

# Badania ultradźwiękowe osi pełnych

## The ultrasonic testing of full axles

### Streszczenie

Ważnym zagadnieniem w eksploatacji osi kolejowych są badania ultradźwiękowe. Celem wykonywanych badań jest wykrycie poprzecznych pęknięć zmęczeniowych. Tworzą się one najczęściej w pobliżu zmian średnic osi (czyli w obszarach koncentracji naprężeń). Tradycyjna technika ultradźwiękowa umożliwia wykonywanie badania głowicami kątowymi na fale podłużne z powierzchni czołowej czopa. Badanie osi pełnych jest zadaniem czasochłonnym. Rozwiązaniem przy tego typu badaniach jest badanie półautomatyczne. Jest to badanie tańsze od badania w pełni automatycznego, a jednocześnie dużo szybsze od badania wykonywanego w sposób ręczny. Badania ultradźwiękowe dynamicznie się rozwijają, czego dowodem są nowoczesne techniki ultradźwiękowe jak np. technika Phased Array. Użycie jednej głowicy daje możliwość skanowania pod wieloma kątami wiązki ultradźwiękowej i brak konieczności stosowania kilku głowic.

**Słowa kluczowe:** badania ultradźwiękowe; osie kolejowe; techniki badania ultradźwiękowego

### Abstract

A very important issue from exploration point of view of railway axles is ultrasound research. The aim of the performed examination is to discover the transverse fatigue cracks. They are most often formed near the axis diameter changes (in areas of stress concentration).

The traditional ultrasound technique allows to perform testing by using the angle heads for longitudinal waves from the front surface of the spigot.

Examination of full axes is a time-consuming task. The solution for this type of research is semi-automatic examination. It is much more cheaper than fully automatic one and it is faster than the examination performed manually. The ultrasound research is developing dynamically, there are a lot of modern techniques like for example Phased Array technique.

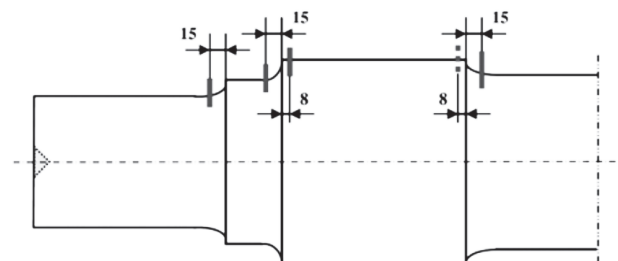
Using one head provides the ability to scan at multiple angles of the ultrasonic beam and there is no need to use multiple heads.

**Keywords:** ultrasound research; ultrasound techniques; railway axles

## Wprowadzenie

Celem wykonywanych badań na osiach kolejowych jest wykrycie poprzecznych pęknięć zmęczeniowych. Tworzą się one najczęściej w pobliżu zmian średnic osi (czyli w obszarach koncentracji naprężeń). Na wykrywalność pęknięć w osiach kolejowych wpływ mają m.in. czynniki związane z kształtem geometrycznym badanej osi oraz występowaniem ech pozornych. Echa powstają po wnikięciu fali do kół i fal odbitych od promienia przejścia piasta-koło i tarcza-koło. Trudności dotyczące zadania z zastosowaniem nastaw aparatury przy pomocy osi wzorcowych z odpowiednimi nacięciami wzorcowymi co pokazano na rysunku 1, a profile osi eksploatowanych różnią się czasami znacząco ze względu na przeprowadzone wcześniej remonty oraz naprawy. Stosowane do określenia czułości reflektory wykonane na osi mają kształt idealnego naroża w postaci rowka o głębokości od 2 do 8 mm. Rowki wykonane są prostopadłe do osi symetrii osi przy zachowaniu określonych odległości od powierzchni czołowej badanej osi. Charakter wad (nacięć

wykonanych na osiach powinny być zbliżony do charakteru poprzecznych pęknięć zmęczeniowych. Nacięcia wykonywane są w tych obszarach osi, w których występują pęknięcia w czasie eksploatacji pojazdu. Przykłady rozmieszczenia reflektorów odniesienia na osi wzorcowej pokazane są na rysunku 1.



**Rys. 1.** Lokalizacja reflektorów odniesienia [1]  
**Fig. 1.** Location of reference headlights [1]

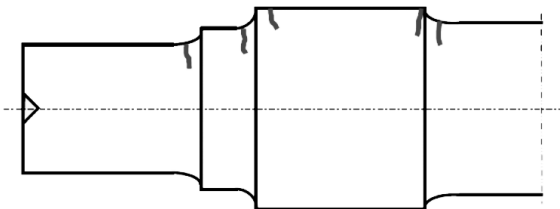
Mgr inż. Łukasz Rawicki; dr hab. inż. Jacek Słania, prof. IS; dr inż. Karol Kaczmarek; dr inż. Paweł Irek – Instytut Spawalnictwa, inż. Marcin Osiński – PKP CARGO.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: lrawicki@is.gliwice.pl

Osie projektowane są z dużym zapasem obciążenia, a mimo to pękają. Awarii zapobiec może odpowiednio wcześniej wykrycie pęknięcia. W tym celu można zwiększyć częstotliwość badań wykonując je w czasie przeglądów od części czołowej czopa bez demontażu osi.

Osie kolejowe są projektowane jako wyroby przeznaczone do pracy wysokocyklowej bez limitu przebiegu i czasu eksploatacji. Wykorzystywane są zatem do momentu, w którym kontrola wykaże niezdatność wyrobu do dalszego bezpiecznego spełniania swojej funkcji [2]. Obszarami narażonymi na uszkodzenia są miejsca przejść między obszarami średnic osi kolejowej. Na rysunku 2 pokazano miejsca w osiach kolejowych narażone na występowanie pęknięć zmęczeniowych.

Podczas procesu produkcyjnego wady powierzchniowe osi kolejowej widoczne są gołym okiem, a do wykrycia wad wewnętrznych wykorzystywane są badania ultradźwiękowe.

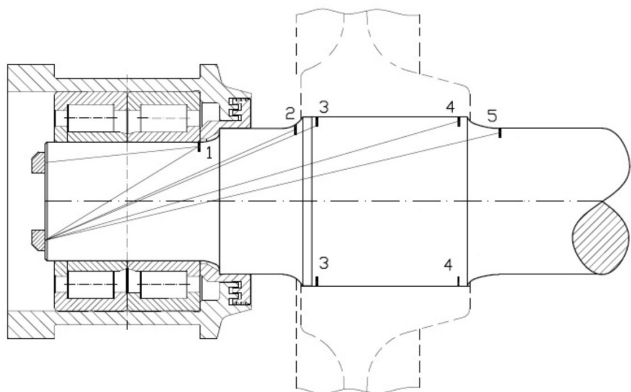


Rys. 2. Miejsca występowania pęknięć zmęczeniowych w osiach zestawów kołowych [2]  
Fig. 2. Location of fatigue cracks in axles of wheel sets [2]

## Techniki badania ultradźwiękowego badania osi pełnych

Badania prowadzone są najczęściej klasyczną techniką echa, a fale rozchodzą się w płaszczyźnie osiowego przekroju osi. W Polsce przy wykonywaniu badań eksploatacyjnych zastosowanie znajdują zwykle trzy rodzaje badań ultradźwiękowych, gdzie możliwość ich wykonania określają normy branżowe ze względu na stopień demontażu osi kolejowej. Badania osi zestawów kołowych można podzielić na [3]:

- Badania uproszczone – osie w zestawach zamontowane są pod pojazdem. Badanie przeprowadzane jest z powierzchni czopa, co pokazano na rysunku 3.
- Badanie częściowo uproszczone – wykonywane jest po wymontowaniu osi spod pojazdu. Badanie wykonywane jest z powierzchni czołowych czopa oraz części środkowej po usunięciu farby. W badaniach znajdują zastosowanie głowice normalne na fale podłużne o częstotliwości 2 MHz z nakładkami wykonanymi z pleksiglasu o kątach dobranych do danego typu osi m.in. 3, 5, 7, 10 i 12°.



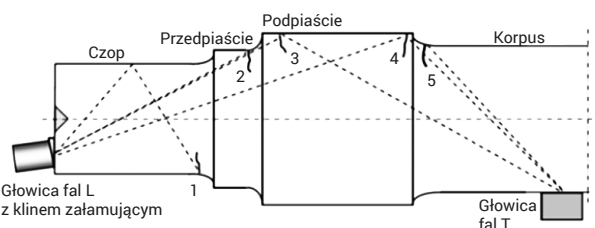
Rys. 3. Badanie metodą uproszczoną. Schemat wpuszczania fali metodą ultradźwiękową [2]  
Fig. 3. Simplified method of testing. Scheme of wave admittance using ultrasound method [2]

Badanie wykonuje się głowicami dedykowanymi o kątach np. 23°, 26° fali podłużnej.

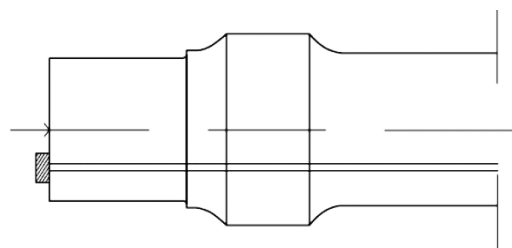
- Badanie szczegółowe – wykonywane jest na wymontowanych spod pojazdu osiach. Badanie przeprowadzane jest z powierzchni bocznych czopów oraz z części środkowej osi po zdjęciu farby zabezpieczającej. Badany obszar obejmuje obszar podpiaścia osi głowicą skośną 45° i niekiedy innym kątem 37° i 54° [1].

Przykład wykonania badania przy pomocy głowicy normalnej z powierzchni czołowej osi kolejowej i powierzchni bocznych cylindrycznych pokazano na rysunku 4.

Na osiach wykonywane jest również badanie przenikalności ultradźwiękowej. Badanie na przenikalność ma na celu sprawdzenie przydatności materiału do badania ultradźwiękowego i wykrycie ewentualnych nieciągłości rdzenia osi. Oś charakteryzująca się nieprawidłową mikrostrukturą powinna zostać odrzucona [2]. Badanie przepuszczalności pokazane jest na rysunku 5.

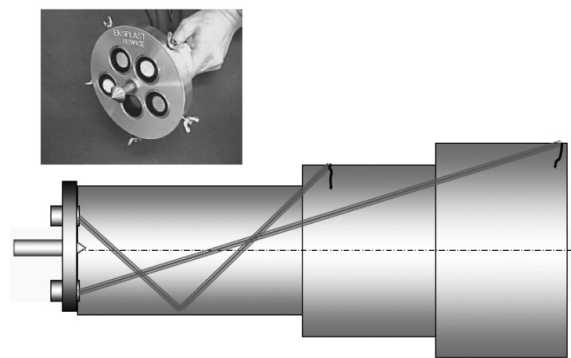


Rys. 4. Przyłożenie głowic podczas wykonywania badań ultradźwiękowych osi kolejowych [4]  
Fig. 4. Application of the heads during the ultrasonic testing of railway axes [4]



Rys. 5. Badanie przepuszczalności. Sposób prowadzenia głowicy i przenikania fali [2]  
Fig. 5. Permeability test. The way of guiding the head and penetrating the wave [2]

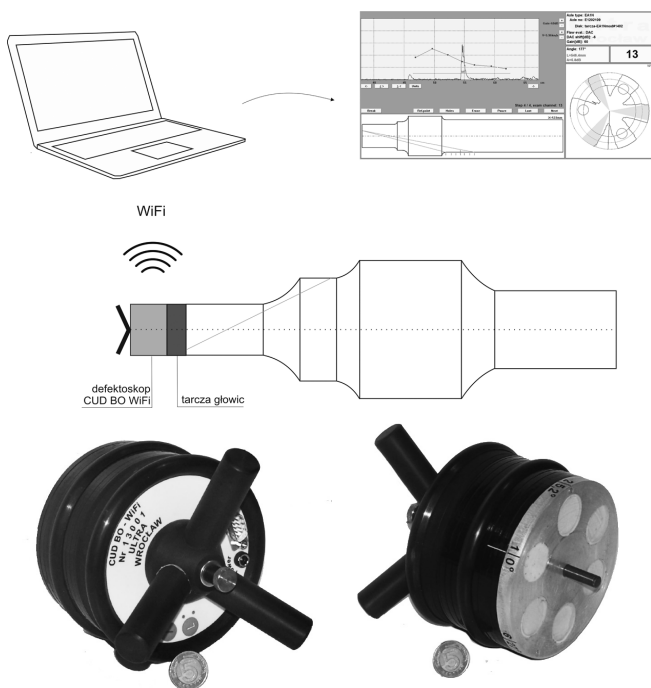
W badaniach ultradźwiękowych osi kolejowych oprócz defektoskopu ultradźwiękowego ze zobrażowaniem typu A spełniającego wymagania norm odnośnie defektoskopów ultradźwiękowych, zestawu głowic normalnych i kątowych zastosowanie znajduje również wzorec nr 1 (W1) i E1. Do badań zastosowanie znajduje również tarcza służąca do zamocowania głowic ultradźwiękowych, co ilustruje rysunek 6.



Rys. 6. Zastosowanie tarczy mocującej głowice przy wykonywaniu badań od czoła osi kolejowej [5]  
Fig. 6. Use of the head mounting plate when performing tests from the front of the railway axle [5]

## Badania półautomatyczne osi kolejowych

Badanie całej osi może trwać czasami kilka godzin, a biorąc pod uwagę wymagania norm i specyfikacji uwzględniających różne miejsca przyłożenia głowic jest to zajęcie żmudne i czasochłonne. Ograniczeniem jest konieczność wymontowania osi z zestawu kołowego. Rozwiązaniem przy wykonywaniu tego typu badań jest wykonanie badania półautomatycznie [6]. Jest to badanie tańsze od badania w pełni automatycznego, a jednocześnie dużo szybsze od badania wykonywanego w sposób ręczny. Przykładem może być system zbudowany przez firmę ULTRA z Wrocławia CUD BO WIFI. System badawczy zbudowany jest z bezprzewodowego defektoskopu ultradźwiękowego, tarczy głowic ultradźwiękowych, sterującego oraz archiwizującego programu komputerowego. Operator wykonujący badanie odpowiada za weryfikację i interpretację przeprowadzonych badań. W badaniu półautomatycznym możliwość sterowania i przełączania kanałów istnieje dzięki zmianom ustawień defektoskopu oraz programu komputerowego dokonującego rejestracji danych podczas badania [6]. Wykonanie badania wiąże się z posiadaniem osi danego typu, na którym wykonywane będzie badanie ultradźwiękowe w celu przeprowadzenia ustawień sprzętu pomiarowego [6]. Elementy układu do badania osi pełnych pokazano na rysunku 7.



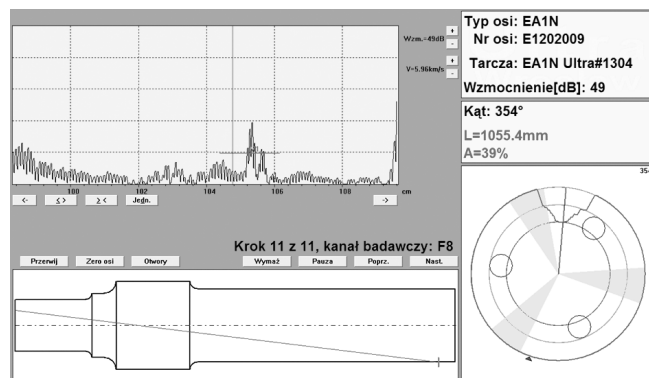
Rys. 7. Elementy układu do badania osi pełnych [6]  
Fig. 7. System elements for full axes testing [6]



Rys. 8. Widok defektoskopu w położeniu roboczym [6]  
Fig. 8. View of the defectoscope in the working position [6]

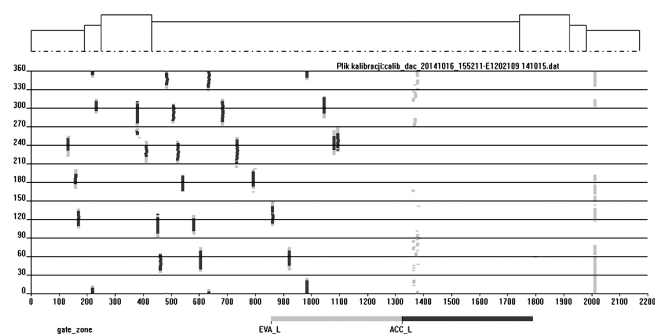
System zapewnia m.in. przyspieszenie i zmniejszenie kosztów badań w wyniku automatyzacji wszystkich czynności niebędących samym badaniem, możliwość badań niezdemontowanych, częściowo zdemontowanych i całkowicie zdemontowanych osi.

Osie kolejowe różnią się od siebie w zależności od wymiarów geometrycznych. Dlatego też, aby badanie było możliwe oraz pewne dla każdego typu osi należy opracować i wykonać osobną tarczę głowic. Widok urządzenia do badania w pozycji roboczej pokazano na rysunku 8. Zapis wyników badania oraz końcowy zapis zbiorczy parametrów po przeprowadzonym badaniu pokazano na rysunkach 9 i 10.



Rys. 9. Lewa górna część przedstawia ekran defektoskopu z aktualnym wskazaniem, prawa strona reprezentuje zarejestrowane amplitudy obwodu osi, dolna w strefie na długości osi [6]

Fig. 9. The upper left part shows the defectoscope display with the current indication, the right side represents the recorded amplitudes of the axle circuit, the lower one in the zone along the axis length [6]



Rys. 10. Prezentacja wyników zbiorczych po wykonaniu badania [6]  
Fig. 10. Presentation of the results after the test [6]

## Technika Phased Array

Technika Phased Array (PA) wymaga zastosowania jednej głowicy wieloprzetwornikowej co daje możliwość sterowania wiązką ultradźwiękową w różnym zakresie kątowym. Dzięki temu istnieje możliwość uzyskiwania dowolnych kątów padania i załamania przez pobudzenie dowolnych przetworników w ustalonych sekwencjach [7]. Jedna głowica daje możliwość przeprowadzenia badania przy różnych kątach padania wiązki ultradźwiękowej. Poszczególne oscylogramy przedstawiane są w postaci zobrazowania typu np. S-Skan, D-Scan co ułatwia interpretację uzyskanych wskazań [8].

Istotną zaletą przeprowadzanych badań jest również skrócenie czasu przeprowadzanych badań na wymianę i ponowną kalibrację sprzętu pomiarowego. Badania techniką PA mogą być wykonywane zarówno techniką manualną, jak i techniką półautomatyczną, gdzie przesuw skanera razem z głowicami następuje ręcznie, a rejestracja danych w sposób automatyczny przy pomocy stosowanego enkodera [8].



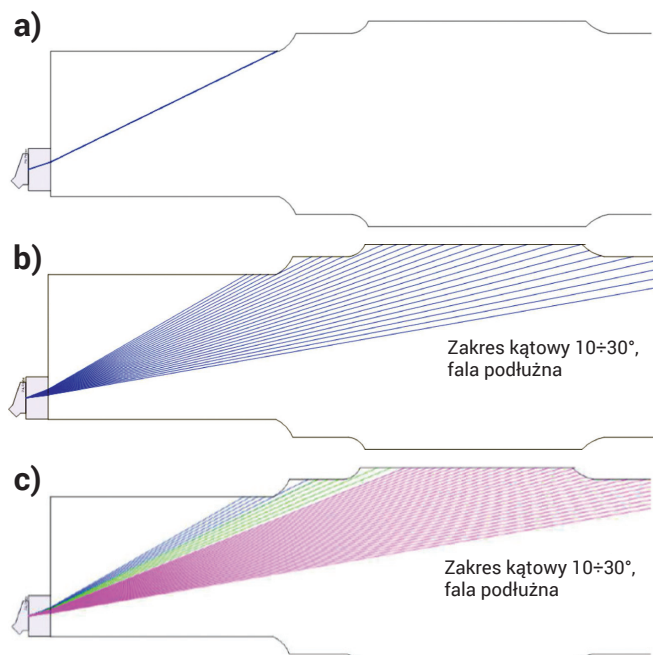
Do zalet techniki Phased Array w badaniach ręcznych możemy zaliczyć [9]:

- szybkość: brak wymiany nakładek, jedno ustawienie to kompletne badanie;
- łatwość oceny: wyraźna możliwość odróżnienia geometrii od pęknięcia;
- zobrazowanie S-skan: czytelna wizualizacja wyniku;
- uniwersalność: dzięki wielu kątom można szybko sprawdzić siłę odbicia od pęknięcia pod innym kątem;
- wykrywalność: mając różne kąty zwiększamy szansę wykrycia pęknięcia;
- jakość i wiarygodność: mniejsza zależność wyniku od operatora niż w badaniach klasycznych UT.

Na rysunku 11 pokazano przykład zastosowania techniki Phased Array z zastosowaniem jako głowica klasyczna przy pomocy 1 kąta, z zakresem kątowym i możliwością zmiany zakresu kąтового wiązki ultradźwiękowej oraz przy wykonywaniu badań z podziałem na strefy badania.

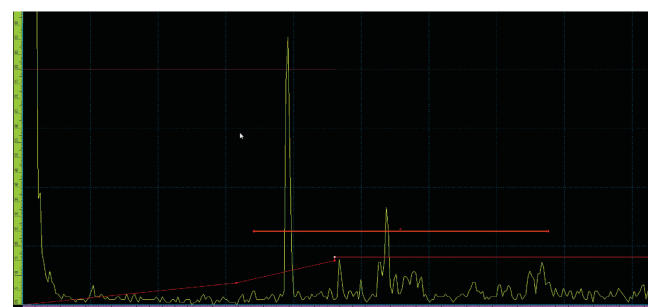
W klasycznym badaniu odczyt następuje w jednym punkcie, interpretacja wyniku jest utrudniona z powodu sygnałów od kształtu geometrycznego, co pokazano na rysunku 12.

Badania z zastosowaniem techniki Phased Array umożliwiają wyraźniejszą interpretację wyników badania oraz odróżnienie odczytanych sygnałów od kształtu geometrycznego pochodzącego z elementów osi kolejowej, co pokazano na rysunku 13.



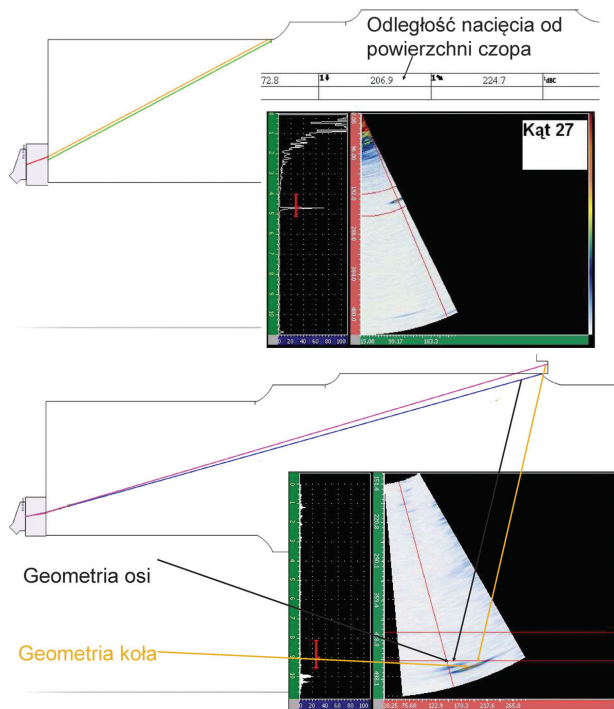
**Rys. 11.** Phased Array w badaniach: a) jako głowica klasyczna – 1 kąt, b) w badaniach osi z zakresem kątowym, c) z podziałem badania na strefy [9]

**Fig. 11.** Phased Array in tests: a) as a classical head – 1 angle, b) in axial angle tests, c) with division into zones [9]



**Rys. 12.** Przykład zobrazowania z klasycznego badania UT [9]

**Fig. 12.** An example of visualization from the classical ultrasonic testing [9]

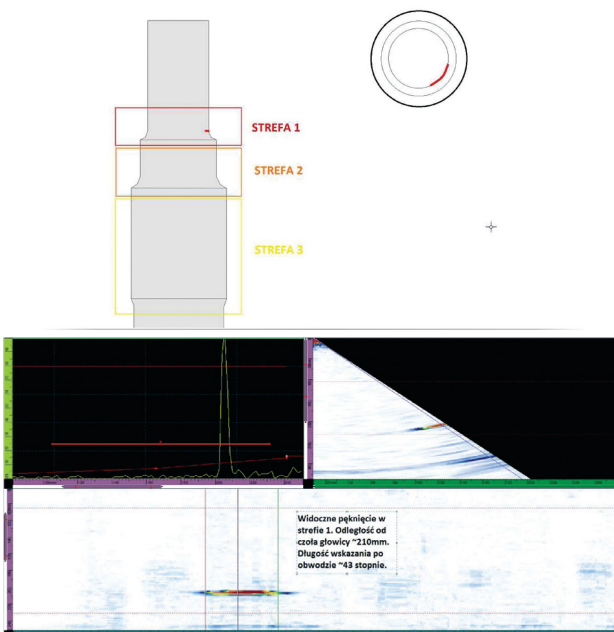


**Rys. 13.** Nacięcie wzorcowe na osi i wynik badania PA oraz wskazania od geometrii osi i koła [9]

**Fig. 13.** Standard gash on the axle and the PA test result with the indication of axle and wheel geometry [9]

Badanie z zastosowaniem techniki Phased Array osi kolejowych z rejestracją przebiegu i wykorzystaniu głowicy z enkoderem prowadzonym w uchwycie posiada wiele zalet. Zaliczyć można do nich m.in.: niezależność wyniku od operatora, pomiar długości wskazania po obwodzie osi, błyskawiczną analizę wyniku i ocenę wskazań, jednostajny docisk i jednostajne sprzężenie akustyczne głowicy z osią, możliwość kontroli sprzężenia akustycznego, archiwizacja całego badania – możliwość powtórnej analizy na komputerze PC, badanie powtórne za kilka lat (badania kontrolne, okresowe) i porównywanie wyniku.

Przykład badania za pomocą głowicy i enkodera przedstawiono na rysunku 14.



**Rys. 14.** Rejestracja przebiegu i wykorzystanie głowicy z enkoderem do badań techniką Phased Array [9]

**Fig. 14.** Course registration and the use of the head with an encoder for tests using Phased Array method [9]

---

## Podsumowanie

W przedstawionym opracowaniu pokazano sposób przeprowadzania badań na osiach kolejowych. Metody badań oparte są obecnie w przeważającej części na klasycznych badaniach ultradźwiękowych bazujących na technice echa. Badania wykonywane są również jako badania półautomatyczne umożliwiające m.in. kontrolę i rejestrację przez program komputerowy wyników badania. Na elementach powtarzalnych możliwe jest wykonywanie badań w sposób powtarzalny w związku z czym celowe staje się zastosowanie systemów półautomatycznych i automatycznych. Operator posiadający stosowne uprawnienia w sektorze Utrzymanie Ruchu Kolei odpowiada za ocenę i interpretację wyników badania. Rozwój techniki powoduje, że w badaniach osi kolejowych możliwe staje się zastosowanie nowoczesnych technik ultradźwiękowych jak np. badania techniką Phased Array, gdzie możliwe jest zastosowanie jednej głowicy wieloprzetwornikowej i możliwa jest zmiana ogniskowania wiązki i zakresu kąтового dla wykonywanego skanu badawczego. Z powodu dużych możliwości i zalet techniki PA w stosunku do innych technik i metod badań nieniszczących należy spodziewać się jej szybkiego wdrażania jej w praktyce przemysłowej. Można oczekiwać, że badanie tą techniką znajdzie również zastosowanie w zakresie badania osi kolejowych.

## Literatura

- [1] Ładecki B.: Problemy związane z wykrywaniem pęknięć zmęczeniowych osi kolejowych, Przegląd Spawalnictwa 11/2014, s. 28-34.
- [2] Antolik Ł.: Metodyka wykrywania pęknięć zmęczeniowych w osiach kolejowych a wymagania norm europejskich, Problemy Kolejnictwa zeszyt 165 12/2014, s. 7-19.
- [3] Miklaszewicz I.: Prezentacja – Badanie nieniszczące i ich odpowiedzialność a bezpieczeństwo transportu szynowego – badania ultradźwiękowe elementów kolejowych, Instytut Kolejnictwa, Warszawa 04/2014.
- [4] Szelażek J.: Wykrywanie pęknięć osi kolejowych metodą ultradźwiękową, XX Seminarium Nieniszczące Badania Materiałów, Zakopane 12-14 Marca 2014.
- [5] Hottowy G.: Materiały własne firma Ekstplast.
- [6] Machała P., Uchroński P.: Materiały własne firma ULTRA Wrocław.
- [7] Kaczmarek K.: Prezentacja, Nowoczesne techniki badań ultradźwiękowych oraz ich zastosowanie, Gliwice 2017.
- [8] Antolik Ł.: Kierunki rozwoju badań ultradźwiękowych na przykładzie badania osi kolejowych, Problemy Kolejnictwa zeszyt 163/2014, s. 7-24.
- [9] Miś R.: Materiały własne firma Olympus.