakopanego krótkiego odcinka/rurociągu można uznać za bezdefektową, jeśli jednostkowa rezystancja powłoki izolacyjnej jest nie mniejsza niż wartość określona w normie przedmiotowej. Wymagane powierzchniowe rezystywności wybranych powłok, wg norm przedmiotowych, przedstawiono w tabelicy 2.

Tabela 2. Opory właściwe wybranych powłok izolacyjnych wg norm przedmiotowych

Table 2. Average coating resistance according to subject norms

Rodzaj powłoki	Norma ¹⁾	Wymagana rezystywność powłoki, co najmniej [Ωm ²]
Trójwarstwowe wytłaczane powłoki polietylenowe na rurach	PN-EN ISO 21809-1	Nie określono
Trójwarstwowe wytłaczane powłoki polipropylenowe na rurach	PN-EN ISO 21809-1	Nie określono

Dwuwarstwowe wytłaczane powłoki polietylenowe na rurach	PN-EN 10288	10 ⁸
Polietylenowe, wytłaczane i spiekane powłoki na rurach i kształtkach stalowych	DIN 30670: 1991	10 ⁸
Polietylenowe: trójwarstwowe powłoki wytłaczane, jednowarstwowo lub wielowarstwowo powłoki spiekane – na rurach i kształtkach stalowych	DIN 30670: 2012 – 4 [17]	10 ⁸
Powłoki z taśm lub z materiałów termokurczliwych na rurach i połączeniach	DIN 30672	10 ⁸ dla klasy C, 10 ⁶ dla klas B i A
	PN-EN 12068	10 ⁶ dla klasy C, B i A
	PN-EN ISO 21809-3	10 ⁸ dla taśm polimerowych, 10 ⁶ dla pozostałych taśm, dla materiałów termokurczliwych nie określono
Powłoki epoksydowe lub epoksydowe modyfikowane nanoszone w stanie ciekłym, na rurach i połączeniach	PN-EN 10289	dla klasy C nie określono (do uzgodnienia pomiędzy zamawiającym, a wytwórcą), 10 ⁷ dla klasy B, 10 ⁶ dla klasy A
	PN-EN ISO 21809-3	10 ⁶
Powłoki z poliuretanu lub poliuretanu modyfikowanego nanoszone w stanie ciekłym, na rurach i połączeniach	PN-EN 10290	10 ⁷ dla klasy B, 10 ⁶ dla klasy A
	PN-EN ISO 21809-3	10 ⁶
Powłoki epoksydowe na armaturze	DIN 30677-2	10 ⁸
Powłoki poliuretanowe na armaturze	DIN 30677-2	10 ⁸
Powłoki poliuretanowo-smołowe (PUR tar)	DIN 30677-2	10 ⁸

Jednakże pomiary praktyczne, analizy i obliczenia wskazują, że to kryterium może być i często jest zbyt łagodne (niewystarczające). Wg norm, jeśli powłoka jest szczelna, to jej powierzchniowy opór właściwy nie powinien być mniejszy niż określona wartość (np. 10⁸ Ωm² dla wytłaczanych powłok polietylenowych), jednakże – czy można twierdzić odwrotnie, że jeśli powierzchniowy opór właściwy powłoki rurociągu zasypanego jest większy, niż wartość określona w normie przedmiotowej, to oznacza to, iż powłoka izolacyjna tego odcinka/rurociągu – jest szczelna? Nie, nie oznacza w licznych przypadkach – wskazują na to praktyka i analizy.

W standardzie [3] w załączniku A zamieszczono następującą uwagę:

„UWAGA – Kryteria te są właściwe dla krótkich odcinków rurociągów, o powierzchniach zewnętrznych nie większych niż ok. 1500 m² i ułożonych w gruntach o rezystywnościach nie większych niż 100 Ωm. Podane jednostkowe rezystancje przejścia są wartościami minimalnymi, wynikającymi z wymagań norm przedmiotowych dotyczących powłok izolacyjnych. W praktyce jednostkowe rezystancje przejścia powłok bez defektów często są większe. Dlatego też, zwłaszcza w przypadku oceniania powłok odcinków rurociągów o większych powierzchniach zewnętrznych, szczególnie ułożonych w gruntach o rezystywnościach większych niż 100 Ωm, zasadne może być stosowanie jako kryteriów odbiorowych większych jednostkowych rezystancji przejścia niż wyżej podane. Przy ustalaniu tych ostrzejszych kryteriów powinna być uwzględniona m.in. największa rezystywność gruntu występująca na trasie ocenianego odcinka rurociągu. Alternatywnie można zastosować kryterium braku defektów powłoki izolacyjnej, stwierdzonego w wyniku badania wykrywającego/lokalizującego defekty powłoki.”

Warto zwrócić także uwagę, że rezystywność środowiska ziemnego, w którym najczęściej układa się rurociągi lądowe, jest zdecydowanie większa, niż rezystywność roztworu soli, w którym eksponuje się fragmenty powłok podczas badania powierzchniowego oporu właściwego powłoki w laboratorium. Z kolei powierzchnie boczne rzeczywistych rurociągów, których powłoki są badane „po zasypaniu”, które mogą wynosić kilka tysięcy m², są niewspółmiernie większe, niż powierzchnie powłok badanych w laboratorium (może to być zaledwie 0,03 m²). Chociażby z tych powodów powierzchniowe opory właściwe szczelnych powłok rzeczywistych rurociągów „po zasypaniu” są większe, niż wartości określone w normach przedmiotowych (np. 10⁸ Ωm² dla polietylenowych powłok wytłaczanych)

Rezystywność polietylenu wynosi ok. 10¹⁵ Ωm, zatem opór skrośny arkusza polietylenu o powierzchni 1 m² i grubości 4 mm wyniesie ok. **4x10¹² Ωm²**.

Celowe jest, po raz kolejny, przypomnienie wartości jednostkowych rezystancji przejścia rur pokrytych szczelnymi powłokami, po wieloletniej ekspozycji w gruncie, wg Baeckmanna [18]

Tabela 3. Rezystywności powierzchniowe wybranych powłok bez defektów, nałożonych na odcinki rurociągów, po długoletniej ekspozycji w środowisku elektrolitycznym [18]

Table 3. Average resistances of selected flawless coatings set on sections of pipelines after many years of exposure to electrolytic environmet [18]

Rodzaj powłoki antykorozyjnej	Grubość powłoki	Środowisko ekspozycji	Czas ekspozycji	Rezystywność powierzchniowa powłoki
	t [mm]		T (w latach)	r_{p0} [Ωm^2]
PE (2x), klej miękki	4	woda	19	10^{11}
PE (2x), klej miękki	7	ziemia	20	10^{11}
PE, klej stopiony	2,4	ziemia	20	3×10^{10}
PE, klej stopiony	2,2	woda	19	10^{11}
PE, stopiony	4	ziemia	20	3×10^{10}
PE, system taśmowy	3,5	ziemia	10	10^9
PE, system taśmowy	1,5	ziemia	10	10^8
PUR - Teer (poliuretan - smoła)	2,5	ziemia	10	10^9
EP (epoksyd)	0,4	ziemia	10	10^8
EP - Teer (epoksyd - smoła)	2	ziemia	10	3×10^6
Bitum	7	ziemia	20	10^5
Bitum	4	woda	19	3×10^5

Jak widać, w przypadku powłok polietylenowych (na kleju miękkim, na kleju stopionym lub bez kleju), po wieloletnich ekspozycjach, powierzchniowe rezystywności (jednostkowe rezystancje przejścia) nie są mniejsze niż $10^{10} \Omega m^2$. Zatem całkowicie uzasadnione jest wymaganie, aby w przypadku odcinków rurociągów, które mają być zabezpieczone szczelnymi (bezdefektowymi) powłokami izolacyjnymi 3LPE/3LPP, ich jednostkowe rezystancje przejścia „po zasypianiu” nie były mniejsze, niż $10^9 \Omega m^2$.

Autor bardzo często spotyka się w swojej praktyce zawodowej z jednostkowymi rezystancjami przejścia odcinków rurociągów „po zasypianiu” na poziomie $10^9 \Omega m^2$ i większym, z kolei niejednokrotnie występują sytuacje, gdy jednostkowa rezystancja przejścia jest większa niż $10^8 \Omega m^2$, a jednocześnie powłoka izolacyjna zawiera defekty.

Przykład 1. Odcinek rurociągu o średnicy zewnętrznej $D_z = 0,508$ m, długości $L = 170$ m, ułożony przekopem otwartym pod rzeką. Powłoki fabryczne rur: 3LPE kl. A3, powłoki na połączeniach spawanych – opaski termokurczliwe na podkładzie epoksydowym, kl. C. Jednostkowa rezystancja przejścia odcinka, wyznaczona przed połączeniem tego odcinka z istniejącym, starym rurociągiem w powłoce bitumicznej: $r_{CO} \approx 2,7 \times 10^{11} \Omega m^2$.

Przykład 2. Odcinek budowanego rurociągu o średnicy zewnętrznej $D_z = 0,2191$ m, długości $L = 50$ m, ułożony przekopem otwartym pod drogą w gruncie niskooporowym. Powłoki fabryczne rur: 3LPE kl. B3, powłoki na połączeniach spawanych – opaski termokurczliwe kl. C. Jednostkowa rezystancja przejścia odcinka, wyznaczona przed połączeniem tego odcinka z istniejącym, starszym rurociągiem w powłoce 3LPE: $r_{CO} \approx 2,9 \times 10^{11} \Omega m^2$.

Przykład 3. Odcinek rurociągu o średnicy zewnętrznej $D_z = 0,508$ m, długości $L = 12$ m, ułożony techniką przecisku pod drogą asfaltową. Powłoki fabryczne rur: 3LPP klasy C3, powłoki na połączeniach spawanych – wzmocnione opaski termokurczliwe Dirax PP. Żadnych powłok osłonowych nie stosowano. Jednostkowa rezystancja przejścia odcinka, wyznaczona przed połączeniem tego odcinka z sekcjami sąsiednimi w powłokach 3LPE: $r_{CO} \approx 1,7 \times 10^{11} \Omega m^2$.

Przykład 4. Wydzielony elektrycznie (monoblokami izolującymi) odcinek rurociągu o średnicy zew. $D_z = 0,711$ m i długości $L = 1594$ m pokryty jest (na rurach) fabryczną powłoką 3LPP o grubości $t=3,2$ mm, na połączeniach spawanych opaskami termokurczliwymi na podkładzie epoksydowym, a jego jednostkowa, powierzchniowa rezystancja przejścia wynosi $r_{CO} \approx 1,5 \times 10^9 \Omega m^2$. Powierzchnia boczna odcinka: $S = 3555,5$ m². Rezystancja przejścia tego odcinka wynosi $R_{CO} \approx 422,5$ k Ω . Rurociąg doziemiono sztucznie elektrodą symulującą defekt izolacji o powierzchni 1 cm². Wypadkowa rezystancja przejścia zmniejszyła się do $R_{CO} \approx 99$ k Ω , a jednostkowa rezystancja przejścia zmniejszyła się do ok. $r_{CO} \approx 3,5 \times 10^8 \Omega m^2$.

Zatem zasymulowano nieszczelność powłoki o powierzchni 1 cm^2 , a jej powierzchniowy opór właściwy nadal był większy niż $10^8 \Omega\text{m}^2$.

Przykład 5. Wydzielony elektrycznie (monoblokami izolującymi) odcinek rurociągu o średnicy zew. $D_z = 0,711 \text{ m}$ i długości $L = 3410 \text{ m}$ pokryty jest (na rurach) fabryczną powłoką 3LPP o grubości $t=3,2 \text{ mm}$, na połączeniach spawanych opaskami termokurczliwymi na podkładzie epoksydowym, a jego jednostkowa, powierzchniowa rezystancja przejścia wynosi $r_{CO} \approx 1,3 \times 10^8 \Omega\text{m}^2$. Powierzchnia boczna tego odcinka: $S = 7617,5 \text{ m}^2$, a więc jest znacząco większa, niż 1500 m^2 . Ponieważ odcinek narażony jest na silne oddziaływanie równoległe przebiegającej linii WN 400 kV, jego powłoka izolacyjna, zgodnie z projektem, powinna być bezdefektowa (szczelna). Mimo iż jednostkowa rezystancja przejścia jest większa niż $10^8 \Omega\text{m}^2$, przeprowadzono badania lokalizujące defekty izolacji specjalną metodą pomiarową. Wykryto cztery defekty, a więc powłoka nie była szczelna.

Jeśli na odcinkach, na których całkowicie szczelna powłoka izolacyjna ma być jedynym zabezpieczeniem, w rzeczywistości nie będzie ona szczelna, np. w rezultacie zastosowania niewłaściwego kryterium, to w miejscach nieszczelności powłoki może dojść do korozji, a nawet perforacji ścianki rurociągu. Zatem może zaistnieć np. sytuacja, gdy jednostkowa rezystancja przejścia odcinka rurociągu przesyłowego ułożonego równoległe, w sąsiedztwie napowietrznej linii WN o napięciu 400 kV, wynosi np. $2 \times 10^8 \Omega\text{m}^2$, a pomimo tego wystąpi korozja ścianki rurociągu, gdyż polietylenowa powłoka izolacyjna tego odcinka w rzeczywistości będzie zawierała defekty. (W tych defektach może wystąpić korozja przeniennoprądowa rurociągu w wyniku oddziaływania linii WN, gdyż ochrona katodowa, generalnie, nie zabezpiecza przed korozją tego rodzaju.)

Zdaniem autora, w przypadku zasypanych odcinków/rurociągów pokrytych powłokami polietylenowymi lub polipropylenowymi, wstępnie wyznacznikiem szczelności tych powłok powinna być jednostkowa rezystancja przejścia nie mniejsza niż $10^9 \Omega\text{m}^2$. Stosowanie kryterium $10^8 \Omega\text{m}^2$ może być ewentualnie uzasadnione jedynie w przypadku odcinków o małych powierzchniach, umieszczonych w środowisku o małej rezystywności, np. w wodzie – każdorazowo po indywidualnej analizie. W takich warunkach najmniejsze nieszczelności spowodują zmniejszenie jednostkowej rezystancji przejścia poniżej $10^8 \Omega\text{m}^2$, do poziomu 10^7 , a nawet $10^6 \Omega\text{m}^2$.

Przykład 6. Odcinek rurociągu o średnicy zewnętrznej $D_z = 0,508 \text{ m}$, długości $L = 40 \text{ m}$, pokryty powłoką izolacyjną 3LPE o grubości $t = 4 \text{ mm}$, ułożony jest w wodzie o rezystywności $\rho = 15 \Omega\text{m}$. W warunkach bez defektów jednostkowa rezystancja przejścia wynosi $r_{CO0} \approx 1,5 \times 10^{10} \Omega\text{m}^2$, a rezystancja przejścia $R_{CO0} \approx 235 \text{ M}\Omega$. Po pojawieniu się skośnego defektu o średnicy $D = 1 \text{ mm}$, powierzchniowa rezystywność powłoki zmniejszy się do $r_{CO} \approx 5,35 \times 10^6 \Omega\text{m}^2$, a rezystancja przejścia do $R_{CO} \approx 83,86$. Natomiast gdyby taka nieszczelność powstała w powłoce odcinka rurociągu o długości 3000 m, to jednostkowa rezystancja przejścia zmniejszyłaby się do $r_{CO} \approx 3,92 \times 10^8 \Omega\text{m}^2$, a rezystancja przejścia zmniejszyłaby się z $3,13 \text{ M}\Omega$ do $81,7 \text{ k}\Omega$.

W przypadku niespełnienia wyjściowego kryterium $r_{CO} \geq 10^9 \Omega\text{m}^2$ niezbędne jest ustalenie przyczyn tego stanu – w tym sprawdzenie istnienia/zlokalizowanie defektów powłoki izolacyjnej odpowiednią metodą lokalizacji.

Porównując wymagane powierzchniowe opory właściwe powłok z tych samych materiałów, lecz wg różnych norm przedmiotowych, zauważalne są niezrozumiałe różnice. Na przykład dla powłok nawojowych klasy C, w tym polimerowych, wg PN-EN 12068 wymagana jest rezystywność co najmniej $10^6 \Omega\text{m}^2$, a dla powłok nawojowych polimerowych wg PN-EN ISO 21809-3 – $10^8 \Omega\text{m}^2$. Dla powłok klasy B z poliuretanu wg PN-EN 10290 i klasy C z epoksydu wg PN-EN 10289 wymaga się rezystywności co najmniej $10^7 \Omega\text{m}^2$, a dla powłok z tych materiałów wg DIN 30677-2 – $10^8 \Omega\text{m}^2$. Różnice sięgające rzędu, a nawet dwóch rzędów wielkości są zupełnie niezrozumiałe i świadczą, zdaniem autora, o niedoskonałości norm przedmiotowych.

6. Zasady wykonywania pomiarów

W celu sprawdzenia, czy spełnione jest kryterium bezdefektowości odcinka/rurociągu zakopanego, niezbędne jest wyznaczenie jednostkowej rezystancji przejścia ocenianego odcinka rurociągu i porównanie jej z wymaganą minimalną rezystancją (kryterium szczelności). Jeśli wyznaczona rezystancja jest mniejsza, to powinny zostać zlokalizowane i naprawione defekty powłoki izolacyjnej.

Zasady pomiarów przedstawiono w [1, 19, 20].

W przypadku rurociągów pokrytych powłokami izolacyjnymi o wysokim poziomie szczelności (a takich w zasadzie dotyczy kwestia bezdefektowości powłoki) w badaniach należy zastosować odpowiednią metodę pomiarową. Przy wyborze metody wyznaczania rezystancji przejścia rurociągu lub jego odcinków należy uwzględnić m.in. rodzaj i jakość powłoki izolacyjnej oraz powierzchnię boczną badanego odcinka/rurociągu, a przede wszystkim – wyniki wstępnych pomiarów poziomu izolacji.

W zależności od wyników wstępnych pomiarów poziomu izolacji, należy użyć miernika izolacji, zastosować metodę techniczną lub metodę probierczej polaryzacji katodowej. W przypadku dłuższych odcinków, wyposażonych w punkty prądowe PIs umożliwiające pomiary natężenia prądu płynącego w rurociągu, niezbędne może być wyznaczenie rezystancji przejścia pododcinków wydzielonych kolejnymi punktami pomiarowymi. W celu wyznaczenia rezystancji przejścia należy zastosować impulsową polaryzację probierczą znacząco zwiększonym prądem (w impulsie) o odpowiednio dobranym cyklu *on/off*; czas załączenia *on* impulsu prądu powinien być minimalny, a czas wyłączenia *off* wielokrotnie dłuższy. Niezbędne jest stosowanie zwiększonego prądu w impulsie, aby spadki napięć w rurociągu wywołane przepływem tego prądu były mierzalne i aby możliwe było określenie upływności prądu na pododcinkach rurociągu, z drugiej strony – impulsy zwiększonego prądu muszą być krótkotrwałe, aby nie spowodować szkód – degradacji stali i powłoki rurociągu [1].

Należy brać pod uwagę ewentualny wpływ pojemności elektrycznej kondensatora, jakim jest izolowany rurociąg podziemny, w tym odmienne „zachowania” układu w przypadku wykorzystywania galwanostatycznego i napięciowego źródła probierczego prądu polaryzacji.

Alternatywnie, zamiast pomiarów jednostkowej rezystancji przejścia, można zastosować metodę wykrywającą/lokalizującą defekty w powłoce rurociągu zakopanego

Lokalizację/sprawdzenie występowania defektów powłok izolacyjnych zakopanych rurociągów należy przeprowadzać metodami prądu stałego (za pomocą pomiarów gradientów stałoprądowych), np. DCVG wg PN EN 13509 [21] lub IFO [22]. Jednakże powinien być stosowany odpowiednio silny sygnał detekcyjny, w postaci krótkotrwałych impulsów prądu polaryzacji katodowej, z wykorzystaniem napięciowego źródła prądu. W badaniach może być konieczne wywoływanie krótkotrwałych impulsów potencjału załączeniowego o wartości bezwzględnej nawet kilkudziesięciu woltów.

Wnioski

1. Sprawa właściwego kryterium bezdefektywności powłoki jest kluczowa dla skuteczności wariantu ochrony przeciwkorozyjnej opartej na szczelnej powłoce izolacyjnej podziemnego odcinka rurociągu.
2. Jednostkowa rezystancja przejścia odcinka/rurociągu zasypanego większa niż $10^8 \Omega\text{m}^2$ w ogólności nie jest wyznacznikiem bezdefektywności powłoki polietylenowej lub polipropylenowej. Jako kryteria bezdefektywności odcinków rurociągów w takich powłokach powinny być stosowane większe jednostkowe rezystancje, np. wyjściowo co najmniej na poziomie $10^9 \Omega\text{m}^2$.
3. Zauważalne są rozbieżności terminologiczne dotyczące badań szczelności powłok izolacyjnych poroskopem wysokonapięciowym – w normach przedmiotowych dotyczących poszczególnych rodzajów powłok.
4. Różne normy przedmiotowe określają różne napięcia badania szczelności powłok wykonanych z tych samych materiałów, a także różne wymagane powierzchniowe opory właściwe.

Literatura

1. Fiedorowicz M., Michał Jagiełło. 2016. „Wybrane aspekty dotyczące pomiarów rezystancji przejścia podziemnych rurociągów – Cz. 1”. *Ochrona przed Korozją*, 59 (8): 290 – 295
2. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 26 kwietnia 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie
3. Standard Techniczny ST-IGG-0601:2012 Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych. Wymagania funkcjonalne i zalecenia
4. PN-EN 12954:2004 Ochrona katodowa konstrukcji metalowych w gruntach lub w wodach - Zasady ogólne i zastosowania dotyczące rurociągów
5. PN-EN ISO 21809-1: 2011 Przemysł naftowy i gazowniczy - Powłoki zewnętrzne rurociągów podziemnych i podmorskich stosowanych w rurociągowych systemach transportowych - Część 1: Powłoki poliolefinowe (3 - warstwowe PE i 3 - warstwowe PP)
6. PN-EN ISO 21809-3: 2008 Przemysł naftowy i gazowniczy - Powłoki zewnętrzne rurociągów podziemnych i podmorskich stosowanych w rurociągowych systemach transportowych - Część 3: Powłoki złączy polowych, wer. angielska (Petroleum and natural gas industries - External coatings for buried or submerged pipelines used in pipeline transportation systems - Part 3: Field joint coatings)
7. Rozporządzenie Ministra Przemysłu i Handlu z dnia 14 listopada 1995 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe (Dziennik Ustaw nr 139, poz. 686)

8. PN-EN 10288: 2003 Rury stalowe i łączniki na rurociągi przybrzeżne i morskie - Zewnętrznie wytłaczane dwuwarstwowe powłoki polietylenowe
9. PN-EN 12068: 2002 Ochrona katodowa - Zewnętrzne powłoki organiczne stosowane łącznie z ochroną katodową do ochrony przed korozją podziemnych lub podwodnych rurociągów stalowych - Taśmy i materiały kurczliwe
10. PN-EN 10329: 2006 Rury stalowe i łączniki na rurociągi przybrzeżne i morskie - Powłoki zewnętrzne złącz montażowych
11. PN-EN 10289: 2005 Rury stalowe i łączniki na rurociągi przybrzeżne i morskie - Powłoki zewnętrzne z żywicy epoksydowej lub epoksydowej modyfikowanej nanoszone w stanie ciekłym
12. PN-EN 10290: 2005 Rury stalowe i łączniki na rurociągi przybrzeżne i morskie - Powłoki zewnętrzne z poliuretanu lub poliuretanu modyfikowanego nanoszone w stanie ciekłym
13. DIN 30677 DIN 30677-2 Äußerer Korrosionsschutz von erdverlegten Armaturen; Umhüllung aus Duroplasten (Außenbeschichtung) für erhöhte Anforderungen
14. BN - 76/0648-76 Bitumiczne powłoki na rurach stalowych układanych w ziemi
15. DIN 30672 Umhüllung aus Korrosionsschutzbinden und wärmeschrumpfenden Material für Rohrleitungen für Dauerbetriebstemperaturen bis 50 °C, 1991
16. DIN 30670 Umhüllung von Stahlrohren und -formstücken mit Polyethylen, 1991
17. DIN 30670:2012-04 Polyethylen-Umhüllungen von Rohren und Formstücken aus Stahl - Anforderungen und Prüfungen
18. v Baeckmann W., Schwenk W., Prinz W.: Handbuch des kathodischen Korrosionsschutzes, Verlag Chemie, Weinheim 1989
19. Standard Techniczny ST-IGG-0602: 2013 Ochrona przed korozją zewnętrzną stalowych gazociągów lądowych - Ochrona katodowa - Projektowanie, budowa i użytkowanie
20. Hanasz Marian. 2009. „Pomiar prądu w ocenie powłoki rurociągu”. *Ochrona przed Korozją*, 52 (8): 308 - 313
21. PN-EN 13509: 2005 Metody pomiarowe w ochronie katodowej
22. Peez G.: Intensive Fehlstellenortung bei erdverlegten PE-umhüllten Sthlrohrleitungen, Gas Erdgas nr 3, 1992