

# AUTOMATYCZNE BADANIA ULTRADŹWIĘKOWE

Wojciech MANAJ                      Instytut Lotnictwa  
Sławomir MACKIEWICZ            I PPT PAN

manaj@ilot.edu.pl  
[smackiew@ippt.gov.pl](mailto:smackiew@ippt.gov.pl)

## 1. WSTĘP

W ramach metody ultradźwiękowej możemy dokonać szeregu podziałów chociażby ze względu na stosowaną technikę, stopień jej automatyzacji itp. Ze względu na stopień automatyzacji badania ultradźwiękowe możemy podzielić na ręczne, półautomatyczne i automatyczne natomiast ze względu na stosowaną technikę badania na metodę echa, przepuszczania, TOFD, Phased Array. Wszystkie wymienione techniki nadają się do zastosowania w badaniach automatycznych.

Pomimo łatwości stosowania wymienionych technik w badaniach automatycznych istotne znaczenie ma charakterystyka badanego elementu, tj. jego materiał lub połączenie materiałów, stan powierzchni oraz geometria. Badaniom automatycznym lub półautomatycznym poddaje się głównie elementy o prostej geometrii: rury, blachy lub elementy o niezmiennej geometrii badane w dużej ilości, np. szyny kolejowe. Badania automatyczne stosuje się także do badania elementów, do których dostęp jest znacznie ograniczony lub niebezpieczny dla badacza przy wykonywaniu badań ręcznych.

Niezależnie od stosowanej techniki badania i konkretnych rozwiązań technicznych w zakresie automatyzacji niezmienny pozostaje cel badania, którym jest wykrycie wad i ocena stanu badanego elementu. Osiągnięcie tego celu w jak najbardziej efektywny sposób wymusiło zastosowanie szeregu innowacyjnych podejść do technik ultradźwiękowych. Jednym z najważniejszych było zautomatyzowanie badań ultradźwiękowych.

Automatyczne badania ultradźwiękowe potwierdziły swoje zalety zarówno przy ocenie stanu elementów maszyn i konstrukcji w procesie ich produkcji jak też w trakcie eksploatacji. Podstawowymi zaletami badań automatycznych są:

- możliwość komputerowego zapisu sygnału ultradźwiękowego i późniejszej jego obróbki, analizy i weryfikacji,
- duża szybkość wykonania badania,

- możliwość łatwej wizualizacji wyników badania w postaci zobrazowań typu B, C a nawet 3D
- możliwość częściowo lub w pełni automatycznego klasyfikowania badanego elementu według warunków odbiorowych w sposób bardziej obiektywny i niezależny od operatora.

W artykule przedstawiono wybrane automatyczne i półautomatyczne metody badań ultradźwiękowych elementów stalowych i kompozytowych oraz poruszono zagadnienia dotyczące wiarygodności badań automatycznych w porównaniu do badań ręcznych oraz metody radiograficznej.

## 2. PÓLAUTOMATYCZNE I AUTOMATYCZNE BADANIA ULTRAŹWIEKOWE

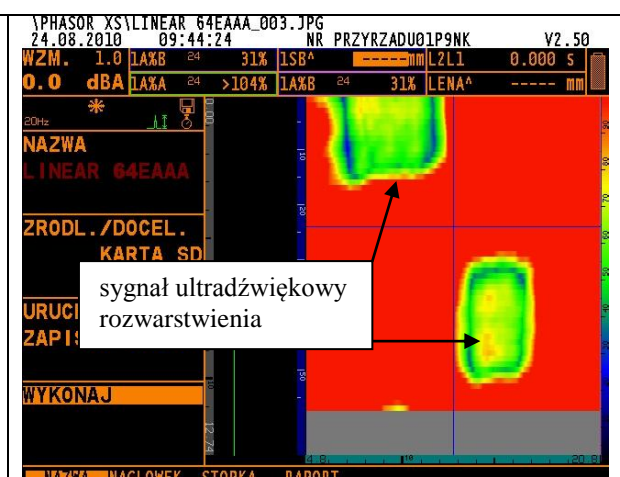
Miniaturyzacja obwodów elektronicznych oraz znaczny postęp w możliwościach obliczeniowych komputerów sprawił, że nowe możliwości otworzyły się także we wdrażaniu innowacyjnych rozwiązań w badaniach ultradźwiękowych. Zastosowanie tych rozwiązań znacznie obniżyło koszty i dostępność badań półautomatycznych. Obecnie skompletowanie odpowiedniego oprzyrządowanie w postaci defektoskopu, zestawu głowic i urządzenia do lokalizacji położenia głowicy jest w zakresie możliwości większości firm świadczących usługi badań nieniszczących.

Obecnie stosowane defektoskopy ultradźwiękowe oraz głowice umożliwiają przedstawianie wyników on-line także za pomocą zobrazowania typu B i C w prosty i przyjazny dla użytkownika sposób. Zastosowanie czujnika lokalizacji położenia głowicy powoduje, że posiadany układ pomiarowy spełnia założenia systemu półautomatycznego.

Przykład wykorzystania techniki półautomatycznej w badaniach laminatów kompozytowych przedstawiono na rysunkach 1 i 2. Pokazane zobrazowania typu B i C uzyskano dzięki zastosowaniu defektoskopu ultradźwiękowego typu *phased array* i głowicy mozaikowej o 64 elementach piezoelektrycznych.



Rysunek 1. Wyniki pomiaru laminatu, zobrazowanie typu B – rozwarstwienie



Rysunek 2. Wyniki pomiaru laminatu, zobrazowanie typu C – rozwarstwienie

Zaletą badań półautomatycznych w porównaniu do badań automatycznych jest niższy koszt zakupu systemu a także możliwość jego łatwej modyfikacji i relatywnie szybkiego dostosowywania do zmieniających się warunków badań (np. zróżnicowanego kształtu i rozmiarów badanych elementów).

Systemy w pełni **automatyczne**<sup>[1,2]</sup> stosowane są przy badaniu elementów o prostej geometrii (np. rury, blachy) lub o stałym, powtarzalnym kształcie (elementy produkowane wielkoseryjnie). Wykonuje się także badania automatyczne elementów, do których dostęp jest znacznie ograniczony lub niebezpieczny dla człowieka. Z tych powodów badania automatyczne cechują się wysoką specjalizacją i co za tym idzie wysokimi kosztami wytworzenia urządzeń i ich obsługi. Ich zaletą w porównaniu do badań półautomatycznych jest natomiast dużo większa wydajność mierzona liczbą elementów, lub metrów kwadratowych powierzchni zbadanych w jednostce czasu.

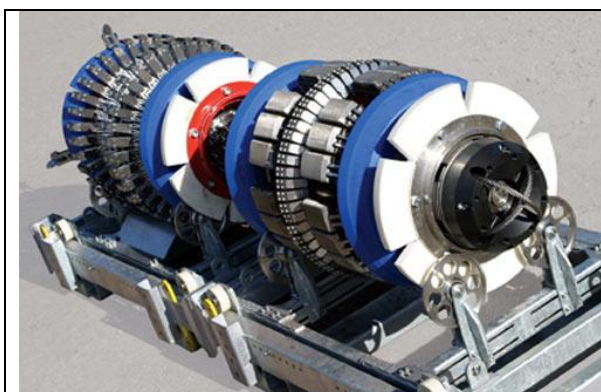
Mnogość ultradźwiękowych systemów badań automatycznych nie pozwala omówić ich szczegółowo w zakresie niniejszego, krótkiego artykułu. Wymienić należy jednak systemy które mają największe potencjalne zastosowanie w warunkach rodzimego przemysłu zarówno na etapie wytwarzania jak i w eksploatacji.

Niezależnie od szczegółów aplikacji każdy zautomatyzowany system ultradźwiękowy składa się z zespołu głowic ultradźwiękowych, systemu akwizycji i zobrazowania sygnałów, układu zapewniającego ruch i analizującego położenie głowic oraz systemu zapewniającego sprzężenie akustyczne pomiędzy głowicami i badanym obiektem. W zależności od zastosowania system taki może posiadać dodatkowe układy takie jak np. niezależny układ zasilający.

Najbardziej znanymi urządzeniami do automatycznego badania eksploatowanych rurociągów są inteligentne tłoki. Zazwyczaj badania takie są wykonywane przy użyciu metody magnetycznej MFL, ale stosuje się także urządzenia ultradźwiękowe. Ruch urządzenia jest realizowany poprzez przepływ czynnika roboczego wewnątrz rurociągu. Niezbędnym jest także to aby rurociąg posiadał komorę nadawczą i odbiorczą do wysyłania i odebrania urządzenia rejestrującego. W tym miejscu należy zauważyć, że nie wszystkie rurociągi przystosowane są do tego typu badań, a dodatkowym utrudnieniem jest fakt, że badania takie muszą zostać poprzedzone odpowiednim przygotowaniem rurociągu. Przykładem tej grupy zautomatyzowanych systemów ultradźwiękowych są urządzenia stosowane przez firmę ROSEN Group (rys. 3).

Podobnym typem urządzeń służących do badań eksploatacyjnych rurociągów są systemy ultradźwiękowe z własnym napędem, na uwięzi (rys. 4). Urządzenia tego typu wymagają tylko jednego punktu dostępu, przez który urządzenie jest wprowadzane do wnętrza rurociągu. Zasięg jego działania jest limitowany długością przewodu zasilająco-sterującego.

Zaletą tego typu urządzeń jest szybkość badania oraz dostarczanie danych o korozji w czasie rzeczywistym. Można też cofnąć tłok aby powtórzyć badanie na wątpliwym odcinku. Badanie jest dokładne i dostarcza wiarygodnych rezultatów. Długość badanego odcinka rurociągu w przypadku urządzenia na uwięzi jest limitowana przewodem sterującym i zazwyczaj nie przekracza 17 km.



Rysunek 3. Inteligentny tłok firmy Rosen Group<sup>[6]</sup>



Rysunek 4. Tłok „na uwięzi” firmy Applus RTD<sup>[7]</sup>

Kontrola złączy spawanych metodami nieniszczącymi stanowi zasadniczy czynnik w zapewnieniu jakości spoin na etapie wytwarzania. Przez dziesięciolecia jako główną metodę badań, prawie wyłącznie, stosowano technikę radiograficzną z elementami automatyzacji (crawlers, automatyczne wywoływarki). Jednakże, w niektórych przypadkach, ograniczenie metody radiograficznej wyrażające się długim czasem od wykonania ekspozycji do wywołania i oceny radiogramu, stanowią poważne ograniczenie w jej stosowaniu. Sytuacja taka występuje np. w przypadku budowy rurociągów podmorskich. Wymaganie szybkiego czasu oceny badanych złączy spawanych jest spełnione przy zastosowaniu automatycznych systemów ultradźwiękowych. Zastosowanie do oceny wykrytych niezgodności kryteriów akceptacji ECA (Engineering Critical Assessment) opartych na mechanice pękania umożliwia ponadto akceptację spoin o większych niezgodnościach niż ma to miejsce w przypadku stosowania tradycyjnych kryteriów akceptacji opartych na podejściu „dobrego wykonania”. Głównym obszarem zastosowań zautomatyzowanych badań ultradźwiękowych złączy spawanych są budowy rurociągów przesyłowych ropy i gazu (rys. 5) oraz zbiorników (rys. 6).



Rysunek 5. Urządzenie firmy SGS

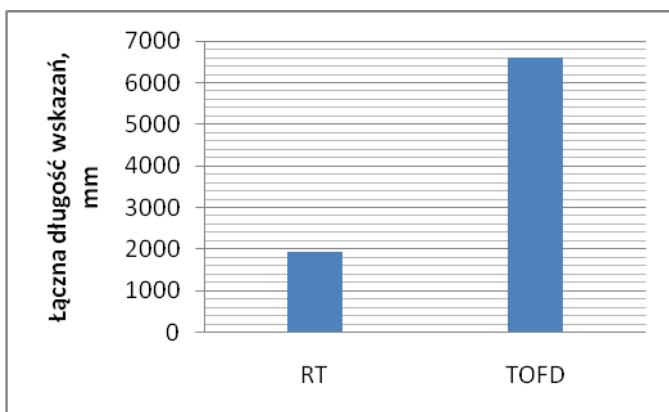


Rysunek 6. Urządzenie firmy Applus RTD<sup>[7]</sup>

### 3. WIARYGODNOŚĆ BADAŃ AUTOMATYCZNYCH

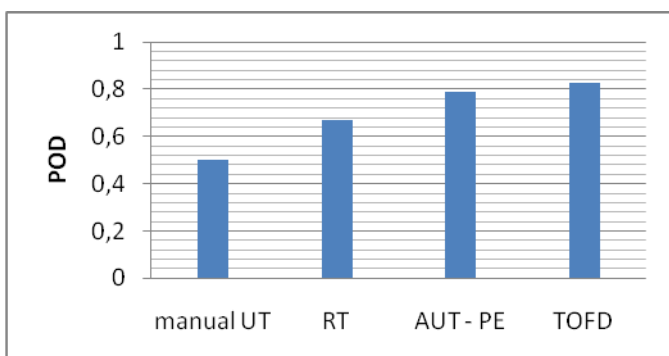
Dane literaturowe podają szereg zestawień świadczących o różnicy pomiędzy prawdopodobieństwem wykrycia defektu ultradźwiękowymi badaniami ręcznymi i automatycznymi oraz badaniami radiograficznymi. Zarówno doświadczenia krajowych jak i zagranicznych wykonawców automatycznych badań ultradźwiękowych świadczą o wyższym prawdopodobieństwie wykrycia wady (probability of detection - POD)<sup>[5]</sup> za pomocą badań automatycznych niż ręcznych. Różnice sięgają w zależności od techniki badawczej kilkudziesięciu procent.

Doświadczenia krajowe<sup>[3,4]</sup> dotyczące porównania wyników badania techniką TOFD, za pomocą systemu wielogłowicowego „Rotoscan” i metodą radiograficzną wskazują na dość wysoki procent zgodnej oceny za pomocą ultradźwiękowego systemu wielogłowicowego i metody radiograficznej. Natomiast badania automatyczne metodą TOFD dały ponad dwukrotnie większą długość wskazań do odrzucenia niż metoda radiograficzna (rys. 7). Wyniki analizy autorzy przedstawili w postaci łącznej długości wskazań wykrytych za pomocą obu stosowanych metod na spoinach wybranego odcinka rurociągu.



Rysunek 7. Łączna długość wskazań wykrytych na odcinku rurociągu za pomocą metod TOFD i RT – doświadczenia krajowe.

Wyniki przedstawione na rysunku 8 opisują doświadczenia międzynarodowe dotyczące porównania wyników badania techniką TOFD oraz automatyczną metodą echa w odniesieniu do metody radiograficznej i ręcznej ultradźwiękowej. Przedstawione rezultaty potwierdzają istotne różnice w prawdopodobieństwie wykrywania wad za pomocą badań automatycznych w porównaniu do badań wykonywanych ręcznie.



Rysunek 8. Prawdopodobieństwo wykrycia wad – doświadczenia międzynarodowe

#### 4. PODSUMOWANIE

Z uwagi na ciągle podnoszenie jakości wytwarzanych wyrobów koniecznością jest stosowanie coraz szerszej gamy technik zapewniających lepsze możliwości detekcji i oceny wad w badanych elementach. Wyższe wymagania stawiane są także w obszarze szybkości i wydajności badań zarówno w trakcie samego badania jak też na etapie oceny jego wyników. Powiązanie niezbędnej wymaganej jakości i szybkości badania spowodowało wdrożenie rozwiązań automatycznych do badania elementów o prostej geometrii a także elementów produkowanych seryjnie co w rezultacie spowodowało obniżenie kosztów jednostkowego badania.

Z uwagi na stawiane wymagania obecne trendy w zakresie rozwoju badań nieniszczących związane są z ich automatyzacją oraz wykorzystaniem cyfrowych technik obróbki sygnału. Najbardziej przyszłościowym kierunkiem zmian jest upowszechnianie się zautomatyzowanych systemów ultradźwiękowych w połączeniu z szerszym wykorzystaniem kryteriów oceny niezgodności opartych na mechanice pęknięcia.

#### LITERATURA

1. M. Śliwowski, S. Mackiewicz, A. Zbyszewski, Zautomatyzowana kontrola ultradźwiękowa spoin obwodowych rurociągów, Materiały seminarium 'Ultradźwiękowe Badania Materiałów', Zakopane 1997.
2. S. Mackiewicz, Metoda TOFD. Nowe podejście do ultradźwiękowych badań spoin, Badania Nieniszczące, Nr 9, czerwiec 1997.
3. Mackiewicz S., Kopiński J.: Doświadczenia z zastosowań ultradźwiękowej techniki TOFD. Materiały seminarium "Nieniszczące Badania Materiałów", Zakopane 2001
4. S. Mackiewicz, M. Śliwowski, A. Zbyszewski, Ocena jakości spoin obwodowych rurociągów dalekosiężnych
5. C. Wassink, D. Frederickx, Inspection Replacement in Heavy Construction: New Regulations and Old NDT Methods, ECNDT 2006
6. [www.offshore-technology.com](http://www.offshore-technology.com)
7. [www.karkia-ind.com](http://www.karkia-ind.com)