

Detekcja ubytków korozyjnych w rurociągach metodą dalekozasięgowej defektoskopii ultradźwiękowej

Corrosion damage detection on pipelines using long range ultrasonic testing method

Streszczenie

W niniejszym artykule omówiono metodykę, zastosowania oraz możliwości badań metodą dalekozasięgowej defektoskopii ultradźwiękowej (LRUT – ang. *Long Range Ultrasonic Testing*). Metoda umożliwia zobrazowanie całej ścianki rury z jednego położenia przetworników oraz detekcję i lokalizację nieciągłości w postaci ubytków grubości i efektów korozji na rurociągach. Wykorzystuje tzw. fale kierowane (ang. *guided waves*) rozchodzące się wzdłuż rury, wytwarzane przez opaski, składające się z wielu połączonych ze sobą modułów piezoelektrycznych. Odebrany sygnał, w postaci zobrazowania amplitudowego w czasie (A-Scan), dostarcza informacji odnośnie do lokalnych zmian przekroju poprzecznego rury.

Słowa kluczowe: defektoskopia dalekozasięgową; fale kierowane; *guided waves*; rurociągi

Abstract

This article discusses the methodology, applications and capabilities of Long Range Ultrasonic Testing (LRUT) method. The method allows screening the entire pipe wall, over tens of meters, from a single inspection position, as well as detection and location of discontinuities in the form of wall loss and corrosion effects on pipelines. It uses guided waves propagating in the axial direction of the pipe, excited by transducer rings consisting of connected piezoelectric modules. The received signal, in form of amplitude-time scan (A-Scan), provides information on general variations in the total cross-sectional area of pipe.

Keywords: LRUT; guided waves; screening; pipelines

Wstęp

Metoda dalekozasięgowej defektoskopii ultradźwiękowej (LRUT – ang. *Long Range Ultrasonic Testing*), nazywana również metodą fal kierowanych lub metodą fal prowadzonych (GWT – ang. *Guided Waves Testing*), jest coraz szerzej stosowana na świecie do nieniszczącej diagnostyki rurociągów. Metoda ta umożliwia szybkie skanowanie długich odcinków rur pod kątem wykrywania ubytków korozyjnych i innych wad. Zjawiska korozyjne zachodzące na zaizolowanych rurociągach są jednym z aktualnych problemów napotykanym w przemyśle rafineryjno-petrochemicznym, gazowniczym i chemicznym. Korozja zewnętrzna i wewnętrzna nie może zostać skutecznie wykryta bez usunięcia izolacji, co w praktyce jest zazwyczaj zbyt kosztowne. Problem jest jeszcze istotniejszy w przypadkach takich jak przejścia podziemne rurociągów pod drogami, w których dostęp do rury jest dodatkowo ograniczony. Wykopanie takiej rury celem przeprowadzenia badań wizualnych bądź ultradźwiękowych wiązałby się z ogromnymi kosztami. Zastosowanie fal ultradźwiękowych o niskiej częstotliwości, skierowanych wzdłuż ścianki

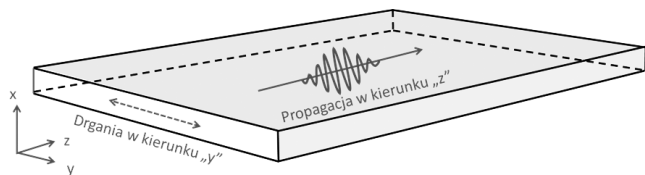
rury, jest potencjalnie bardzo efektywnym rozwiązaniem tego problemu. Fale ultradźwiękowe mogą rozprzestrzeniać się pod izolacją na długich dystansach, a ich emisja i odbiór może się odbywać za pomocą przetworników umieszczonych w małym obszarze, w którym izolacja została lokalnie usunięta [1,2].

Podstawy fizyczne

W porównaniu do ultradźwiękowych fal w elementach „objętościowych”, których występują tylko 2 rodzaje (podłużne i poprzeczne), w blachach i rurach może występować wiele różnych rodzajów fal ukierunkowanych równoległe do powierzchni. Ze względu na swoją specyfikę, w badaniach metodą LRUT wykorzystywane są w przede wszystkim fale poprzeczne horyzontalne (SH – ang. *Shear horizontal waves*). Charakterystykę ich rozchodzenia się zobrazowano na rysunku 1.

Dr inż. Łukasz Sarniak, dr inż. Maciej Szwed, dr inż. Andrzej Zagórski – Politechnika Warszawska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: lukasz.sarniak@wimpw.edu.pl

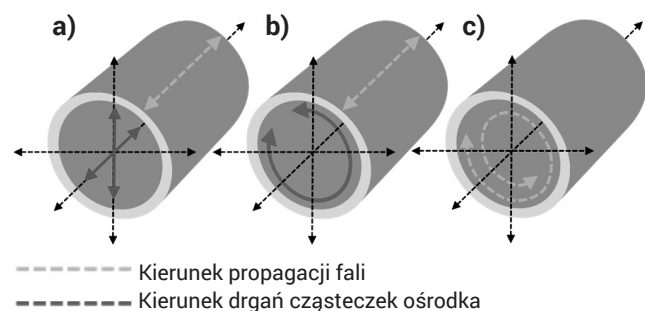


Rys. 1. Charakterystyka rozchodzenia się fal poprzecznych horyzontalnych

Fig. 1. Displacement characteristics of shear horizontal waves

Charakteryzuje je zerowe przemieszczenie w kierunku grubości blachy (kierunku promieniowym w przypadku rur), stała prędkość fazowa i grupowa w podstawowym trybie oraz możliwość prostego opisu objętościowego przemieszczenia fali ultradźwiękowej. Ponieważ nie są one falami dyspersyjnymi (ich prędkość nie jest funkcją częstotliwości), można za ich pomocą w prosty sposób określać odległości od ewentualnych wad w postaci nieciągłych zmian grubości [1].

W przypadku badań rur metodą LRUT mamy na ogół do czynienia z trzema rodzajami fal ultradźwiękowych ukierunkowanych: falami skrętnymi (ang. *torsional waves*), falami podłużnymi (ang. *longitudinal waves*) oraz falami zakrzywionymi (ang. *flexural waves*). Porównanie sposobu ich rozchodzenia się w rurach przedstawiono schematycznie na rysunku 2.



Rys. 2. Porównanie sposobu rozchodzenia się w rurach kierowanych fal ultradźwiękowych: a) podłużnych, b) skrętnych, c) zakrzywionych

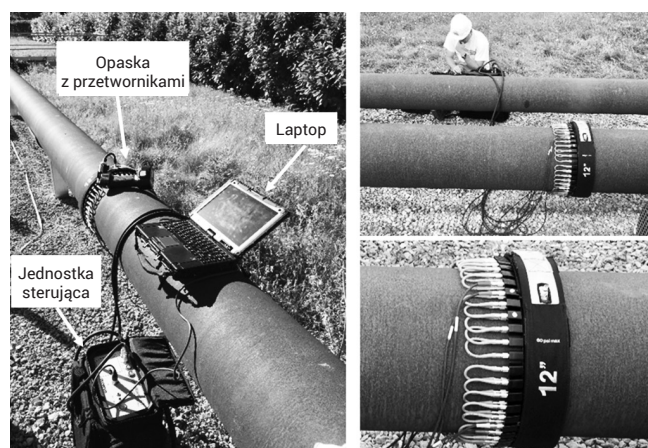
Fig. 2. Comparison of propagation of ultrasonic guided waves in pipes: a) longitudinal b) torsional c) flexural

Fale kierowane podłużne propagują w kierunku osiowym rury, a kierunek drgań cząsteczek ośrodka jest promieniowy i osiowy. Fale skrętne również propagują w kierunku osiowym rury, ale cząsteczki ośrodka drgają w kierunku obwodowym. Są szczególnie użyteczne w kontekście określania odległości od ewentualnych nieciągłości. Fale zakrzywione mają z kolei trajektorię spiralną, w związku z czym „owijają się” wokół rury pod pewnym kątem, zależnym od orientacji osiowej i obwodowej. W tym przypadku kierunek drgań cząsteczek ośrodka jest wypadkową kierunku osiowego, promieniowego i obwodowego. Fale zakrzywione stosowane są do charakterystyki kierunkowej potencjalnych nieciągłości, ponieważ umożliwiają ogniskowanie fali ultradźwiękowej i szacowanie położenia nieciągłości na obwodzie rury. Umożliwiają także badania kolan i obszarów znajdujących się za nimi [1,3].

Metodyka badawcza

Metoda LRUT umożliwia zobrazowanie grubości ścianki rury na całej długości pomiarowej z jednego położenia przetworników na powierzchni zewnętrznej. Pozwala na detekcję i lokalizację wad w postaci ubytków grubości ścianki rury. W badaniach stosowane są fale ultradźwiękowe o niskich częstotliwościach – zazwyczaj poniżej 100 kHz. Jednostka

sterująca steruje modułami piezoelektrycznymi ułożonymi w opaski nałożone na rurę. Układ nie wymaga ośrodka sprzęgającego, a docisk przetworników do powierzchni rury jest realizowany przez napełnienie sprężonym powietrzem obejmującej je dętki. Procedura badawcza polega na zamocowaniu zestawu przetworników wokół rury w jednym położeniu. Oprzyrządowanie sterowane komputerowo wysyła fale kierowane w obu kierunkach wzdłuż rury i przetwarza powracający sygnał. Sygnał ten jest przetwarzany w formie obrazowania typu A (A-Scan) przedstawiającego położenie i amplitudę wskazań zmian przekroju rury. Aby odróżnić wskazania pochodzące od wad „z prawej” i „z lewej” strony rurociągu stosuje się zdwojony układ przetworników odbiorczych, pozwalających na podstawie czasu przejścia fal stwierdzić, z której strony przychodzą do odbiorników odbite od wad sygnały. Źródłem tych sygnałów mogą być spoiny, rozgałęzienia, kołnierze itp., jak również ubytki korozyjne lub pęknięcia. Zdjęcia systemu Ultrawave LRT firmy Olympus zamontowanego na rurociągu przedstawiono na rysunku 3 [2,3].



Rys. 3. Zdjęcie systemu Ultrawave LRT firmy Olympus zamontowanego na rurociągu

Fig. 3. Picture of Olympus Ultrawave LRT system mounted on a pipeline

Zakres obserwacji

Zasięg badania w metodzie LRUT zależy od wielu czynników, ale w większości aplikacji dochodzi do kilkudziesięciu metrów. Typowe zakresy obserwacji, w zależności od geometrii rurociągu oraz sposobu izolacji, są następujące (w sumie, w obu kierunkach) [1,4÷6]:

- Proste rurociągi naziemne w dobrym stanie technicznym: 50÷200 m,
- Proste rurociągi naziemne, izolowane termicznie watą szklaną: 40÷175 m,
- Przejścia przez ściany: 1÷8 m,
- Rurociągi preizolowane: 10÷30 m,
- Rurociągi podziemne: 10÷30 m,
- Rurociągi z powłoką bitumiczną: 2÷25 m.

Odległość, na której można określić występujące wady, zależy także od stanu technicznego rurociągu:

- Rurociągi naziemne lekko skorodowane: 20÷50 m,
- Rurociągi naziemne silnie skorodowane: 15÷30 m,
- Typowe rurociągi naziemne eksploatowane: 80÷100 m.

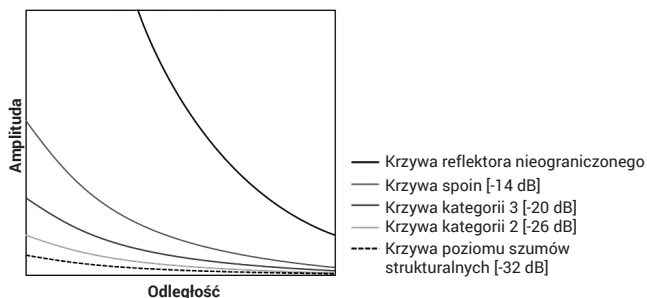
W badaniach należy również uwzględnić istnienie strefy martwej o długości ok. 1 m po obu stronach opaski z przetwornikami. Obszary pomiarowe powinny się zatem zazębiać w taki sposób, aby strefa ta została przebadana. Możliwości interpretacji wyników w bezpośrednim sąsiedztwie kołnierzy, trójników, zaworów i innych akcesoriów są także w pewnym stopniu ograniczone.

Klasyfikacja wskazań wad

Oszacowana wielkość ubytku zależy od jego wymiaru na przekroju poprzecznym rury (CSA – ang. *cross-sectional area loss*). W optymalnych warunkach istnieje możliwość detekcji ubytków przekroju na poziomie ok. 3% CSA [6]. Na otrzymanym zobrażowaniu generowane są następujące krzywe DAC, przedstawione na rysunku 4:

- Krzywa reflektora nieograniczonego (np. kołnierz lub koniec rury) – krzywa odniesienia [0 dB],
- Krzywa spoin [-14 dB] malejąca o 14 dB na każdej kolejnej spoinie,
- Krzywa kategorii 3 [-20 dB],
- Krzywa kategorii 2 [-26 dB],
- Krzywa poziomu szumów strukturalnych [-32 dB].

Kalibracja urządzenia polega na dopasowaniu poziomu „krzywej DAC spoin” do amplitudy sygnałów ultradźwiękowych odbitych od spoin obwodowych rurociągu.



Rys. 4. Krzywe DAC wykorzystywane do klasyfikacji wskazań
Fig. 4. DAC curves used for classification of indications

Analiza wielkości ubytku odbywa się na podstawie amplitudy sygnału odbitej fali kierowanej, a wskazania wad klasyfikowane są na poszczególne kategorie:

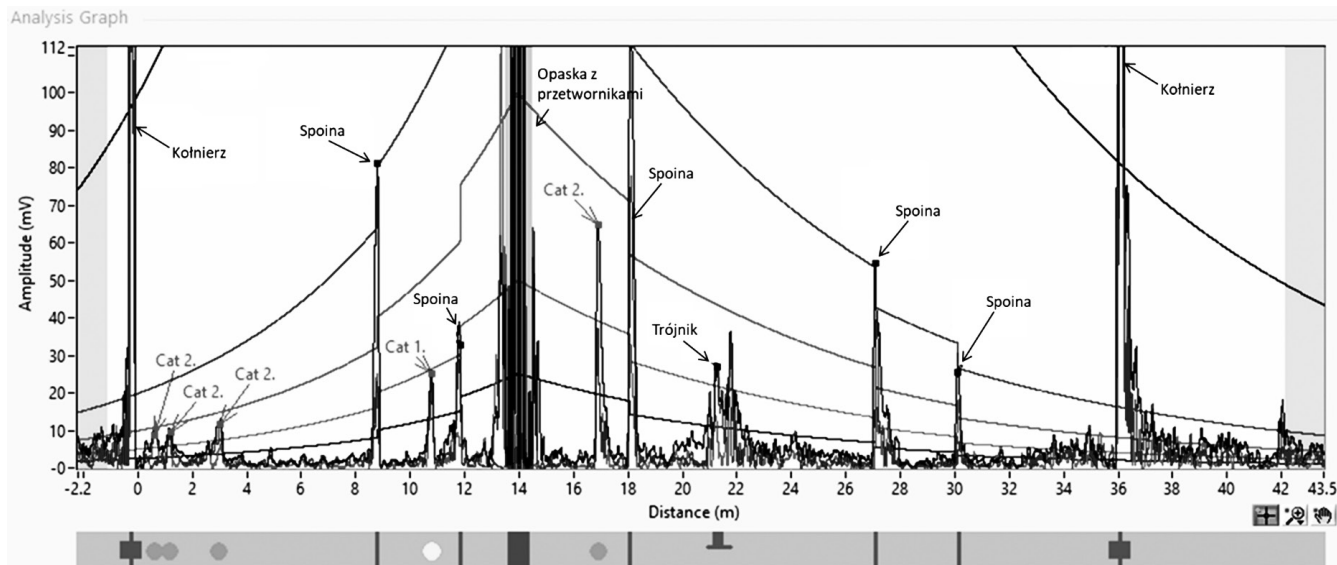
- Kategoria 1 (Cat 1.): wskazania pomiędzy poziomem szumów a krzywą kategorii 2 – wskazania mało istotne – dalsze działania nie są konieczne, a wadę należy zweryfikować w kolejnym cyklu pomiarowym.
- Kategoria 2 (Cat 2.): wskazania pomiędzy krzywą kategorii 2 a krzywą kategorii 3 – wskazania o umiarkowanej istotności – zalecana jest weryfikacja innymi metodami NDT.
- Kategoria 3 (Cat 3.): wskazania powyżej krzywej kategorii 3 – wskazania najbardziej istotne – niezbędna jest weryfikacja innymi metodami NDT.

Na zobrażowaniach przedstawionych na rysunkach 5 i 6 oznaczono lokalizację opaski z przetwornikami oraz sygnały pochodzące od kołnierza, trójkąta, spoin i ubytków materiału.

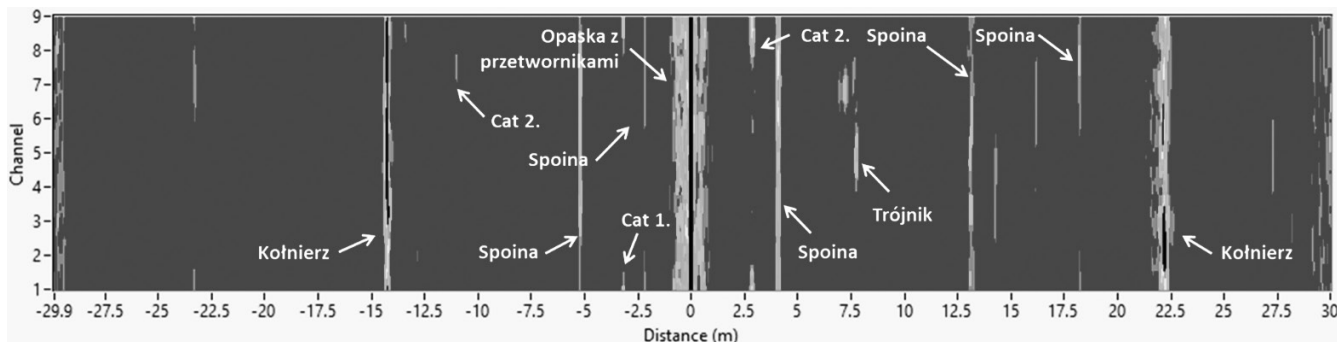
Zastosowania metody

W tabelicy I przedstawiono zakres stosowalności metody dalekozasięgowej defektoskopii ultradźwiękowej w zależności od geometrii rurociągu, długości, stanu powierzchni, powłok, mediów, lokalizacji oraz dostępu do badanego obiektu.

Przykładami najlepszych aplikacji metody są: badania bardzo długich rurociągów; badania obudowanych przejść rurociągów przez ściany, drogi i mosty; badania rurociągów z izolacją termiczną bez konieczności ich odizolowywania; badania rurociągów na estakadach bez konieczności budowy rusztowań; wykrywanie efektów korozji pod podporami rurociągów itp.



Rys. 5. Przykładowe zobrażowanie wyników badań rury stalowej metodą LRUT z zaznaczonymi wskazaniami
Fig. 5. Example of LRUT results of a steel pipe with marked indications



Rys. 6. Przykład osiowo-obwodowej lokalizacji wskazań otrzymanych metodą LRUT po rozwinięciu powierzchni rury na płaszczyźnie
Fig. 6. An example of axial-circumferential location of indications obtained by LRUT as unfolded pipe surface

Tablica I. Zakres stosowalności metody LRUT
Table I. Applicability of the LRUT method

Parametr	Stosowalność metody LRUT		
	Wysoka	Średnia	Niska
Geometria rurociągu	Prosty rurociąg, mała ilość kształtek: kolan, trójników, etc.	Średnia ilość kształtek: kolan, trójników, etc.	Duża ilość kształtek: kolan, trójników, etc.
Długość rurociągu	Duża	Średnia	Mała
Stan powierzchni rurociągu	Gładka	Ślady korozji wżerowej na powierzchni	Powierzchnia silnie skorodowana wżerowo
Obecność powłok, warstw, izolacji etc.	Brak powłok, otuliny z wełny mineralnej, rury osłonowe, etc.	Powłoki malarskie	Powłoka bitumiczna i inne powłoki o dużej lepkości
Położenie rurociągu	Naziemny, na estakadzie	–	Podziemny
Dostęp do rurociągu	Ograniczony	Średni	Dobry
Medium	Gaz, ciecz o małej lepkości	Ciecz o umiarkowanej lepkości	Ciecz o dużej lepkości

Wnioski

Badania metodą dalekozasięgowej defektoskopii ultradźwiękowej rurociągów prowadzone są obecnie na całym świecie. Dają one możliwość szybkiego skanowania kilkudziesięciu metrów rurociągu, z jednego położenia przetworników, pod kątem stwierdzenia ewentualnych ubytków korozyjnych. Ponieważ przygotowanie powierzchni nie jest zazwyczaj wymagane, a oprzyrządowanie może być zamontowane na rusze w bardzo krótkim czasie, istnieje możliwość przebadania długich odcinków w krótkim czasie, co w rezultacie przekłada się na redukcję kosztów. Korzyści wynikające ze stosowania metody LRUT, to również możliwość badania niedostępnych części, w tym rurociągów zaizolowanych, przejść podziemnych i przejść przez ściany. Do głównych ograniczeń metody można zaliczyć ograniczenia zakresu pomiarowego w przypadku rurociągów pokrytych warstwami silnie tłumiącymi fale ultradźwiękowe oraz zależność skuteczności metody od kwalifikacji i doświadczenia operatora systemu badawczego [1,2].

Literatura

- [1] Lowe M.J.S., Cawley P.: Long Range Guided Wave Inspection Usage – Current Commercial Capabilities and Research Directions, Department of Mechanical Engineering, Imperial College, London, 2006.
- [2] Szeląg J.: Ultradźwiękowa defektoskopia dalekozasięgową, IPPT PAN, Warszawa.
- [3] Olympus Scientific Solutions Academy, Guided Waves Theory, Materiały szkoleniowe, 2016.
- [4] Marques F.C.R., Demma A.: Ultrasonic Guided Waves Evaluation of Trials for Pipeline Inspection, 17th WCNDT, 2008, China.
- [5] Demma A., Alleyne D., Pavlakovic B.: Testing of Buried Pipelines Using Guided Waves, Middle East Nondestructive Testing Conference & Exhibition, Bahrain, Manama.
- [6] Olympus, Introduction to Guided Wave Inspection Theory and Technology, <http://www.olympus-ims.com>, 2017.