



**PRZYPADEK PEWNEGO RUROCIĄGU POKRYTEGO
POWŁOKĄ BITUMICZNĄ BARDZO ZŁEJ JAKOŚCI**

**THE CASE OF THE PIPELINE WITH VERY LOW QUALITY
BITUMINOUS COATINGS**

Marek Fiedorowicz, Michał Jagiełło

Operator Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A.

Słowa kluczowe: ochrona katodowa, powłoka izolacyjna, pomiary intensywne, korozymetria rezystancyjna
Keywords: cathodic protection, insulating coating, intensive measuring, resistance corrosimetry

Streszczenie

W referacie przedstawiono problemy ze skutecznym zabezpieczeniem przed korozją pewnego stalowego rurociągu przesyłającego medium palne, pokrytego powłoką bitumiczną bardzo złej jakości. Wskazano przyczyny i konsekwencje niskiego poziomu izolacji rurociągu. Zaprezentowano działania podjęte w celu zdiagnozowania zagrożenia korozyjnego oraz w celu uzyskania skutecznego, potwierdzonego zabezpieczenia przeciwkorozyjnego.

Summary

This paper presents problems connected with an effective protection of some steel pipeline which transports flammable substances and is covered with bituminous coating of very low quality. Some causes and consequences have been given as far as the low level of pipeline insulation is concerned. Also, some actions taken in order to assess the risk of corrosion and steps towards an effective, approved corrosion protection have been described.

1. Wprowadzenie

Budowę rurociągu o średnicy DN 200 i długości 31 km ukończono w 1987 r. Rury stalowe użyte do budowy nie były pokryte fabrycznymi powłokami bitumicznymi, nakładanymi w hucie. Zakupione „gołe” rury zaizolowano „systemem gospodarczym”. Tzw. zespół gospodarczy nakładał prymitywną metodą bitumiczne powłoki na rury na terenie wytwórni gazu miejskiego. Kontrole jakości używanych materiałów i wytworzonych powłok nie były przeprowadzane. Również podczas prac montażowych fachowy nadzór nad pracami izolacyjnymi został wyeliminowany.

W rezultacie uzyskany poziom izolacji rurociągu jest bardzo niski. Jednostkowe rezystancje przejścia poszczególnych pododcinków zawierają się w przedziale od $2,2 \times 10^2$ do $9,7 \times 10^3 \Omega \text{m}^2$. Na odcinkach o łącznej długości stanowiącej ok. 17 % długości całkowitej jednostkowa rezystancja przejścia jest na poziomie $10^2 \Omega \text{m}^2$; z kolei na odcinkach o długości stanowiącej ok. 50% długości całkowitej ledwo osiąga poziom $10^3 \Omega \text{m}^2$.

W celu ochrony katodowej zaprojektowano i wybudowano trzy stacje z zewnętrznym źródłem prądu. W okresie użytkowania rurociągu, z uwagi na niski poziom izolacji rurociągu, wybudowano dodatkową (czwartą) stację ochrony katodowej. Gęstość prądu polaryzacji katodowej wynosi aktualnie ok. 1 mA/m^2 i jest ona zbyt mała w celu uzyskania skutecznej ochrony. Obecnie zachodzi konieczność wybudowania kolejnej, piątej stacji.

Rurociąg poddany jest oddziaływaniom prądów błędzących. Na wszystkich (łącznie dwóch) skrzyżowaniach z trakcją kolejową występują katodowe strefy oddziaływań.

Jedynym pozytywnym aspektem związanym z ochroną przeciwkorozyjną jest brak rur osłonowych zwartych z przewodem rurowym. Wszystkie spośród dziewięciu zamontowanych rur osłonowych, ku zaskoczeniu, są galwanicznie odizolowane od przewodu rurowego.

Rurociąg ułożony jest w zróżnicowanym gruncie. Występują sprzyjające warunki do powstawania silnych, klasycznych makroogniw korozyjnych zróżnicowanego natleniania. Często górna część rurociągu ułożona jest w gruncie piaszczystym, a dolna – w nawodnionym gruncie o małej rezystywności.

2. Pomiary intensywne i ich wyniki

Celem wykonanych w 2009 r. pomiarów intensywnych było rozpoznanie polaryzacji katodowej rzeczywistych defektach i określenie zakresu przyszłego remontu powłoki izolacyjnej rurociągu.

Zamawiający precyzyjnie określił zakres i sposób wykonania pomiarów oraz prezentacji wyników:

- A. Wzdłuż trasy rurociągu należało wykonać pomiary intensywne metodą trzelektrodową, tj. wykonać w sposób synchroniczny pomiary: potencjałów załączeniowych i wyłączeniowych nad rurociągiem oraz gradientów załączeniowych i wyłączeniowych „dziesięciometrowych” po obu stronach rurociągu. Należało stosować krok pomiarowy o długości 2 m, zagęszczany w rejonach występowania defektów, w celu zlokalizowania ich epicentrów. Na odcinkach, na których powłoka izolacyjna jest silnie zdegradowana (defekty powłoki leżą blisko siebie i nie jest możliwa lokalizacja epicentrów poszczególnych defektów) należało stosować krok pomiarowy od długości 1m.

- B. W zlokalizowanych defektach powłoki należało wyznaczyć potencjały polaryzacji katodowej E_{IRfree} metodą pomiarowo - obliczeniową (ekstrapolacyjną), z uwzględnieniem analizy błędów, wynikających z błędów elektrod odniesienia. Standardowo należało przyjąć błąd wyznaczenia gradientu wyłączeniowego, wynikający z błędów elektrod odniesienia $\Delta = \pm 20$ mV.
- C. W strefach oddziaływań silnych prądów błędzących (w rejonach skrzyżowań rurociągu z linią kolejową oraz ewentualnie w innych miejscach, w których w trakcie wykonywania pomiarów występować będą duże wahania potencjałów/gradientów potencjału) należało wyznaczyć potencjały E_{IRfree} w odpowiednio długich przedziałach czasu (min. 1 godz.) w reprezentatywnych defektach powłoki.
- D. Wzdłuż trasy rurociągu należało wykonać pomiary pozornej rezystywności gruntu:
 - wzdłuż całej trasy rurociągu w odstępach nie mniejszych niż ok. 100 m,
 - w miejscach występowania defektów powłoki, w epicentrach których zmierzone wartości gradientów różnicowych są większe od ok. 100 mV.
 Pomiary należało wykonać metodą Wennera, przy rozstawie elektrod 2 i 3 m.
- E. Wzdłuż trasy należało wykonać pomiary głębokości ułożenia rurociągu:
 - w miejscach występowania istotnych defektów powłoki,
 - wzdłuż całej trasy rurociągu w odstępach nie rzadszych niż ok. 50 m.

W dokumentacji z przeprowadzonych pomiarów należało zawrzeć m.in.:

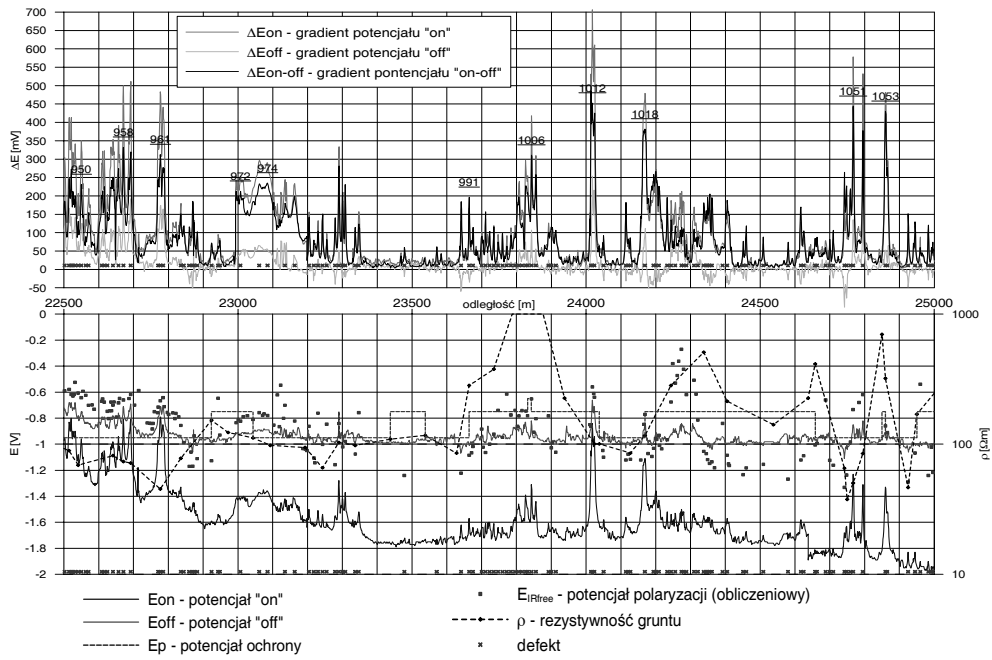
- 1) tabelaryczne zestawienie wyników wszystkich pomiarów (potencjałów, gradientów, rezystywności gruntu, głębokości ułożenia rurociągu) w postaci cyfrowej;
- 2) wyniki rejestracji przeprowadzonych w rejonach silnych oddziaływań prądów błędzących nad wybranymi defektami powłoki, w celu wyznaczenia potencjałów polaryzacji E_{IRfree} ;
- 3) tabelaryczne zestawienie wszystkich wykrytych defektów z podaniem:
 - numeru defektu,
 - lokalizacji (km trasy rurociągu),
 - wyników pomiarów wykonanych nad defektami (gradienty załączeniowy, wyłączeniowy i różnicowy, potencjały załączeniowy, wyłączeniowy)
 - potencjałów polaryzacji katodowej E_{IRfree} wyznaczonych dla defektów (z uwzględnieniem błędów wynikających z błędów elektrod odniesienia),
 - kryteriów ochrony wg PN-EN 12954
 - rezystywności gruntu (dla istotnych defektów),
 - głębokości ułożenia rurociągu (dla istotnych defektów);
- 4) tabelaryczne zestawienie występujących na trasie rurociągu trwałych szczegółów terenowych, takich jak:
 - punkty załamania trasy,
 - słupki trasowe,
 - słupki/szafki punktów pomiarowych,
 - kolumny wydmuchowe rur ochronnych,
 - pobliskie słupy energetyczne, studzienki drenażowe, inne obce obiekty,

- krawędzie nawierzchni asfaltowych,
 - krawędzie/środki dróg ziemnych, rowów, cieków wodnych,
 - przepusty, miedze, płoty, ogrodzenia i in.,
 - inne szczegóły, takie jak: rosnące nad- lub w bliskim sąsiedztwie rurociągu drzewa, zarośla, uprawy krzewów itp.
- 5) wyniki pomiarów w formie wykresów:
- a) wykresów zbiorczych, w skali ok. 1:10 000, przedstawiających zmierzone i wyznaczone nw. wielkości w funkcji długości rurociągu:
 - potencjały załączeniowy i wyłączeniowy,
 - gradienty załączeniowy, wyłączeniowy i różnicowy,
 - potencjały polaryzacji katodowej E_{IRfree} (w defektach powłoki),
 - rezystywność gruntu;
 - b) wykresów szczegółowych w skali 1:1000, na których obok wielkości wg a), dodatkowo należało:
 - zlokalizowane defekty powłoki izolacyjnej oznaczyć kolejnymi numerami, licząc od początku rurociągu,
 - na osi odciętych oznaczyć trwale szczegóły terenowe,
 - miejsca usytuowania defektów wytypowanych do naprawy zwymiarować względem najbliższych, trwałych szczegółów terenowych;
- 6) wykresy zmian w czasie potencjałów E_{IRfree} wyznaczonych w reprezentatywnych defektach powłoki zlokalizowanych w strefach silnych oddziaływań prądów błądzących;
- 7) na mapach trasy rurociągu (1:1000) należało zaznaczyć lokalizację defektów powłoki izolacyjnej wytypowanych do naprawy, z podaniem odległości od stałych szczegółów terenowych.

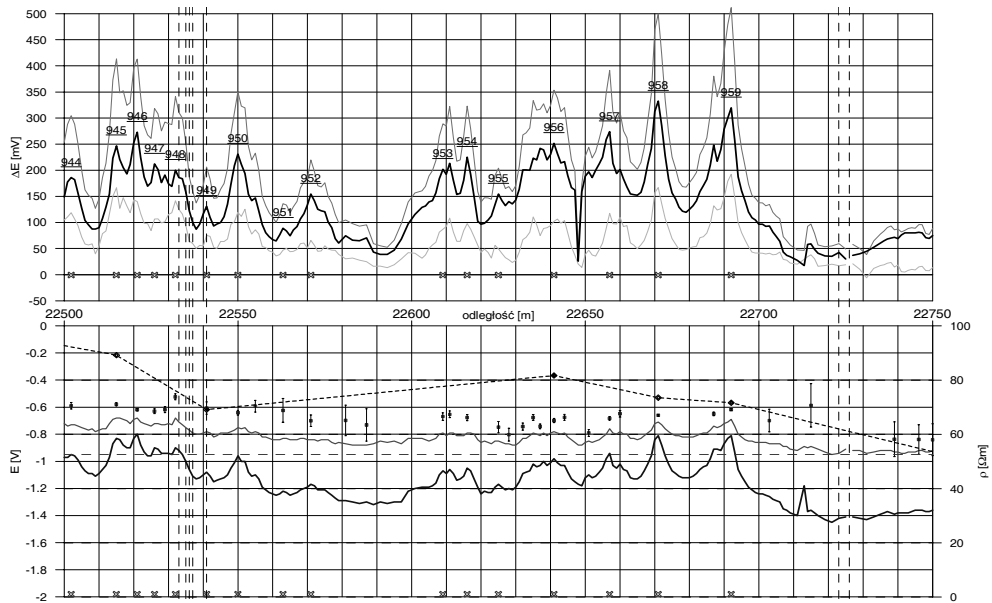
Wykonawca wykonał zadanie (pomiaru intensywne) w sposób niebudzący zastrzeżeń ze strony zamawiającego, wzorcowo. Na rys. 1, 2 przedstawiono fragment wyników pomiarów i obliczeń dla wybranego odcinka rurociągu.

Wykryto **1355** defektów w powłoce izolacyjnej. W tej liczbie wykryto 434 defekty, w których wyznaczone potencjały polaryzacji katodowej były lub mogły być bardziej dodatnie, niż potencjały ochrony (nie były lub mogły nie być spełnione potencjałowe kryteria ochrony katodowej w tych defektach); 39 takich defektów usytuowanych jest w gruntach o rezystywnościach pozornych mniejszych niż 100 Ω m.

Koszt usunięcia tych 434 defektów wyniósłby ok. 3 miliony złotych. Wysokie koszty remontu powłoki o takim zakresie spowodowały zmianę pierwotnych zamierzeń. Postanowiono oszacować szybkość korozji za pomocą korozymetrii rezystancyjnej oraz sprawdzić stan rurociągu (poprzez odkrywki kontrolne) w kilku miejscach, w których kryteria ochrony katodowej nie były spełnione w celu ustalenia, czy zakres przyszłego remontu mógłby być ograniczony.



Rys. 1. Wyniki pomiarów intensywnych. Przykładowy obraz wykresu zbiorczego dla odcinka rurociągu długości 2500 m



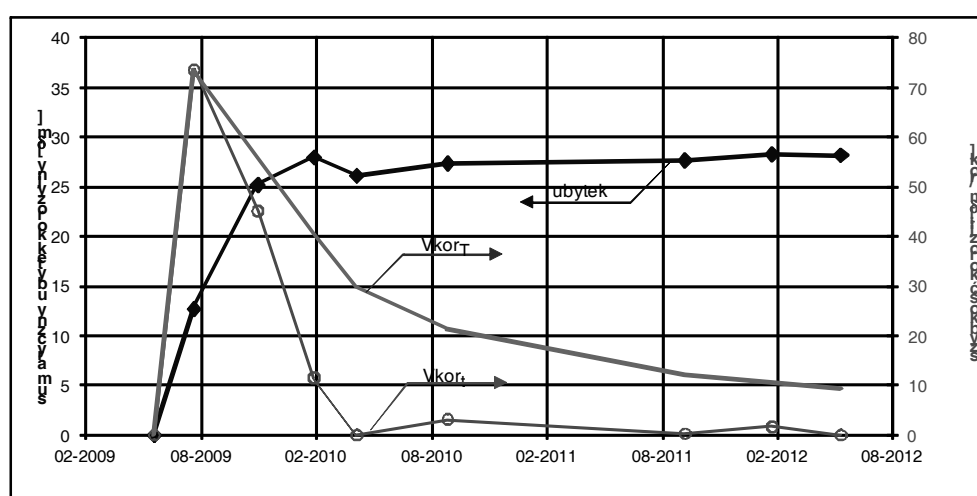
Rys. 2. Wyniki pomiarów intensywnych. Przykładowy obraz wykresu szczegółowego dla odcinka rurociągu długości 250 m. Pokazano błąd wyznaczenia potencjału E_{IRfree} , przy założeniu błędu elektrod ± 20 mV. Pozostałe oznaczenia jak na rys. 1

3. Korozymetria rezystancyjna

Zamontowano pięć czujników korozymetrycznych odwzorowujących defekty o powierzchni 100 cm². Dwa czujniki usytuowano w gruntach wysokooporowych, w tym jeden na skrzyżowaniu rurociągu z zelektryfikowaną trakcją kolejową, w pobliżu rzeczywistego defektu w powłoce. Trzy czujniki zamontowano w gruntach o rezystywnościach pozornych ok. 100 Ωm, w pobliżu defektów w powłoce, z którymi związane są gradienty różnicowe na poziomie od stu do kilkuset mV, w tym dwa - na wysokości defektów, w których wyznaczone potencjały E_{IRfree} były o ponad 200 mV bardziej dodatnie od potencjału ochrony wynoszącego -0,95 V.

W perspektywie kilkuletniej nie odnotowano nieakceptowanej szybkości korozji zamontowanych czujników korozymetrycznych.

W przypadku jednego czujnika zamontowanego w gruncie wysokooporowym o rezystywności ok. 5000 Ωm, którego potencjał E_{IRfree} wynosił $-0,47 \div -0,66$ V, odnotowano w początkowym, sześćdziesięciodniowym okresie ekspozycji szybkość korozji na poziomie 74 μm/rok. Szybkość ta następnie stopniowo malała do 0,3 μm/rok, a w całym dotychczasowym trzyletnim okresie ekspozycji wynosi średnio 9,5 μm/rok (rys. 3).

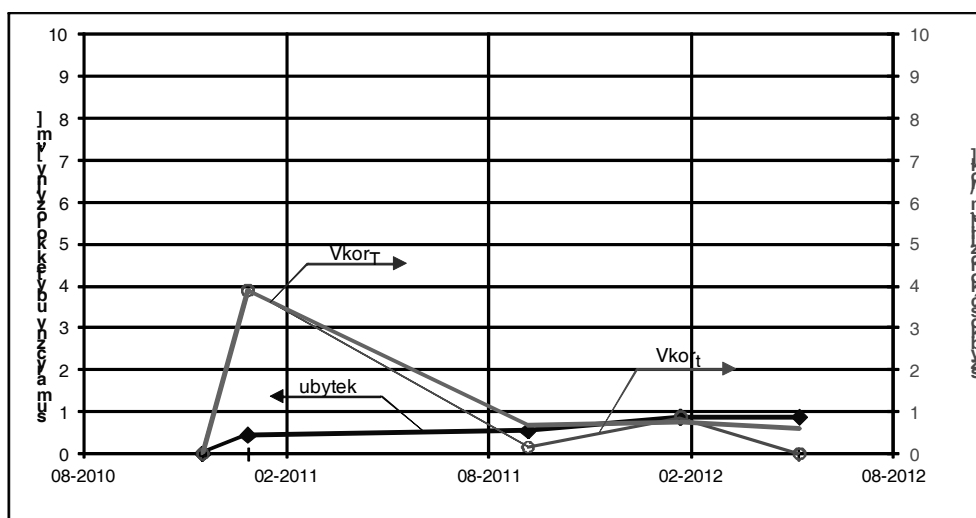


Rys. 3. Wyniki pomiarów na czujniku korozymetrycznym zamontowanym w gruncie wysokooporowym; V_{korI} - średnia szybkość korozji czujnika w okresie pomiędzy kolejnymi pomiarami, V_{korT} - średnia szybkość korozji czujnika w okresie od dnia montażu do dnia wykonania pomiaru

Z kolei w przypadku drugiego czujnika zamontowanego w innym miejscu, również w gruncie wysokooporowym (o pozornej rezystywności ok. 2000 Ωm) w pobliżu defektu „wytwarzającego” gradient on/off 270/120 mV, w strefie oddziaływań prądów błądzących, początkowa szybkość korozji wynosiła również ok. 74 μm/rok. Zmniejszyła się ona następnie do 2 μm/rok. W ciągu półtora roku dotychczasowej ekspozycji średnia szybkość korozji tego czujnika wyniosła ok. 25 μm/rok. Potencjał E_{IRfree} czujnika w dotychczasowym okresie ekspozycji zmieniał się niemonotonicznie w granicach $-0,42 \div -0,57$ V.

Na czujnikach zamontowanych w gruntach o mniejszych rezystywnościach pozornych nie odnotowano od momentu montażu praktycznie żadnych istotnych ubytków korozyjnych,

a szybkość korozji tych czujników wyniosła $\sim 1\div 4 \mu\text{m}/\text{rok}$ (rys. 4). Potencjały E_{IRfree} tych czujników w całym okresie ekspozycji były bardziej ujemne niż potencjał ochrony $-0,95 \text{ V}$, mimo iż w pobliskich rzeczywistych defektach wyznaczone potencjały E_{IRfree} były mniej ujemne niż potencjałowe kryterium ochrony.



Rys. 4. Wyniki pomiarów na czujniku korozymetrycznym zamontowanym w gruncie o rezystywności pozornej ok. $100 \Omega\text{m}$, w sąsiedztwie defektu powłoki, nad którym zmierzono gradienty potencjału $\Delta E_{\text{on/off}} = 540/170 \text{ mV}$ i dla którego wyznaczono potencjał $E_{\text{IRfree}} = -0,66 \text{ V}$

4. Odkrywki kontrolne

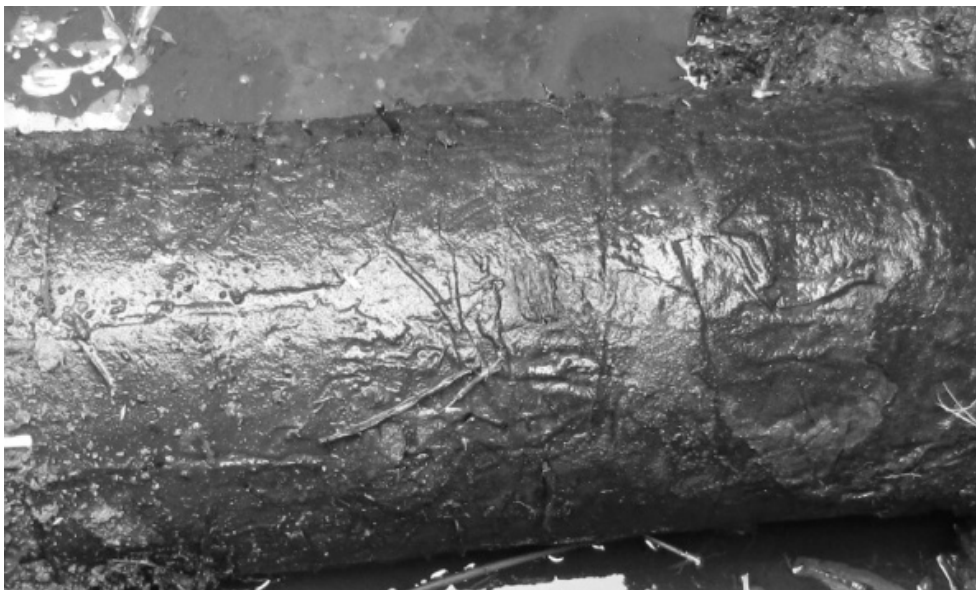
Na podstawie analizy wyników pomiarów intensywnych wytypowano kilka miejsca na rurociągu, w gruntach o rezystywnościach ok. $100 \Omega\text{m}$ i mniejszych, w których zlokalizowane zostały duże, istotne defekty, a wyznaczone potencjały w tych defektach E_{IRfree} były wyraźnie bardziej dodatnie od potencjału ochrony. W miejscach tych wykonano odkrywki kontrolne w celu zbadania ścianki rurociągu i dokonania oceny stanu powłoki izolacyjnej.

Wyniki wszystkich odkrywek były podobne i zaskakujące - choć, tak jak się spodziewano, jakość powłoki izolacyjnej rurociągu była bardzo słaba, nigdzie nie natrafiono na widoczne gołym okiem defekty izolacji, w których odsłonięta byłaby stalowa ścianka rurociągu! Pod usuniętą izolacją w miejscach, w których była ona najbardziej zdegradowana, nie stwierdzono żadnych śladów korozji ścianki rury (rys. 5).

Zmierzone na powierzchni ziemi w ramach pomiarów intensywnych potencjały i gradienty „on/off”, które wskazywały na obecność dużych, nie chronionych katodowo defektów (ubytków, nieszczelności) powłoki izolacyjnej, w rzeczywistości wywołane zostały przez bardzo liczne pory w zdegradowanej izolacji (o złej jakości początkowej).

Z pewnością w powłoce izolacyjnej rurociągu występują różnej wielkości ubytki, w których odsłonięta jest stalowa ścianka (choć nie natrafiono na nie w wykonanych odkrywkach). Pewną wiedzę o zagrożeniu korozyjnym i skuteczności ochrony katodowej rurociągu

w miejscach tych defektów uzyskano dzięki pomiarom korozymetrycznym. Podejmowane będą dalsze działania, by tę wiedzę pogłębić.



Rys. 5. Odsłonięty rurociąg w odkrywce. Powłoka izolacyjna – niejednorodna, porowata, z fałdami, zmarszczeniami i obszarami pocienionymi

5. Podsumowanie

Biorąc pod uwagę wyniki odkrywek kontrolnych i wyniki uzyskane za pomocą korozymetrii rezystancyjnej postanowiono maksymalnie ograniczyć zakres przyszłego remontu powłoki – do naprawy około dziesięciu defektów. Zaplanowano wybudowanie dodatkowej stacji ochrony katodowej w rejonie o największym „nasyceniu” defektami izolacji, w których nie są spełnione potencjałowe kryteria ochrony.

Przykład tego rurociągu pokazuje, jak kosztowne i kłopotliwe są konsekwencje bagatelizowania na etapie budowy rurociągu sprawy zapewnienia odpowiedniej jakości powłoki izolacyjnej.