

Piotr Paszyk

Operator Gazociągów Przesyłowych GAZ-SYSTEM S.A.

Gazociągi nietłokowalne – poszukiwanie najlepszej metody inspekcji

W niniejszym artykule przedstawiono rozwiązania umożliwiające dokonanie badań stanu technicznego gazociągów nietłokowalnych. Utrzymywanie części liniowej infrastruktury przesyłowej w należyтым stanie technicznym, zapewniającym odpowiedni poziom bezpieczeństwa, wymaga wykonywania szeregu czynności eksploatacyjnych. W ramach artykułu omówiono zastosowanie:

- metody fal skierowanych,
- metody magnetycznej pamięci metalu,
- metody magnetycznej tomografii,
- robota kroczącego typu ILI (ang. *inline inspection*).

Każda z opisanych metod charakteryzuje się innymi właściwościami, jednak ze względu na możliwości wykorzystania analizowanych rozwiązań najszerze zastosowanie mają metody magnetyczne.

Słowa kluczowe: badanie gazociągów nietłokowalnych, metoda magnetycznej pamięci metalu, metoda skierowanej fali ultradźwiękowej, metoda magnetycznej tomografii, robot kroczący ILI.

Unpiggable gas pipelines – searching for the best method of inspection

This article presents solutions making it possible to study the technical conditions of unpiggable pipelines. Keeping the linear part of transmission infrastructure in proper technical condition, ensuring an appropriate level of safety, require performing a number of exploitation activities. Within the article is discussed the use of:

- wavemaker pipe testing method,
- metal magnetic memory method,
- Magnetic Tomography method,
- robotic IN-Line-Inspection.

Each of these methods has different properties, but because of the possibility of using the analyzed methods, magnetic methods have the widest use.

Key words: unpiggable gas pipeline testing, wavemaker pipe testing method, Metal Magnetic Memory method, Magnetic Tomography method, Robotic IN-Line-Inspection.

Wstęp

Rynek przesyłu gazu stale poszukuje rozwiązań mających na celu kontrolę gazociągów i – poprzez badania stanu technicznego – dalszy wzrost bezpieczeństwa eksploatacji sieci przesyłowej i ciągłości dostaw. Kwestie te odnośnie do nowo budowanych gazociągów reguluje rozporządzenie Ministra Gospodarki [8], jednak w przypadku gazociągów o średnicach mniejszych niż DN 400 przy uwzględnieniu okresu eksploatacji nierzadko dostosowanie do badań za pomocą tłoków pomiarowych jest nieopłacalne. Prace te związane są

z wymianą odcinków gazociągu, łuków segmentowych, z dostosowaniem armatury oraz zabudową śluz nadawczej i odbiorczej na odcinku, który ma podlegać kontroli.

Alternatywę dla powyższego rozwiązania stanowią m.in. metody badań:

- metoda fal skierowanych,
- metoda magnetycznej pamięci metalu (MPM),
- metoda magnetycznej tomografii (MTM),
- wykorzystanie robota kroczącego typu RODIS.

Każda z wyżej przedstawionych metod daje interesujące wyniki, które pozwalają na zwiększenie zasobu informacji na temat eksploatowanego gazociągu, co pozwala na podjęcie dodatkowych działań związanych z dalszą kontrolą, naprawą lub wymianą badanego odcinka. Oczywiście istnieją

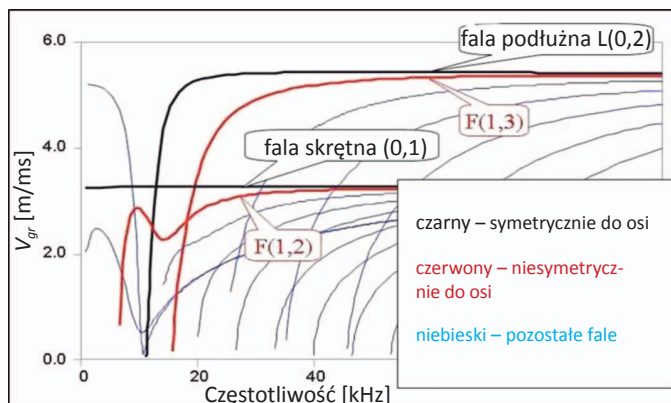
również inne metody wykorzystywane w badaniach stanu technicznego gazociągów, takie jak np. *direct current voltage gradient* (DCVG) – metoda badania gradientów prądu stałego na powierzchni ziemi. Jest ona powszechna i wielokrotnie opisywana w literaturze.

Metoda fal skierowanych

Badania ultradźwiękowe już od wielu lat są wykorzystywane w badaniach nieniszczących do wykrywania wad, tj. pęknięć czy ubytków korozyjnych. Klasyczne techniki badania pozwalają na wykrywanie i ocenę wielkości nawet niewielkich wad, jednak tylko w sposób punktowy.

Metoda fal skierowanych stanowi metodę kontroli ultradźwiękowej, która jest szczególnie przydatna w przypadku obiektów ciągłych. Do badań wykorzystuje się fale skrótno o niskiej częstotliwości. Dzięki właściwości tych fal ich szybkość grupowa nie zależy od częstotliwości (rysunek 1), tzn. nie obserwuje się dyspersji, a niska częstotaż pozwala falam rozprzestrzeniać się na dużą odległość. Fale skrótno były znane już w latach 50. ubiegłego wieku, jednak możliwość zastosowania ultradźwięków o niskiej częstotliwości w celu monitorowania rozszerzonych przedmiotów, takich jak szyny, rury i pręty, pojawiła się dopiero w latach 80. XX w. dzięki rozwojowi technologii komputerowej [2].

Charakterystyczną cechą fal prowadzonych jest rozchodzenie się ich w postaci różnych modów, z różniącymi się prędkościami fazowymi i grupowymi w zależności od grubości/średnicy i częstotliwości fal. Każdemu modowi fali odpowiada też inny rozkład amplitud drgań na grubości [6]. Rysunek 1 przedstawia wykres dyspersyjny dla prędkości grupowych fal prowadzonych.

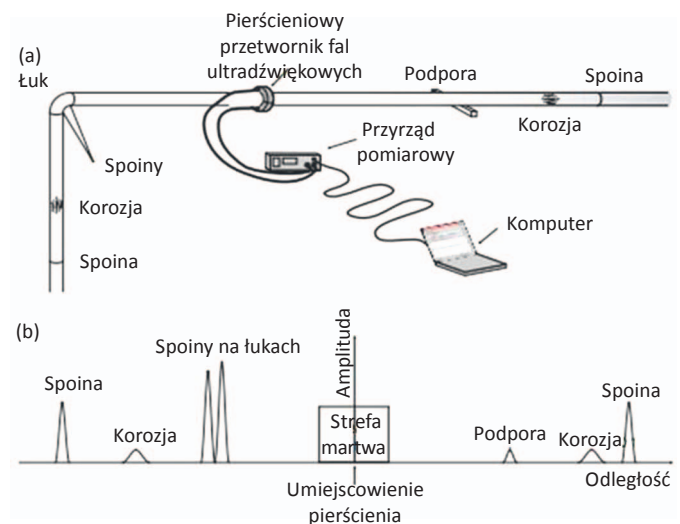


Rys. 1. Zależność prędkości fal od częstotliwości. Mody fal przydatne w pomiarach: L – fale podłużne, T – fale skrętno, F – fale zginania [2]

W praktyce, ze względu na amplitudę fal i możliwości ich wzbudzenia, tylko niektóre z nich mogą być stosowane. Najczęściej wykorzystywanym w badaniach gazociągów modem

fal jest jedyny niedispersyjny mod – fala skrętno rozchodząca się z prędkością około 3,3 km/s [6].

Typowy układ do badań z zastosowaniem metody fal skierowanych przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. a) Typowy układ badawczy, b) przykładowe wyniki badań [2]

Elementy piezoelektryczne pierścienia (rysunek 3) są dociskane do oczyszczonej powierzchni badanej rury. Przetwornik wysyła fale ultradźwiękowe na odległość około 200 m wzdłuż ścianki gazociągu w obu kierunkach i odbiera powracające sygnały. Przetwornik sygnałów stanowi połączenie między pierścieniem wysyłającym i odbierającym sygnał w postaci fal a specjalistycznym oprogramowaniem komputera, które pozwala na analizę wyników badań odcinka gazociągu.



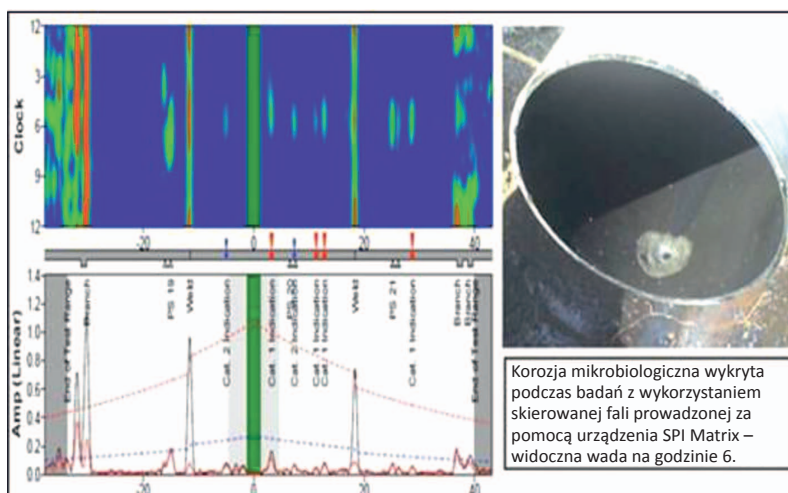
Rys. 3. Montaż aparatury pomiarowej podczas badań dla OGP GAZ-SYSTEM S.A.

Wykorzystanie przedstawionej powyżej metody pozwala na wykrycie następujących defektów [2]:

- korozji wewnętrznej i zewnętrznej,
- wad połączeń spawanych,
- niemetalicznych wtrąceń,
- zwarć z innymi obiektami, które stanowią lokalną zmianę sztywności rury, będąc reflektorem fal prowadzonych [6].

Przykładem wad wykrytych za pomocą metody fal skierowanych jest korozja wewnętrzna gazociągu, przedstawiona na rysunku 4.

Metoda fal skierowanych to bardzo interesujące rozwiązanie. W przypadku badań długich odcinków gazociągu zachodzi konieczność wykonywania dość dużej liczby wykopów (co około 400 m), co skutkuje wzrostem kosztów. Po przeprowadzonych badaniach istnieje potrzeba wykonania dodatkowych odkrywek celem weryfikacji najistotniejszych wskazań. Po wskazaniu lokalizacji, które należy dokładnie zbadać, możliwe jest wykonanie dodatkowych badań. Metoda niewątpliwie ma bardzo



Rys. 4. Wzór korozyjny z przedstawionym zapisem sygnałów [4]

szerokie zastosowanie i szczególnie sprawdza się przy badaniach przekroczeń cieków wodnych, w rurach osłonowych, pod drogami, torami itp. Ponadto metodę tę wykorzystuje się w badaniach gazociągów wykonywanych przy pomocy przewierców sterowanych na długości do około 400 m [4].

Metoda magnetycznej pamięci metalu (MPM)

Metoda ta jest zaliczana do pasywnych metod kontroli nieniszczących. Bazuje na rejestracji i analizie rozkładu własnych magnetycznych pól rozproszonych, powstających w wyrobach i urządzeniach w strefach koncentracji naprężeń. W trakcie realizacji badań przy pomocy metody MPM wykorzystywane jest naturalne namagnesowanie, które pojawia się jako magnetyczna pamięć metalu podczas faktycznych odkształceń, czego następstwem jest zachodzenie zmian strukturalnych w metalowych wyrobach i urządzeniach.

Badania złożone są z dwóch przedstawionych niżej procesów.

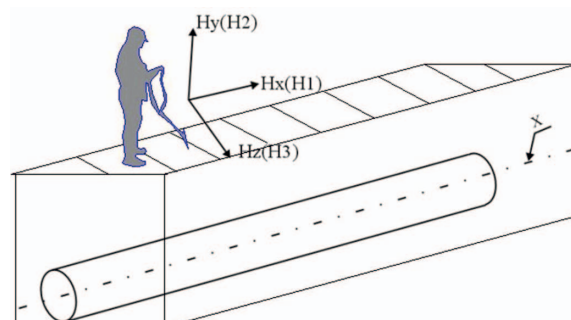
Bezkontaktowa magnetyczna diagnostyka (BMD)

Bezkontaktowa magnetyczna diagnostyka stanowi obchód pieszy gazociągu, podczas którego wykorzystuje się parametry magnetyczne, określone w normie PN-ISO 24497-1:3 [7]. Wynikiem badań BMD jest wytypowanie anomalii, określonych jako strefy koncentracji naprężeń (SKN).

W badaniach BMD rurociągów wykorzystuje się parametry magnetyczne, określone w normie [7]:

- wektory mierzonego pola magnetycznego (H_x , H_y , H_z),
- pochodną wektorów mierzonego pola magnetycznego dH/dx .

Charakter zmiany mierzonego pola H_z (częstotliwość, amplituda) uzależniony jest od deformacji rurociągu, która powstaje pod wpływem pozostałych technologicznych i montażowych naprężeń, obciążeń roboczych i naprężeń wynika-



Rys. 5. Schemat przeprowadzania badań metodą MPM [5]



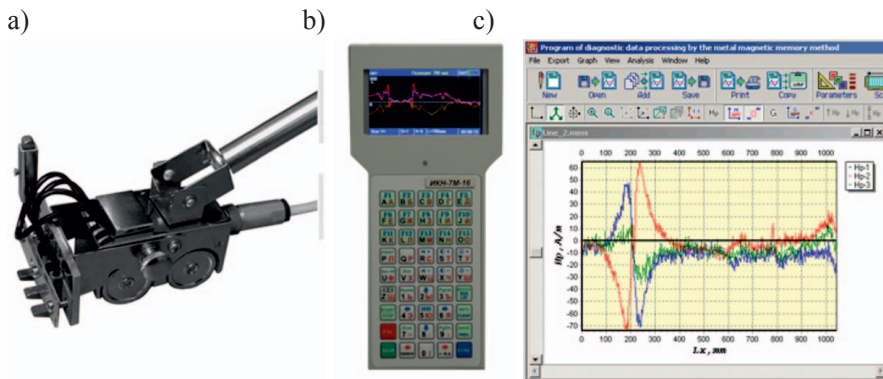
Rys. 6. Wykonywanie pomiarów BMD na gazociągu dla GAZ-SYSTEM S.A.

jących z samokompensacji rurociągu podczas zmian temperatury i przemieszczeń gruntu.

W ramach przeprowadzanej diagnostyki otrzymywane są wyniki badań pogrupowane na trzy rodzaje SKN [5]:

- I rodzaj SKN: liczne koncentracje naprężeń i defekty – zalecana jest odkrywka i dalsze badania,
- II rodzaj SKN: pojedyncze obszary koncentracji naprężeń – zalecany monitoring,
- III rodzaj SKN: obszary wyznaczone do monitorowania w okresie od 60 do 84 miesięcy od daty ostatniego badania, niezagrażające dalszej eksploatacji gazociągu.

Szczegółowe badania wytypowanych SKN przy użyciu metody MPM



Rys. 7. a) Sonda typu 1-8M, b) rejestrator TSC-7M-16, c) oprogramowanie „MMM-System” [3]

W badaniach obwodowych prowadzonych na odkrywce gazociągu wykorzystywane są urządzenia przedstawione na rysunku 7a. Sonda typu 1-8M jest zbudowana z czterech magnetometrów 2D oraz enkodera inkrementacyjnego. Zasada działania przyrządów oparta jest na zapisie impulsów prądu w cewce czujnika magnetyczno-modulacyjnego w czasie jego przemieszczania w magnetycznym polu rozproszonym nad badanym elementem. Do tego celu wykorzystuje się rejestrator TSC-7M-16 (rysunek 7b). Sygnały są przetwarzane poprzez specjalistyczne oprogramowanie do obróbki sygnału i analizy (rysunek 7c).

W programie analizuje się dane pomiarowe pod kątem występowania stref koncentracji naprężeń. W przypadku obszarów charakteryzujących się najwyższym współczynnikiem koncentracji naprężeń w celu ich weryfikacji wykonywane są inne badania nieniszczące.

Podczas przeprowadzonych na sieci przesyłowej GAZ-SYSTEM S.A. badań BMD wytypowano do wykonania odkrywek lokalizacje SKN o najwyższych wskazaniach. Połączenia spawane występujące na odkrytych odcinkach gazociągów były oceniane według instrukcji STO Gazprom 2-2.4-083-2006 [9].

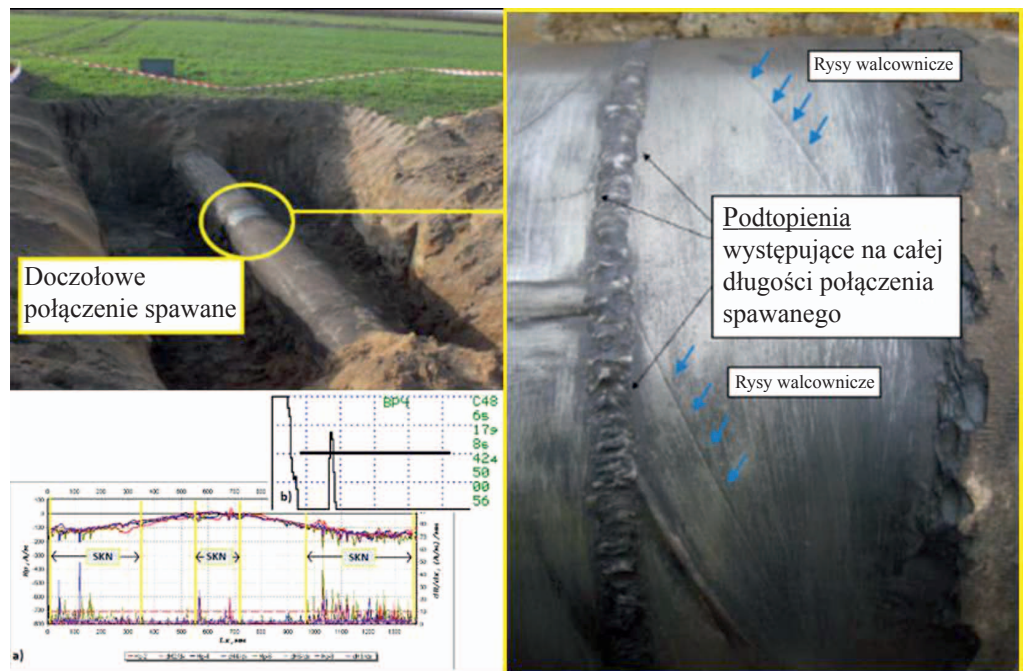
Metoda pozwala na detekcję m.in.:

- miejsc, w których występuje lokalny wzrost naprężeń (m.in. osuwiska, grunty niestabilne),
- wad w doczołowych połączeniach spawanych,
 - ubytków i deformacji powłok izolacyjnych,
 - wżerów korozyjnych.

Podczas badań możliwe jest również lokalizowanie SKN na innych obiektach. Przykładem wykrytych anomalii są wady rur osłonowych, skrzyżowania z innymi obiektami, elementy metalowe (np. pręt) itp. Przykładowa wada ujawniona podczas badań została przedstawiona na rysunku 8.

Wykorzystanie metody magnetycznej pamięci metalu, a w szczególności bezkontaktowej magnetycznej diagnostyki, jest bardzo interesującym rozwiązaniem badania gazociągów.

Wykonane badania potwierdzają skuteczność wykrywania SKN, a co za tym idzie – wad na gazociągach. Głównym obszarem badań jest zasób gazociągów nietłokowalnych.



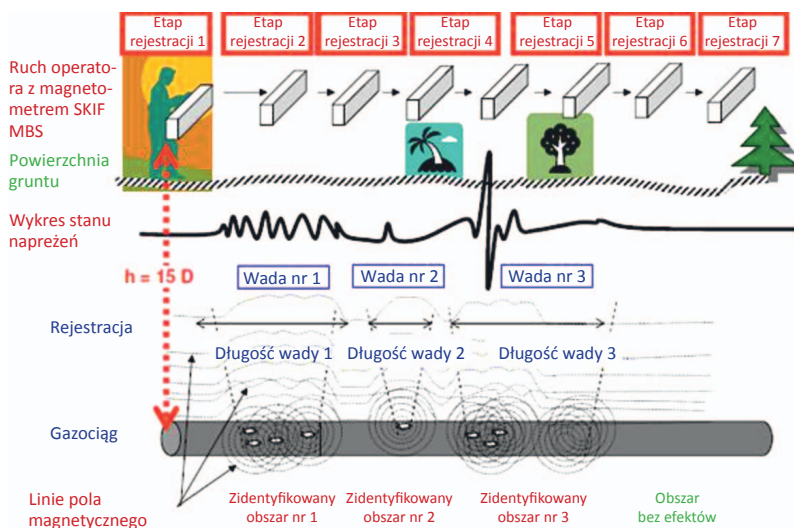
Rys. 8. Odkryty gazociąg w wytypowanej SKN – podtopienia na połączeniu spawanym oraz pozostałości po procesie walcowniczym [5]

Metoda magnetycznej tomografii (MTM)

Metoda magnetycznej tomografii, opracowana przez firmę Transkor-K, jest analogiczna w przebiegu do metody MPM, opracowanej przez firmę Energodiagnostika. Charakteryzuje się również dwuetapowym przebiegiem procesu kontroli. Metoda MTM oparta jest na odwróconym efekcie magnetostrykcyjnym (efekt Villariego) – zmiany podatności magnetycznej materiału po poddaniu go naprężeniom mechanicznym. Metoda ta wykorzystuje „naturalne” namagnesowanie rur stalowych polem magnetycznym Ziemi – rysunek 9.

MTM wykrywa anomalie magnetyczne – obszary występowania naprężeń spowodowanych nadmiernym obciążeniem gazociągu, np. osuwaniem się gruntu, które mogą powodować zmiany strukturalne materiału (wgniecenia, pęknięcia, rozwarstwienia, wtrącenia, ubytki itp.). Zastosowanie metody MTM nie wymaga żadnych większych prac wstępnych, takich jak czyszczenie, odgazowanie gazociągu i wprowadzenie do wnętrza urządzeń badawczych. Wyjątek stanowi dokładne

wyznaczenie trasy gazociągu, które jest niezbędne do wykonania dokładnych badań w I etapie prac. Pomiary dokonywane są podczas eksploatacji badanego odcinka, a ich realizacja nie wymaga dodatkowego namagnesowania gazociągu.



Rys. 9. Przebieg badań metodą MTM [7]

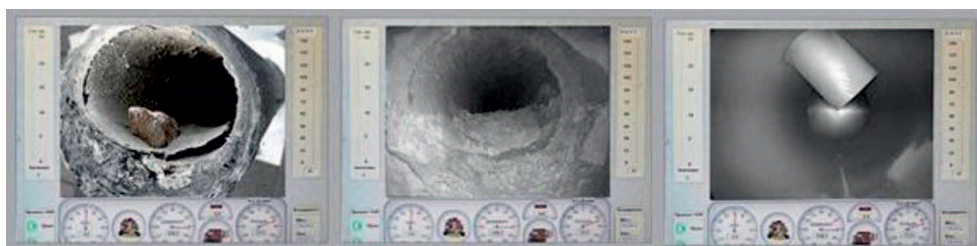
Robot kroczący w zastosowaniu do badań gazociągów

Stosunkowo wąską grupę rozwiązań pozwalających na badanie gazociągów nietłokowalnych stanowią roboty, które podobnie jak tłoki inteligentne pokonują badany odcinek wewnątrz gazociągu. Możliwe jest zastosowanie tej metody w odcinkach o zmiennej średnicy, przy niewielkim przepływie, w odcinkach pionowych, przewężonych łukach oraz w przypadku niektórych typów zaworów. Analizowany robot kroczący RODIS (rysunek 10) został wyposażony w szereg czujników zapewniających możliwość badań ultradźwiękowych EMAT UT całej powierzchni rury, w kamerę o wysokiej rozdzielczości, wykorzystywaną do badań wizualnych, a także w skaner laserowy wykrywający spoiny i wady wewnętrzne. Robot przekazuje dane w czasie rzeczywistym (rysunek 11), dzięki czemu osoba wykonująca badanie może na bieżąco reagować w sytuacji bezpośredniego zagrożenia wynikającego z zaobserwowanego stanu technicznego badanego odcinka.



Rys. 10. Robot kroczący RODIS [1]

Zastosowanie przedstawionego powyżej robota krocącego to ciekawa metoda, która wymaga jednak szeregu dodatkowych prac związanych z przystąpieniem do badań i wprowadzeniem robota do wnętrza gazociągu. Jednakże jest to jedyne rozwiązanie pozwalające na badanie od wewnątrz gazociągów nietłokowalnych.



Rys. 11. Widok oprogramowania RODIS System [1]

Podsumowanie

Przedstawione powyżej metody badań gazociągów odniesione przede wszystkim do gazociągów nietłokowalnych stanowią wspólnie alternatywę dla konieczności dostosowania gazociągów do możliwości badania przy pomocy tłoków inteligentnych. Proces dostosowania związany jest ze znacznymi w stosunku do alternatywnych badań nakładami finansowymi. Każda z metod charakteryzuje się nieco innymi zaletami. Metoda fal skierowanych pozwala na badanie odcinków o znacznym zagłębieniu i w miejscach przejść, np. pod drogami, torami kolejowymi itp., w których wykorzystywane są rury osłonowe. Podczas realizacji badań konieczne jest wykonanie odkrywek oraz usunięcie izolacji, co powoduje pewne problemy związane z koniecznością uzyskania zgody wejścia na dany teren, z wypłatą odszkodowań dla właścicieli terenu już na etapie rozpoczęcia badań i z ponowną procedurą w przypadku lokalizacji wady i konieczności dokonania odkrywki w celu jej weryfikacji.

Metody MPM i MTM mają podobną zasadę działania oraz charakter realizowanych badań. Atutem tych metod jest brak konieczności wykonywania przygotowawczych prac ziemnych – wymaga się jedynie określenia z dużą dokładnością przebiegu trasy badanego odcinka gazociągu. Wadą wskazanych

metod jest możliwość pominięcia rozszczelnionego fragmentu gazociągu z uwagi na obniżenie poziomu naprężeń do wartości tła, co spowoduje, że w drodze analizy charakterystyki nie będą wykazywać punktów krytycznych.

Roboty kroczące, jako bezpośrednia odpowiedź na rozwiązania analogiczne do tłoków pomiarowych, w zastosowaniu do badań gazociągów nietłokowalnych są wykorzystywane najrzadziej ze względu na konieczność odgazowania gazociągu i przygotowania odcinka do wprowadzenia robota do wnętrza rury. Zasięg badań ogranicza się jednak do 1 km, co powoduje dodatkowe prace ziemne i włączeniowe. W związku z tym robot stanowi ciekawe rozwiązanie w przypadku krótkich i odgazowanych odcinków gazociągów.

Wybór najkorzystniejszej metody jest niezwykle trudny, gdyż każda ma nieco inne walory, jednak w przypadku próby dokonania kompleksowego badania długiego odcinka gazociągu najlepszym rozwiązaniem jest wykorzystanie metody magnetycznej pamięci metalu lub metody tomografii komputerowej, które bez większych prac przygotowawczych pozwolą na wskazanie lokalizacji, gdzie konieczne są dalsze badania. W odkrywce gazociągu możliwe jest natomiast zastosowanie szeregu znanych metod badań nieniszczących.

Prosimy cytować jako: Nafta-Gaz 2016, nr 7, s. 545–550, DOI: 10.18668/NG.2016.07.08

Artykuł nadesłano do Redakcji 1.02.2016 r. Zatwierdzono do druku 21.04.2016 r.

Artykuł powstał na podstawie referatu zaprezentowanego na Konferencji Naukowo-Technicznej FORGAZ 2016 „Techniki i technologie dla gazownictwa – pomiary, badania, eksploatacja”, zorganizowanej przez INiG – PIB w dniach 13–15 stycznia 2016 r. w Muszynie.

Literatura

- [1] Diakont: Robotic In-Line Inspection. <http://www.diakont.com/solutions/ili/robotic-in-line-inspection/> (dostęp: 11.12.2015).
- [2] DIEX: Metoda fal skierowanych. <http://pl.tuev-dieks.com/services/diagnostyka-techniczna/methods-of-survey/metod-na-pravlenniyx-voln/> (dostęp: 9.12.2015).
- [3] Energodiagnostika Co. Ltd: Metal Magnetic Memory Method. www.mmmsystem.com (dostęp: 10.12.2015).
- [4] IRISNDT Limited: Guided Wave Testing GUL. <https://www.irisndt.com/uk/in-service-inspection/guided-wave-testing-gul/> (dostęp: 10.12.2015).
- [5] Sprawozdanie z badań BMD gazociągu DN 250 i DN 300 PN 6,3 MPa relacji Wapienica–Żywiec.
- [6] Szelażek J.: *Ultradźwiękowa defektoskopia dalekozasięgowa*. Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN Warszawa, http://www.mif.pg.gda.pl/homepages/bzyk/5_Magnetostrykcja/Fale%20prowadzone.pdf (dostęp: 8.12.2015).
- [8] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 26 kwietnia 2013 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać sieci gazowe i ich usytuowanie (Dz. U. poz. 640).
- [9] STO Gazprom 2-2.4-083-2006 *Instruction for non-destructive methods of quality control of welded joints in construction and repair of commercial and gas pipelines (Instrukcja dla metod badań nieniszczących do oceny stanu technicznego połączeń spawanych podczas wykonywania i remontu gazociągów)*.



Mgr inż. Piotr PASZYLIK
Młodszy Specjalista
Operator Gazociągów Przesyłowych
GAZ-SYSTEM S.A.
ul. Mszczonowska 4
02-337 Warszawa
E-mail: piotr.paszylk@gaz-system.pl

Akty prawne i normatywne

- [7] PN-ISO 24497-3:2009P:1-3 *Badania nieniszczące. Magnetyczna pamięć metalu*.