

Rezystancja i impedancja falowa

Resistance and wave impedance

ADAM DWOJAK

DOI 10.36119/15.2020.10.1

Pomimo zabudowanego systemu alarmowego, w zależności od właściciela, sieci preizolowane funkcjonują albo bez faktycznego nadzoru, albo nadzór opiera się na urządzeniach z pomiarem rezystancji izolacji. Sporadycznie, z reguły jedynie w firmach zorientowanych wykonywane są pomiary impedancji falowej, czyli reflektometryczne. A czasami są one pomocne w ocenie stanu izolacji. Rozważania w niniejszym artykule dotyczą zasadniczo systemu impulsowego bez wkładek filcowych, chociaż mogą mieć też zastosowanie w systemie rezystancyjnym.

Słowa kluczowe: sieci ciepłownicze preizolowane, systemy alarmowe

Despite the built-in alarm system, depending on the owner, the pre-insulated networks either function or without actual supervision, or supervision is based on devices with insulation resistance measurement. Occasionally, As a rule, wave impedance measurements, i.e. reflectometric measurements, are performed only in oriented companies.

And sometimes they are helpful in assessing the state of isolation. The considerations in this article are essentially about the impulse system without felt pads, although they can also be used in a resistance system

Keywords: pre-insulated heating networks, alarm

Praktyka

Rurociągi preizolowane, jak każdy obiekt budowlany, powinny przechodzić cykliczne kontrole w trakcie eksploatacji. Przedsiębiorstwa, których działalność jest nadzorowana przez Urząd Regulacji Energetyki, są zobowiązane do prowadzenia sieci zgodnie z „Instrukcją Eksploatacji”. Instrukcja określa zakres i terminy przeprowadzania okresowych przeglądów i kontroli, między innymi sygnalizacji zawilgocenia i przecieków. Ten ustawowy wymóg wynikający z Prawa energetycznego jest przez przedsiębiorstwa bardzo często bagatelizowany. Niestety, często spotyka się przedsiębiorstwa ciepłownicze, w których nie ma nawet podstawowego przyrządu służącego do oceny zawilgocenia izolacji. W takich zakładach pomiary są wykonywane przez serwis, który przyjeżdża z reguły w celu zlokalizowania miejsca wycieku czynnika grzewczego. I na tym z reguły pomiary się kończą, aż do następnej perforacji rury przewodowej. Doświadczenie pokazuje, że w takich firmach brakuje podstawowych dokumentów pozwalających na precyzyjną lokalizację, a aktualny schemat alar-

mowy to „marzenie ściętej głowy”. Jednostki bardziej rozeznane w tym temacie posiadają z reguły jeden dedykowany do pomiarów rurociągów preizolowanych przyrząd pozwalający na ocenę stopnia zawilgocenia izolacji i stwierdzenie ciągłości pętli alarmowej. W przedsiębiorstwach świadomych o co chodzi brygada, czy w przypadku większych firm brygady, wyposażona jest w przyrząd służący do badania impedancji falowej linii popularnie nazywany reflektometrem. Za pomocą takiego przyrządu, dysponując schematem alarmowym i montażowym badanego wycinka sieci, można w miarę precyzyjnie, zlokalizować miejsce nacieku wody grzewczej, względnie wycieku wody grzewczej. Nie ma też problemu ze wskazaniem lokalizacji przerwania drutu alarmowego.

Rezystancja izolacji

Obecnie w diagnostyce rurociągów preizolowanych wykorzystuje się pomiary trzech wielkości, świadomie pomijam pomiar napięcia galwanicznego, parametru którego oceny dopiero się uczymy. Podstawowy test pozwalający stwierdzić, czy występuje zawilgocenie izolacji to

pomiar rezystancji izolacji. Polega on na przyłożeniu napięcia pomiędzy drutem alarmowym, a stalową rurą przewodową. W ten sposób badana jest zdolność izolacji – pianki poliuretanowej, do przewodzenia prądu elektrycznego. Dla izolacji suchej oporność jest b. duża często wykraczająca poza zakres pomiarowy. W podstawowym przyrządzie dedykowanym dla rurociągów preizolowanych, z napięciem probierczym 24 V, w przypadku b. wysokich wartości wyświetla się komunikat >200 MΩ. W miarę postępującego zawilgocenia pianki wartości oporności są coraz mniejsze i przy b. dużym zawilgoceniu przyrząd może wskazać 0,1 kΩ, względnie przy zwarciu 0,0 kΩ. Bardzo duży wpływ na wskazania przyrządu ma jakość wody, jej zdolność do przewodzenia prądu elektrycznego, ale to już odrębne zagadnienie. Pamiętajć jedynie należy o dwóch rzeczach:

1. Umiejscowienie wilgoci

W wyniku pomiaru rezystancji izolacji możemy ocenić jedynie stan izolacji pomiędzy drutem alarmowym, a rurą przewodową. To oznacza, że mokra, nawet bardzo zawilgocona, pianka usytuowana z daleka

od tego drutu nie spowoduje złych wskazań. Podobnie miernik nie zareaguje na zawilgoconą izolację znajdującą się ponad drutem alarmowym. Z taką formą wilgoci wiąże się dość często spotykane zjawisko polegające na przemiennym sygnalizowaniu awarii przez stacjonarne przyrządy pomiarowe. Polega to na tym, że woda wypełnia komórki pianki wokół rury przewodowej i przyrząd świeci na czerwono. Tak dzieje się z reguły w okresie poza sezonem grzewczym, gdy parametry wody sieciowej są obniżone, względnie ogrzewanie jest w ogóle wyłączone. Z nastaniem chłódów parametry wzrastają do 90 – 100 lub więcej °C i wtedy następuje migracja wilgoci w kierunku rury płaszczowej, następuje przemieszczenie wody do komórek znajdujących się powyżej drutu alarmowego, i przyrząd zaczyna świecić na zielono. Jest to nieco uproszczone spojrzenie na sprawę i należy pamiętać, że dużą rolę odgrywa tu próg czułości przyrządu, czyli wartość rezystancji izolacji, przy której sygnalizowany będzie stan alarmowy.

Spotykane przypadki zupełnie przemoczonej pianki, np. tak jak na fot. 1, występują zasadniczo w dwóch przypadkach. W sytuacji długotrwałej nieszczelności mufy, gdy woda jest „pompowana” z gruntu do złącza przez wiele lat i drugi przypadek to nieszczelność rury przewodowej, która może być spowodowana nieumiejętnością spawacza, wadą materiałową w rurze stalowej, względnie perforacją korozyjną. Objętość zawilgoconej pianki, oprócz wielkości feleznego otworu, zależy od typu zastosowanych muf i jakości wykonanych rurociągów. I obowiązują tu niestety zasada „im lepiej, tym gorzej”. Jeżeli zastosowano mufy elektrogrzewane prawidłowo wykonane, dobrze wtopione, a dostarczone rury były koronowane i pianka jest dobrze związana z wewnętrzną powierzchnią płaszczka to, przy odpowiednim napływie wody przez nieszczelność, mamy gwarancję, że pianka będzie przemoczona na wskroś na długości kilku, kilkunastu czy kilkudziesięciu metrów. Po



Fot. 1.

pewnym czasie izolacja ulega hydrolizacji i na jej miejscu pojawia się pustka. Mufy nasuwkowe, termokurczliwe czy nawet sieciowane rozszczelniają się na mastyku wskutek działania wysokiej temperatury wody i upuszczają ją w pobliżu nieszczelnego miejsca.

2. Liczba miejsc zawilgoconych

W trakcie pomiarów zawsze należy brać pod uwagę długość pętli pomiarowej. W obecnie budowanych sieciach realizowane są z reguły zamknięte układy alarmowe, czyli takie w których w punkcie pomiarowym znajduje się początek i koniec tego samego drutu alarmowego. Inaczej należy podchodzić do pomiarów krótkiego przyłącza o długości kilku, kilkunastu metrów, a inaczej do badania sieci rozgałęznej, gdy pomiar obejmuje np. 2,5 km drutu alarmowego. W pierwszym przypadku prawdopodobieństwo zawilgoconia wielokrotnego jest mało prawdopodobne, w drugim – bardzo duże. Rzecz jasna wiele zależy od tego jak często są wykonywane pomiary, jakie były wyniki poprzednich testów, jaki czas od tego momentu upłynął. Pamiętać należy, że w przypadku kilku zawilgoceń, wynik pomiaru rezystancji izolacji na całej pętli, zawsze będzie niższy od stopnia najgorszego zawilgoconia. Teoretycznie wynik uzyskany dla całej pętli to rezultat równania na rezystancję zastępczą dla oporników łączonych równolegle. W rurociągach preizolowanych, gdzie każda wilgoć jest swoistym rezystorem, ta reguła także obowiązuje, przy czym nie zawsze wyniki ściśle się zgadzają. Założmy, że sporadycznie sprawdzana sieć, od ostatnich pomiarów minęło kilka lat, zamokła w trzech miejscach. Różnie to bywa, ale w jednym doparka uszkodziła płaszcz, w drugim drogowcy wbili w płaszcz pręt znacznikowy, a w innym rozszczelniła się źle wykonana mufa. W poszczególnych miejscach wilgoć wywołała zmianę własności pianki poliuretanowej i wartości rezystancji izolacji dla poszczególnych miejsc wynosiły odpowiednio: 28 kΩ, 38 kΩ i 25 kΩ. Serwisant wykonujący pomiary całej pętli otrzyma na swoim przyrządzie wynik 9,8 kΩ, co jest już, według ogólnie przyjętych kryteriów, wynikiem alarmowym. Bardzo wyraźnie należy podkreślić, że 10 kΩ przyjmowane w środowisku ciepłowników jako wartość obowiągująca do naprawy jest wielkością umowną i w gruncie rzeczy odbiega od rzeczywistości. W praktyce trafiają się przypadki, że zawilgoconia o rezystancji kilku kiloomów są trudne do znalezienia, a kilkuset kiloomowe są widoczne na wykresie

reflektometrycznym jak na dłoni. W ostatnich latach firmy producenckie podniosły próg alarmu na 20 kΩ/km drutu. Świadomie prowadzę te rozważania, nie bazując na wskaźnikach odnoszących się do długości drutu alarmowego, bo skomplikowałyby to tok rozumowania.

Teoretyzując można przyjąć, że pętla alarmowa dla pomiaru rezystancji izolacji stanowi układ nieskończonej liczby oporników połączonych równolegle. W miejscach, w których pianka PUR jest sucha i jednorodna, a więc na dominującej części rurociągu, mamy więc do czynienia z dielektrykiem, na wynik pomiaru mają wpływ tylko te słabsze, zawilgocone miejsca. Woda wypełniająca komórki pianki z różnych względów przemieszcza się względem drutu alarmowego, to z kolei wpływa na wynik pomiaru. Ostateczna wielkość odczytywana na przyrządzie jest więc wypadkową z wszystkich nie będących dielektrykami miejsc na rurociągu.

Rezystancja izolacji rurociągu preizolowanego nie jest wartością stałą. Z tego względu sporadyczny, nawet kwartalny, pomiar przyrządem przenośnym wynikający z harmonogramu funkcjonującej „Instrukcji Eksploatacji” nie oddaje w pełni sytuacji, nie obrazuje wszystkiego. Pewnym rozwiązaniem jest stosowanie urządzeń stacjonarnych, sygnalizatorów nazywanych także detektorami, które zamontowane w punkcie pomiarowym, w sposób cykliczny, z reguły co kilka godzin, dokonują pomiaru podstawowych wielkości. Jeżeli mierzona wielkość, rezystancja izolacji lub rezystancja pętli, przekroczy wartość graniczną, wtedy jest to sygnalizowane czerwoną lampką. Od kilku lat coraz powszechniej stosowane są urządzenia do nadzoru zdalnego, sprzedawane z oprogramowaniem, umożliwiające obserwację pomiarów na bieżąco z wykorzystaniem komputera czy telefonu. Największą, w moim odczuciu, zaletą tych urządzeń jest możliwość prezentowania wyników w postaci graficznej. Aby to zobrazować przyjrzyjmy się trzem przypadkom.

Przypadek 1

Rys. 1 przedstawia przebieg rezystancji izolacji (Riz) od momentu oddania do użytku do bieżącego czasu. Rurociągi wyprowadzone z komory ciepłowniczej, położone na osiedlu mieszkaniowym, zasilające trzy budynki, były układane z zastosowaniem muf termokurczliwych sieciowanych radiacyjnie. Kontrola systemu alarmowego prowadzona przez urządzenie nadzoru zdalnego z 1. godzinnym interwałem pomiarowym. W okresie prawie dwóch lat większość czasu na obydwu

rurociągach odnotowano $R_{iz} > 2 \text{ G}\Omega$. Z nieznanых powodów w miesiącach letnich 2019 r. oporność obniżyła się nieznacznie zachowując w dalszym ciągu b. wysoki poziom. Przebieg wykresów dla rurociągu zasilającego i powrotnego jest analogiczny.

Przypadek 2

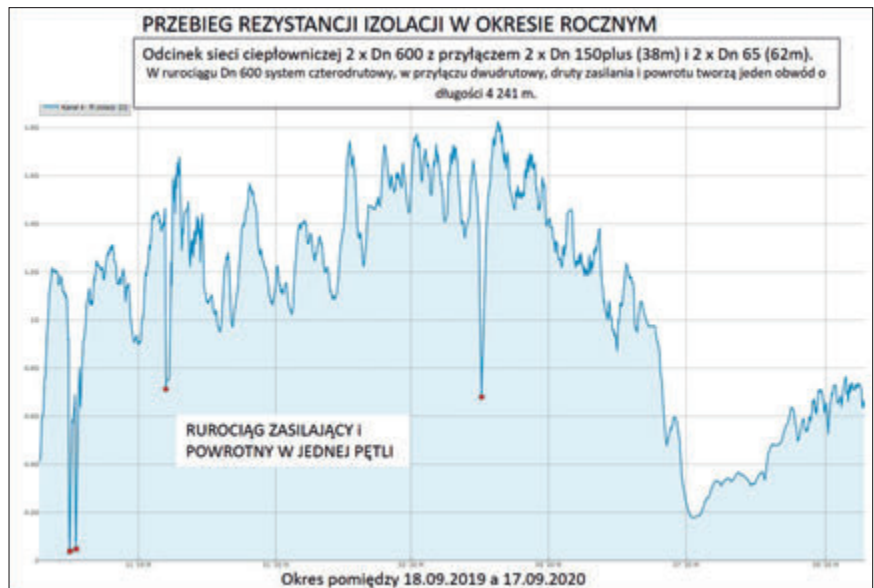
Na rys. 2 przedstawiono przebieg rezystancji izolacji pętli alarmowej o długości 4 241 m obejmującej zarówno rurociąg zasilający, jak i powrotny (druty alarmowe obydwu rurociągów połączone w jedną pętlę). Rurociągi magistralne były wyposażone w cztery druty alarmowe, przyłtęcze miało system dwudrutowy. Wykres charakteryzuje się dużą zmiennością, jednak przez cały roczny okres R_{iz} była b. wysoka. Spadki zaznaczone czerwonymi punktami były związane z działaniami serwisowymi. Szukając przyczyn takiej zmienności, można rozważyć wpływ przebiegających bardzo wielu linii kablowych w pobliżu rurociągów, ale nie można wykluczyć też innych czynników.

Przypadek 3

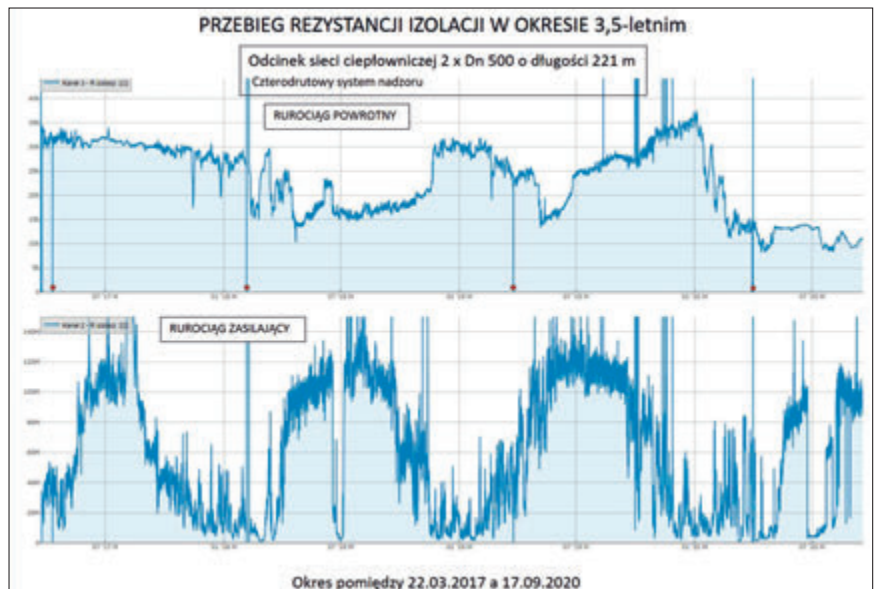
To przypadek, który rodzi zmartwienie. Ta część sieci 2 x DN 500 jest prowadzona w znacznej części pod dwupasmową jezdnią z rozjazdami i ekranami dźwiękochłonnymi, częściowo na długości ok. 60 m w rurach osłonowych. Miejscami zagłębienie rurociągów wynosi 7 m. Nadzór ciągły jest prowadzony od wiosny 2017 r. Rys. 3 przedstawia przebieg rezystancji izolacji w obydwu rurociągach. Rurociąg zasilający (wykres dolny wykazuje b. dużą zmienność, R_{iz} waha się od 2 – 3 M Ω w okresach spadków do 100 – 120 M Ω w okresach wzrostów, tworzy swojego rodzaju sinusoidę. Przy czym maksima przypadają na okres letni, a minima na zimowy. Inaczej wygląda sytuacja w rurociągu powrotnym. W tym przypadku nie ma takich dużych skoków, minima to jednak tylko ok. 10 k Ω , a maksima 30 – 35 k Ω . Nie widać jakiegó wyrażnej okresowości zmian, przy czym niepokojące mogą wydać się bardzo niskie wartości rezystancji izolacji. Należy sobie zdawać sprawę, że naprawa takiego rurociągu to, oprócz utrudnień komunikacyjnych, z całą pewnością koszt kilkuset tysięcy złotych. Jeśli miałbym decydować, który rurociąg należałoby naprawiać w pierwszym rzędzie, to wskazałbym zasilający, czyli ten który ma wyższe rezystancje izolacji. W mojej ocenie pianka w miejscu nie szczelności tego rurociągu jest zalewana okresowo wodą gruntową, natomiast w przypadku rurociągu powrotnego mamy



Rys. 1.



Rys. 2.



Rys. 3.

do czynienia z wilgocią zamkniętą, która w moim przekonaniu stanowi mniejsze zagrożenie. To temat sam w sobie i może będzie okazja kiedyś do tego wrócić.

Rezystancja pętli

Pomiar rezystancji pętli alarmowej jest wykonywany przez przyrząd dedykowany jednocześnie z pomiarem rezystancji izolacji. Jednak można go wykonać oddzielnie prostym multimetrem. Ten pomiar wykonuje się jedynie dla zamkniętych układów alarmowych. W układach otwartych takie sprawdzenie wymaga wykonania przeskoku, połączenia analogicznych drutów alarmowych, biały do białego, czerwony do czerwonego, na końcu obwodu, gdzie z reguły montowane są końcówki zerujące. Rezystancja miedzianego drutu alarmowego wynosi ok. $0,012 \Omega/m$, jednak w praktyce przyjmuje się, że każde 100 m obwodu powinno mieć opór w granicach $1,2 - 1,5 \Omega$, chociaż spotyka się pętle, które wykazują wartość mniejszą niż $0,012 \Omega/m$, przy czym należy to złożyć na karb dokładności przyrządu niż rzeczywistych właściwości drutu. Ten mankament niczemu nie szkodzi. Co innego gdy przekracza się górną wartość tego parametru. Jeżeli jest to przy odbiorze nowej sieć, to może to świadczyć o niestarannej pracy montażysty systemu alarmowego, braku odpowiednich narzędzi do zaciskania tulejek złącznych lub niewłaściwym łączeniu w węzłach ciepłych. Jeżeli rezystancja przekroczy znacznie wartość $0,015 \Omega/m$, to oznacza przerwanie obwodu pętli alarmowej. Przerwa może wystąpić wewnątrz pianki poliuretanowej, w części podziemnej rurociągu, względnie w którymś z pomieszczeń, do których sieć jest wprowadzana. Ciekawie wyglądają pomiary przerwy w tym pierwszy wypadku. Drut miedziany jest związany z pianką poliuretanową i przemieszcza się razem z nią i rurą stalową w zależności od temperatury w rurociągu. Tutaj może także dochodzić do podobnej sytuacji, jak w przypadku sygnalizowania spadku rezystancji izolacji. Z tą jednak różnicą, że lampka z pomiaru pętli świeci na zielono, gdy rurociąg jest chłodny, wtedy końcówki przerwanego drutu schodzą się, a wraz ze wzrostem temperatury następuje rozwarcie końcówek, wzrost rezystancji i lampka świeci na czerwono.

Jedną praktyczną uwagę, szczególnie dla osób nie zajmujących się pomiarami na co dzień. Podstawowy przyrząd dedykowany do pomiarów sieci preizolowanych LX 9024 ma górną granicę pomiarową rezystancji pętli wynoszącą 68Ω .

Jeżeli rezystancja pętli jest większa, to pojawia się komunikat „Przerwana Pętla”. W praktyce oznacza to, że przy pomiarach rozległych sieci, gdy długość rurociągu objętego pomiarem jest większa niż 2,8 km otrzymamy mylne komunikaty o przerwie. Ten przypadek daje się szczególnie zauważyć na długich tranzytach większych rurociągów z czterema drutami alarmowymi, wtedy przy pomiarze odcinka rurociągu 1300 – 1400 m, a nawet krótszego pojawia się informacja o przerwie. W takich przypadkach, przy długich pętlach alarmowych, które są czasami budowane, wystarczy zastosować dowolny przyrząd do pomiaru rezystancji obwodów np. prosty multimetr.

Serwisanci używają przyrządów, które oprócz diagnostyki służą do lokalizacji wad omawianych powyżej, czyli zawilgoceń, zwarcí i przerw. Ten przyrząd to reflektometr, którym wykonujemy pomiar impedancji falowej linii długiej.

Impedancja falowa linii długiej

Reflektometry zostały wynalezione na potrzeby energetyki i telekomunikacji z zadaniem wynajdywania uszkodzeń linii kablowych. Branża ciepłownicza adaptowała te przyrządy na swoje potrzeby do wyszukiwania uszkodzeń rurociągów preizolowanych. O ile w energetyce linię kablową stanowią zaizolowane żyły prowadzone równolegle w osłonie kabla, o tyle w rurociągach preizolowanych tę linię stanowi stalowa rura przewodowa i miedziany drut alarmowy. Już na pierwszy rzut oka widać, że są to dwa różne światy. W kablu reżim technologiczny zapewnia stałość parametrów wymiarowych i izolacyjnych, w przypadku rurociągów preizolowanych niestety tak nie jest. Jednak przed dalszymi rozważaniami spójrzmy, co na temat impedancji pisał producent popularnego reflektometru Riser Bond: „Impedancja to oporność występująca tylko w przypadku prądu zmiennego. W przypadku blisko siebie prowadzonych przewodów wytwarza się impedancja kablowa wynikająca z wzajemnego położenia przewodów i rodzaju zastosowanego izolatora. Jeśli przewody zostały wytworzone z dokładnym odstępem, a własności izolatora są ściśle stałe, wtedy także impedancja kabla jest stała. Impedancja kabla zmieni się, jeśli zajdą zmiany w jego izolacji, względnie, jeśli przewody w kablu wykazują niestały odstęp. Jakakolwiek zmiana impedancji kabla prowadzi do tego, że część energii impulsu odbija się, jest przyjmowana i pokazywana przez reflektometr. Im większa jest

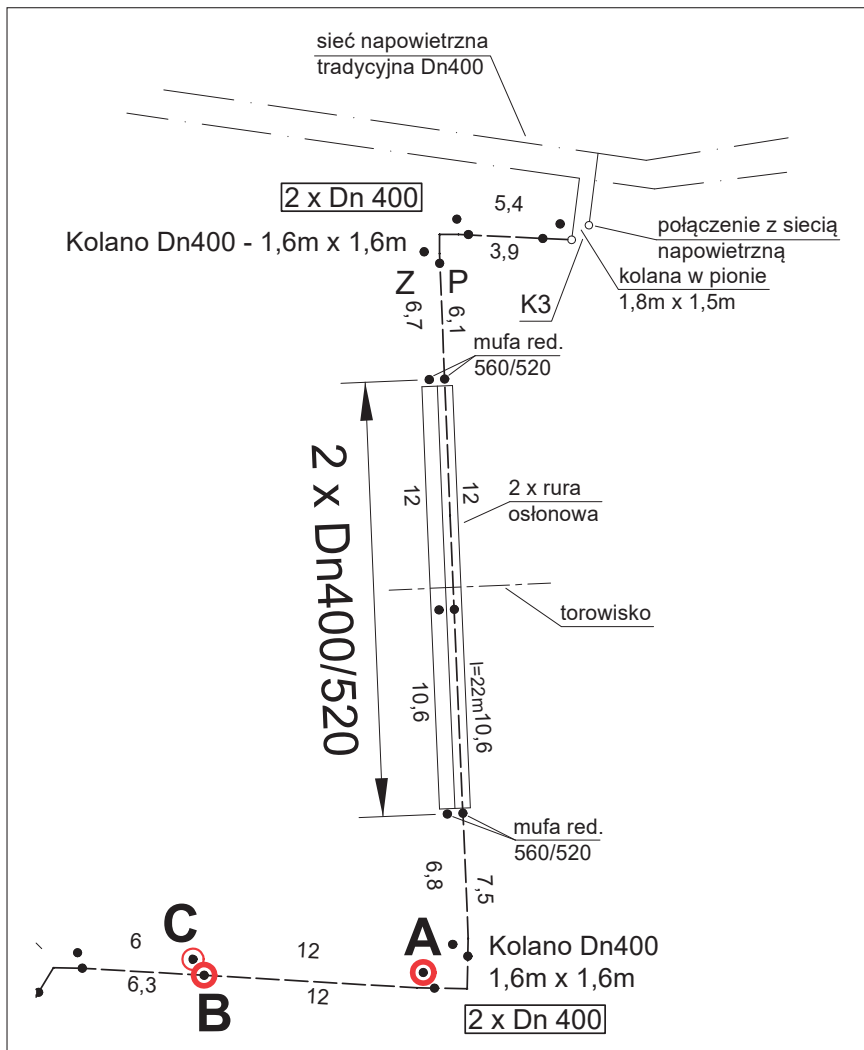
zmiana impedancji, tym większa jest amplituda odbicia.”

Tyle producent, jak widać pojawia się tu termin impedancja kablowa, wśród ciepłowników stosuje się raczej termin impedancja falowa. Ale nie w nazwie leży istota sprawy. Rzecz polega na tym, że odpowiedni układ elektroniczny w reflektometrze generuje sygnał elektromagnetyczny o stosunkowo niskim napięciu i częstotliwościach radiowych z przedziału $5 \cdot 10^5 - 5,5 \cdot 10^8$ Hz i wysyła go w układ przewodników rura stalowa - drut alarmowy. Jeżeli odległość drutu alarmowego od rury stalowej jest stała, i własności izolacji są niezmiennie, to impedancja jest stała i obrazem impedancji na ekranie reflektometru jest linia pozioma. Każda zmiana - odstępu drutu od rury, względnie struktury pianki, także zamknięcia izolacji powoduje odchylenie linii od poziomu w górę lub w dół. O ile przebiegi wykresów reflektometrycznych w kablach są w miarę czytelne, o tyle w przypadku rurociągów preizolowanych zostają zakłócone z najprzeróżniejszych powodów. Poczynając od niepoprawnego ułożenia drutów alarmowych w poszczególnych elementach prefabrykowanych w fabryce, szczególnie w kolanaach, zaworach, kompensatorach i zaworach, a kończąc na niedbalstwie monterów. Z tego powodu przebiegi wykresów w sieciach preizolowanych są mniej lub bardziej pofalowane z ugięciami w dół lub w górę. Zadaniem diagnosty jest wytypowanie właściwego, odpowiadającego rzeczywistej wadzie, odchylenia wykresu. O ile z reguły nie ma z tym problemu w przypadku przywarcia drutu alarmowego do rury stalowej, względnie przerwy tego drutu, to znalezienie miejsca zawilgocenia sprawia czasami problemy. Z tego względu zaleca się zbieranie i archiwizowanie wykresów reflektometrycznych z poszczególnych pętli alarmowych po wybudowaniu sieci i użycie ich jako przebiegów wzorcowych podczas kolejnych badań.

Niestety większość sieci preizolowanych użytkowanych w Polsce nie posiada wykresów wzorcowych i ewentualna lokalizacja awarii jest utrudniona.

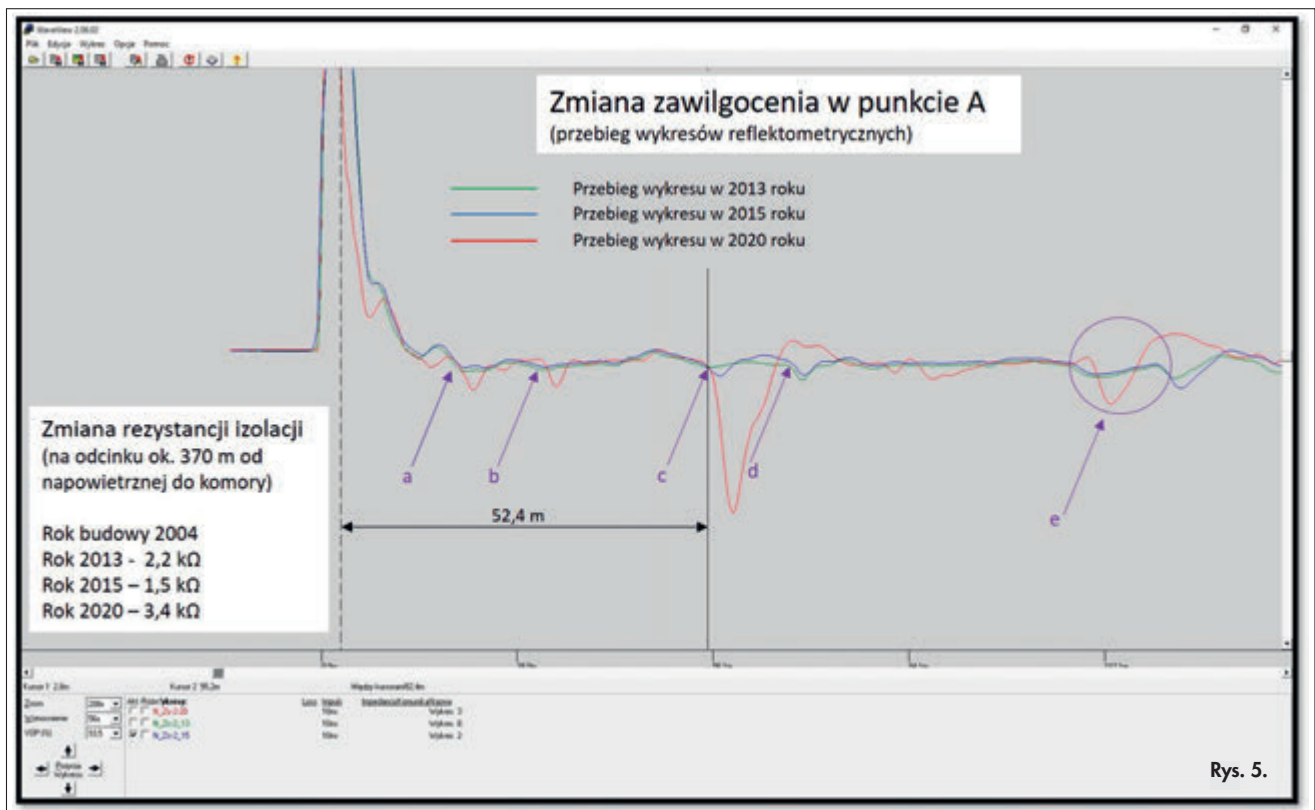
Praktyka diagnostyczna pokazuje, że przy wykrywaniu i lokalizacji zawilgocenia należy stosować zarówno pomiar rezystancji izolacji, jak i impedancji falowej. Dopiero takie postępowanie daje pewność działania.

Z reguły wskazania przyrządów pomiarowych korespondują ze sobą. To oznacza, że w przypadku zawilgocenia, wraz ze spadkiem rezystancji izolacji, idzie zwiększenie ugięcia wykresu reflektometrycznego. Zawsze jednak należy

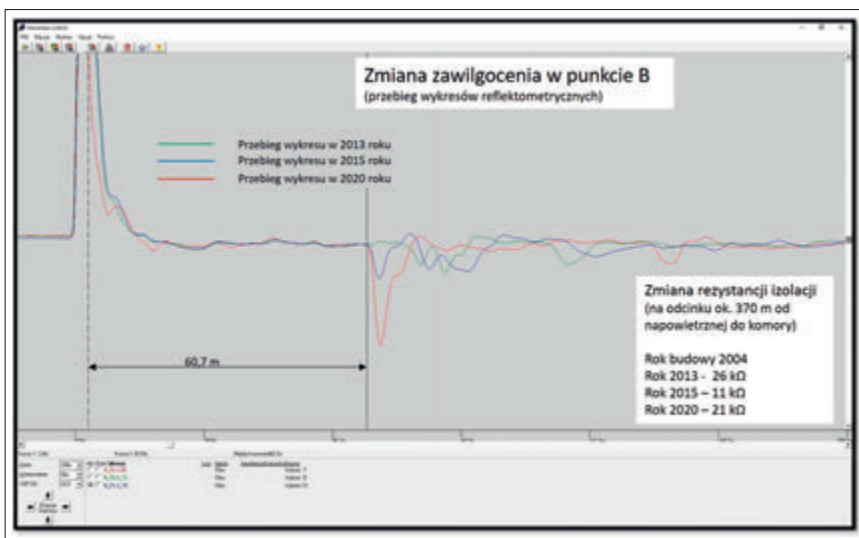


Rys. 4.

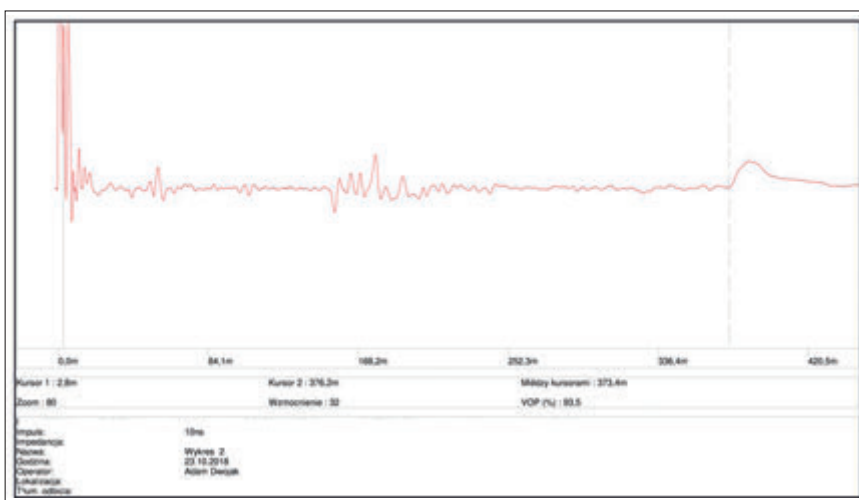
sobie zdawać sprawę z tego, co jest mierzone. Odczytywana na przyrządzie rezystancja izolacji jest jakąś przypadkową wszystkich zawilgoceń znajdujących się na odcinku pomiarowym. Może się zdarzyć, że zawilgoceń w jednym miejscu wzrasta, a w innym maleje, w jeszcze innym zmniejsza się jeszcze bardziej i w rezultacie Riz wzrasta. Prawdopodobnie z taką sytuacją mamy do czynienia w przypadku odcinka sieci o długości ok. 370 m, którego fragment widoczny jest na schemacie rys. 4. Sieć wybudowano w 2004 r., sporadycznie pomiary są prowadzone od 2013 r. Przyjrzyjmy się rurociągowi zasilającemu, na którym leży pkt. A, czyli mufa za kolaniem, patrząc od źródła ciepła. W roku 2013 badany odcinek miał $R_{iz} = 2,2 \text{ k}\Omega$. Jak widać z tabelki zamieszczonej na rysunku w 2015 r. dla całego odcinka odnotowano tylko $1,5 \text{ k}\Omega$, czyli dość znaczny spadek. Jednakże w punkcie A, jak widać z przebiegu wykresu reflektometrycznego, było tylko nieznaczne ugięcie. Już wtedy było widać, że coś w tym miejscu zaczyna się dziać, bo przy poprzednim pomiarze w 2013 r. wykres reflektometryczny – linia zielona nie wykazywał żadnych odchyień. W ostatnich pięciu latach musiało wlać się do mufy dużo wody, bo wykres – linia czerwona pkt.c odchylił się bardzo w dół. Praktyka pokazuje, że taki obraz ugięcia wykresu oznacza zawilgoceń izolacji na długości kilkudziesięciu centymetrów, oprócz pianki w mufie, wilgoć penetruje



Rys. 5.



Rys. 6.



Rys. 7.

warstwy czołowe przyległych do złącza elementów preizolowanych. Ten stan jest jeszcze do naprawienia za pomocą mufy elektroizolowanej. Raczej pewne jest, że pozostawiając ten stan rzeczy, za następnych kilka lat zagłębienie na wykresie znacznie się poszerzy, a w ramach naprawy do wymiany będzie kolano i odcinek rury. Przyglądając się wykresowi, niepokój mogą budzić punkty wykresu oznaczone przez a i b. To ewidentnie zaczątki zawilgocenia. Przy czym punkt b to mufa wewnątrz rury osłonowej. Omawiając dalszy przebieg wykresu stwierdzić należy, że w punkcie d, który na rurociągu zasilającym odpowiada mufie z oznaczeniem C prawdopodobnie dużo się nie zmieniło. Jednak ocenę utrudnia duże ugięcie i rozprzestrzenienie wykresu w pkt. c. Tutaj jest rzeczą zrozumiałą, że wykonując naprawę w pkt. B na rurociągu powrotnym, o którym za chwilę, należy odkryć i przebadать także tę mufę C.

I ostatnia sprawa, obszar zaznaczony okręgiem e, to moim zdaniem żadna wilgoć (mam nadzieję, że koledzy z MPEC zgodzą się ze mną), tylko obraz/odbicie ugięcia c, zresztą za następne 50 metrów występuje podobne tylko mniejsze. Analiza wykresów to jednak osobna sprawa. Sprawa nie zawsze łatwa, bo przebieg wykresów zbieranych z obecnie budowanych rurociągów preizolowanych jest godny pożałowania. Czasami są to „esy-floresy” zamiast linii zbliżonej do prostej.

Podsumowanie

Z całą mocą należy podkreślić znaczące obniżenie standardów wykresów reflektometrycznych generowanych przez systemy alarmowe obecnie budowanych rurociągów preizolowanych. Jeżeli porówna się wykresy sieci budowanych na początku lat 90 ubiegłego wieku z obecnymi, to jest to jak niebo i ziemia. Jeżeli w przypadku

prawidłowego wykresu, będącego linią prostą, każde większe odchylenie w dół oznacza zawilgocenie, to obecnie różnych pików spotkamy całe mnóstwo, a wyłowienie tego który pochodzi od zawilgocenia jest sporym wyzwaniem. W rezultacie mamy sytuację, że rurociąg super suchy charakteryzuje się wykresem, jakby był zawilgocony. Na rys. 7 widoczny jest wykres reflektometryczny zebrany jako wzorcowy na rurociągu zasilającym z przykładu opisanego jako Przypadek 1, w którym jak to zostało opisane, przyrząd kontroli ciąglej odnotowywał przez cały okres eksploatacji, od października 2018 r., rezystancję izolacji $> 2 \text{ G}\Omega$. Czyli izolacja super sucha, a z wykresu wynika jakby tam było co najmniej kilka zawilgoczeń. Myślę, że to jest największa bolączka diagnostów badających sieci preizolowane bez wykresów wzorcowych.

Z tych powodów wydaje się, że dla wszystkich zajmujących się lokalizacją miejsc awaryjnych najważniejsze są dwa zalecenia:

1. Lokalizacja powinna być wykonywana zawsze z zastosowaniem dwóch pomiarów: rezystancji izolacji i pomiaru reflektometrycznego.
2. Konieczne jest uświadomienie wszystkim budującym sieci preizolowane, niezbędności **żądania** od wykonawcy wykresów reflektometrycznych zebranych po wybudowaniu i uruchomieniu tych sieci.

A zarządzającym czy to dużymi systemami, czy pojedynczymi przyłączami preizolowanymi wypada życzyć wyobraźni, bo w myśl słów piosenki: „nic nie może wiecznie trwać”, kiedyś do tematu systemu alarmowego w eksploatowanych rurociągach preizolowanych z pewnością wrócą.

Należy przyjąć, że prawa Murphy'ego naprawdę obowiązują. A dwa z nich które mogą dotyczyć poruszanej tu tematyki brzmią następująco:

1. „Jeżeli wydaje ci się, że wszystko jest w porządku – na pewno coś przeoczyłeś”.
2. „Sprawy pozostawione samym sobie mają tendencję do przemiany ze złych w jeszcze gorsze”.

Rzecz jasna mogą się one sprawdzić niekoniecznie w trakcie kadencji obecnego Prezesa/Dyrektora, za to są gwarantowane.

W artykule wykorzystano materiały autora.