

Łukasz Rawicki<sup>1\*</sup>, Piotr Machała<sup>2</sup>, Patryk Uchroński<sup>2</sup>, Jacek Słania<sup>1</sup>, Karol Kaczmarek<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Spawalnictwa, Zakład Badań Nieniszczących, Gliwice

<sup>2</sup>ZBM Ultra Sp. z o.o., Wrocław

# Badania automatyczne i systemy badawcze wykorzystywane w badaniach ultradźwiękowych osi kolejowych

## Automatic research and testing systems used in ultrasound research of the railway axles

### ABSTRACT

The possibilities of using automated testing systems for research of the railway axes have been described. Elements of repetitive shape can be tested using automatic systems. It gives benefits in the form of time and speed of conducted research. Additional advantages are the possibility of archiving and recording parameters from the conducted tests in the form of diagrams from computer programs.

**Keywords:** *ultrasound research, railway axles, automated research systems*

### STRESZCZENIE

Opisano możliwości zastosowania automatycznych systemów badawczych na potrzeby badania osi kolejowych. Elementy o powtarzalnym kształcie są możliwe do badania przy wykorzystaniu systemów automatycznych. Daje to korzyści w postaci czasu oraz szybkości przeprowadzanych badań. Dodatkowymi atutami są możliwości archiwizacji oraz zapisu parametrów z przeprowadzonych badań w postaci diagramów z programów komputerowych.

**Słowa kluczowe:** *badania ultradźwiękowe, osie kolejowe, systemy badań automatycznych*

### 1. Wprowadzenie

Badania osi kolejowych przeprowadzane są za pomocą metod VT, MT i UT [1]. Podczas procesu produkcyjnego wady powierzchniowe osi kolejowej widoczne są gołym okiem, a do wykrycia wad wewnętrznych wykorzystywane są badania ultradźwiękowe. Badania prowadzone są najczęściej klasyczną techniką echa, a fale rozchodzą się w płaszczyźnie osiowego przekroju osi. 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 [2].

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 [3]. Obszarami narażonymi na uszkodzenia są miejsca przejść między obszarami średnic osi kolejowej [4].

Zwiększenie efektywności badań możliwe jest poprzez pełną lub częściową automatyzację wykonywanych badań co czyni technikę badań ultradźwiękowych jedną z najbardziej rozwiniętych metod badań nieniszczących [5]. Stosowanie urządzeń cyfrowych stanowi bazę do rozwijania technik badań ultradźwiękowych. Nowoczesny sprzęt projektowany jest z myślą o rejestracji całego przebiegu badania. Możliwa jest statystyka przeprowadzonych badań i ich wyników czego wynikiem jest m.in. oszacowanie prędkości propagacji

nieciągłości prowadzącej do awarii.

Celem wykonywanych badań jest wykrycie poprzecznych pęknięć zmęczeniowych. Tworzą się one najczęściej w pobliżu zmian średnic osi (czyli w obszarach koncentracji naprężeń).

Osie projektowane są z dużym zapasem obciążenia, mimo to pękają, co pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Widok przełomu pęknięcia zmęczeniowego osi kolejowej.  
Fig. 1. View of the breakthrough of fatigue crack of railway axle.

Awarie zapobiec można, odpowiednio wcześniej wykrywając pęknięcia. W tym celu można zwiększyć częstotliwość badań, wykonując je w czasie przeglądów od części czołowej czopa bez demontażu osi. W Polsce nie istnieje obowiązująca norma dotycząca ultradźwiękowych badań eksploatacyjnych osi. Jedyne, co nakazuje norma PN-EN 15313, to wykonywanie badań zgodnie z „planem badań” [6].

\*Autor korespondencyjny. E-mail: lukasz.rawicki@is.gliwice.pl

Brak jednoznacznych wymogów technicznych przy wykonywaniu badań ultradźwiękowych i stosowanie różnych instrukcji i procedur badawczych wpływa na zachowanie warunków bezpieczeństwa podczas eksploatacji pojazdów szynowych. Zgodnie z obowiązującymi przepisami badania w czasie eksploatacji wykonywane są głównie zgodnie z normami branżowymi (seria BN), natomiast badania w czasie remontów, głównie dla odbiorców zagranicznych, wykonywane są zgodnie z niemiecką normą DIN 27201-7 (m.in. przewodnik VPI) [7-8].

Porównanie norm branżowych z wymaganiami obowiązującymi u odbiorców zagranicznych pokazano w tablicy 1.

Tab. 1. Porównanie badań wg BN i VPI.

Tab. 1. Comparison of research according to BN and VPI.

Lp.	Parametr	Normy branżowe BN	DIN 27201-7
1	Stopień demontażu osi	Oś niezdemontowana (może być pod wagonem)	Zamontowane tylko koła
2	Miejsce przyłożenia głowic	Strona czołowa czopa	Powierzchnia boczna czopa i części środkowej
3	Zakres badań	Okolice zmian średnic	100%
4	Głębokość nacięć	Od 1 do 8 mm	2 mm
5	Aparatura	Głowica normalna z nakładkami z plexi	Głowice o odpowiednim kącie i solidnej obudowie
6	Możliwość wykonania badań	Praktycznie w każdych warunkach	Jedynie podczas napraw

Badania zgodnie z niemieckimi wytycznymi zapewniają dużo wyższy poziom bezpieczeństwa niż normy branżowe. Ich wykonanie jest możliwe jedynie podczas remontów. Rozwój aparatury ultradźwiękowej powinien dążyć do umożliwienia badań na poziomie VPI w warunkach BN. Przykładami urządzeń do badań automatycznych mogą być systemy stworzone przez firmę ZBM Ultra Wrocław i defektoskop CUD BO WIFI.

System zapewnia:

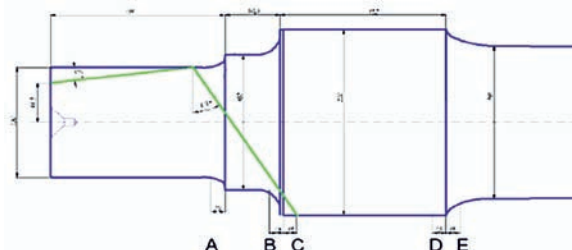
- przyspieszenie i zmniejszenie kosztów badań w wyniku automatyzacji wszystkich czynności niebędących samym badaniem;
- uwiarygodnienie badań poprzez jak największe niezależenie wyniku badania od subiektywnej oceny operatora;
- zapis całego przebiegu badania, a następnie zawarcie tych informacji w generowanym przez system protokole badań;
- kompatybilność zapisów wyników badań z istniejącymi bazami danych zestawów kołowych klienta;
- możliwość wykonania badania nie tylko na stanowisku badawczym, ale również w dowolnych innych warunkach;
- stopień złożoności badań nieprzekraczający zakresu certyfikatu 1 i 2 stopnia wg normy PN EN ISO 9712;
- możliwość badań niezdemontowanych, częściowo zdemontowanych i całkowicie zdemontowanych osi;
- możliwość rozbudowy systemu w dowolnym

momencie.

Możliwości badania osi od czoła obejmują;

- badania bezpośrednie,
- badania głowicą nakiełkową,
- badania z wykorzystaniem fal transformowanych.

Bardzo istotne jest badanie obszarów o zmiennych przekrojach. Sposób padania wiązki ultradźwiękowej i transformacja fali pokazany jest zieloną linią na rysunku 2.



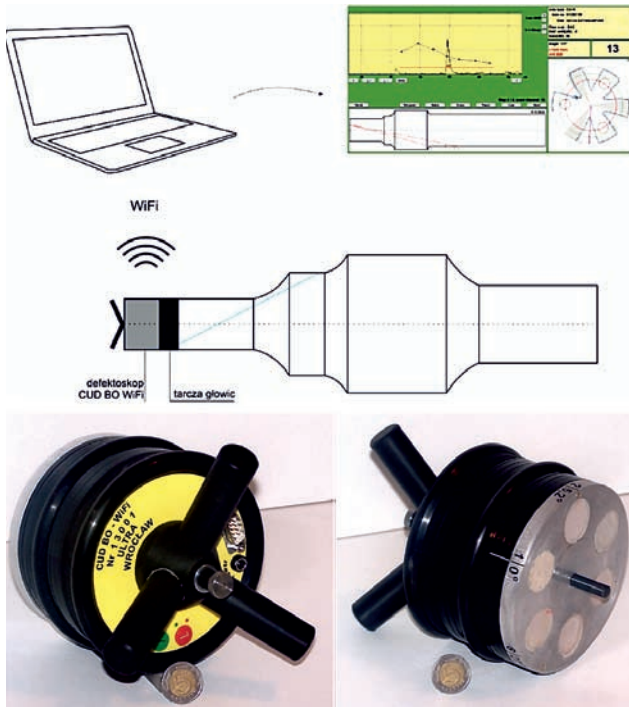
Rys. 2. Padanie wiązki ultradźwiękowej od powierzchni czołowej osi kolejowej [9]

Fig. 2. Incidence of ultrasound beam from the front surface of railway axles [9]

## 2. Badanie osi pełnych

Badanie osi pełnych jest zadaniem czasochłonnym i wymagającym. 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. 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. W przypadku badania automatycznego do ustawionej na obrótniku osi przystawiany jest układ głowic wykonujących badanie. Operator wykonujący badanie odpowiada za weryfikację i interpretację przeprowadzonych badań. Skomplikowany układ mechaniczny w tego typu urządzeniach sprawia, że koszty urządzenia są bardzo wysokie dla większości przedsiębiorstw. W badaniu półautomatycznym możliwość sterowania i przełączania kanałów istnieje dzięki zmianom ustawień defektoskopu oraz programu komputerowego dokonującego rejestracji danych podczas badania. Dzięki odpowiedniemu oprogramowaniu możliwy jest dobór głowic do procedur badawczych wgranych na urządzeniu rejestrującym [3]. System badawczy zbudowany jest z bezprzewodowego defektoskopu ultradźwiękowego CUD BO WIFI, tarczy głowic ultradźwiękowych, sterującego oraz archiwizującego programu komputerowego. Wykonanie badania wiąże się z posiadaniem osi danego typu, na którym wykonywane będzie badanie ultradźwiękowe w celu przeprowadzenia ustawień sprzętu pomiarowego. Schemat systemu oraz elementy układu do badania osi pełnych pokazano na rysunku 3.

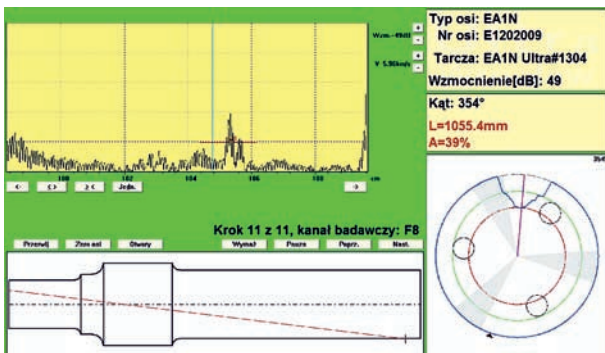
Osie kolejowe różnią się od siebie w zależności od wymiarów geometrycznych. Dlatego też, aby badanie było możliwe, a jego wyniki wiarygodne, dla każdego typu osi należy opracować i wykonać osobną tarczę głowic. Widok urządzenia do badania w pozycji roboczej pokazano na rysunku 4.



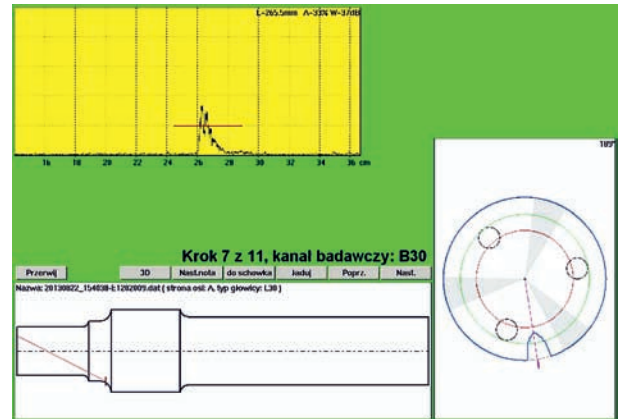
Rys. 3. Schemat systemu i elementy układu do badania osi pełnych [9]  
Fig. 3. System scheme and system elements for full axes testing [9]



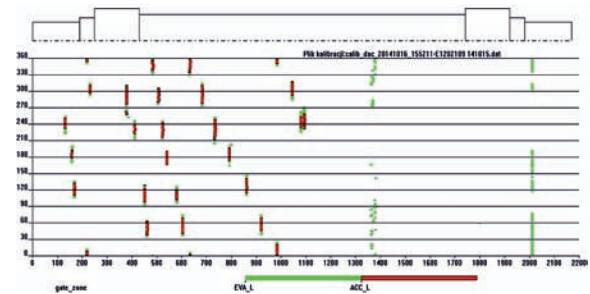
Rys. 4. Widok defektoskopu w położeniu roboczym [9]  
Fig. 4. View of the defectoscope in the working position [9]



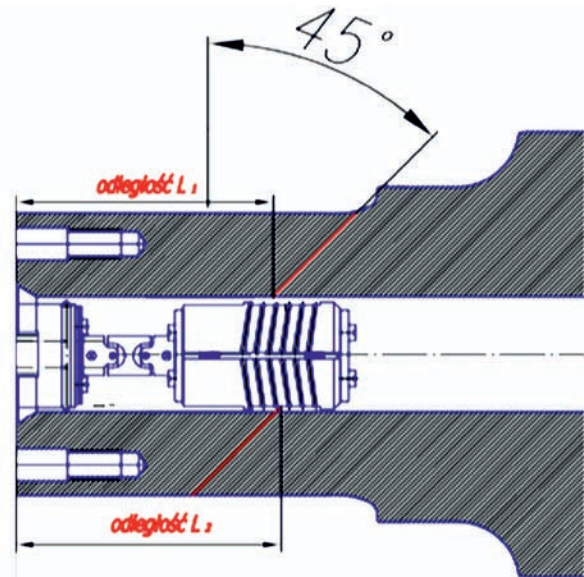
Rys. 5. Lewa górna część przedstawia ekran defektoskopu z aktualnym wskazaniem, prawa strona reprezentuje zarejestrowane amplitudy obwodu osi, dolna w strefie na długości osi [9]  
Fig. 5. The upper left part shows the defectoscope display with the current indication, the right side represents the recorded amplitudes of the axle circuit, the lower one in the zone along the axis length [9]



Rys. 6. Zapisany jest cały przebieg badania - dla każdego kroku zapisywany jest defektogram co 1° [9]  
Fig. 6. Record of the whole test - for the each step the defektogram is recorded ever 10 [9]



Rys. 7. Prezentacja wyników zbiorczych po wykonaniu badania [9]  
Fig. 7. Presentation of the results after the test [9]



Rys. 8. Schemat badania osi drążonej [10]  
Fig. 8. Examination scheme of the hollow axis [10].

Zapis wyników badania oraz końcowy zapis zbiorczy parametrów po przeprowadzonym badaniu pokazano na rysunkach 5, 6 i 7.

### 3. Badanie osi drążonych

Osie drążone bada się od strony otworu drążonego za pomocą głowicy 45° (70°) w poszukiwaniu pęknięć

poprzecznych, co pokazano na rysunku 8.

Badanie osi drążonych to badanie wielu powtarzalnych elementów, istnieje więc możliwość opracowania systemów automatycznych [11]. Podczas badania występują liczne wskazania od kształtu osi. Nie należy więc prowadzić badań ręcznych, ponieważ nie gwarantują one dokładnego pomiaru odległości, na której prowadzone jest badanie.

#### 4. Przebieg badania

Personel wykonujący badanie winien posiadać uprawnienia minimum 2 stopnia w metodzie badań ultradźwiękowych UT w sektorze Utrzymanie ruchu kolei zgodnie z normą PN EN ISO 9712.

Wykorzystana aparatura badawcza do badania osi drążonych pokazana na rysunku 9 zawiera m.in. bezprzewodowy defektoskop ultradźwiękowy łączący się przez sieć WIFI z komputerem typu laptop do rejestracji i zapisów badania, część konstrukcyjna urządzenia ze śrubą posuwową, na końcu której zamontowana jest sonda badawcza. Zestaw do badania zawiera również urządzenie do podawania oleju w celu zapewnienia sprzężenia akustycznego głowicy w trakcie badania [4]



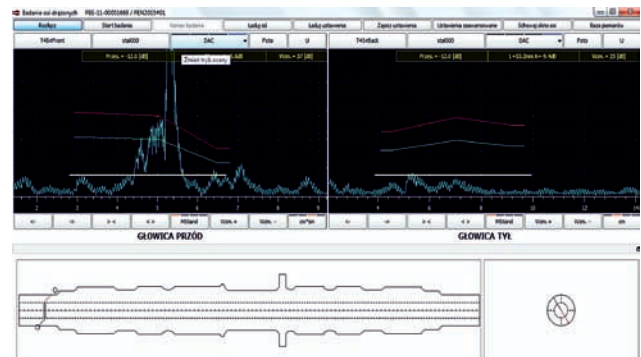
Rys. 9. Widok aparatury badawczej wraz z widokiem montażu urządzenia do dopływu oleju [10]

Fig. 9. View of the research equipment with a view of the device installation to the oil supply [10]

Przy badaniach ultradźwiękowych osi kolejowych czynnikami, które mają duże znaczenie podczas wykonywania badania są m.in. układ badania, na który wpływ ma miejsce i kąt przyłożenia głowic oraz weryfikacja wyników badania na wzorcu porównawczym. Każdy typ osi różni się względem siebie kształtem geometrycznym, więc wzorec musi być dopasowany właściwie do przeprowadzonego badania z uwzględnieniem danej procedury i normy. Wzorec powinien być zawsze dostępny dla operatora. Kalibracja sprzętu pomiarowego polega na wykreśleniu krzywej DAC na wzorcu pomiarowym. W tym celu układ z sondą badawczą wprowadza się do badanej osi i w posuwistym ruchu sondy wyszukuje się kolejnych nacięć znajdujących się na wzorcu kontrolno-pomiarowym osi. Nacięcia będące wadami sztucznymi służą do wyznaczenia krzywej DAC. Tworzenie krzywej DAC polega na znalezieniu echa maksymalnego, które pochodzi od kolejnych nacięć znajdujących się na wzorcu kontrolno-pomiarowym. Linia poprowadzona

przez poszczególne punkty echa maksymalnych wyznacza krzywą DAC.

Wykreśloną krzywą należy obniżyć o 12dB w celu zaostrezenia kryterium badania. Widok krzywych DAC pokazano na rysunku 10.



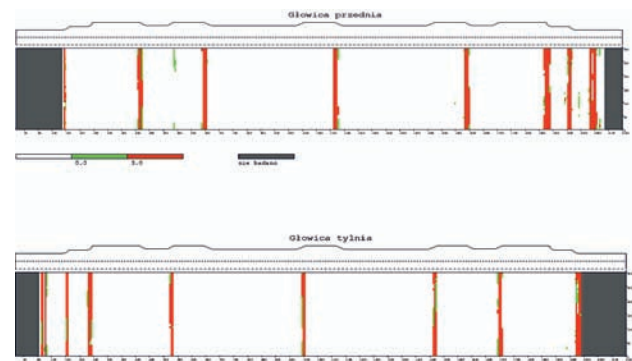
Rys. 10. Widok krzywych DAC podczas badania osi napędowej dla głowicy przedniej i tylnej [10]

Fig. 10. View of the DAC curves during testing of the drive axle for the front and rear head [10]

Badanie przeprowadzane jest na całej długości osi, a nieciągłości zostają rejestrowane automatycznie przez program.

Końcowe wyniki badania przedstawiają zapis badania, co pokazano na rysunku 11 niezależnie dla głowicy przedniej i tylnej, jak również identyfikację przejść na osi tocznej. Zadaniem operatora jest ocena wskazań na osiach badanych i weryfikacja wyników badania.

Operator powinien określić i ocenić wskazania istotne, a pominąć wskazania, które mogą być wynikiem m.in. echa kształtu [11].



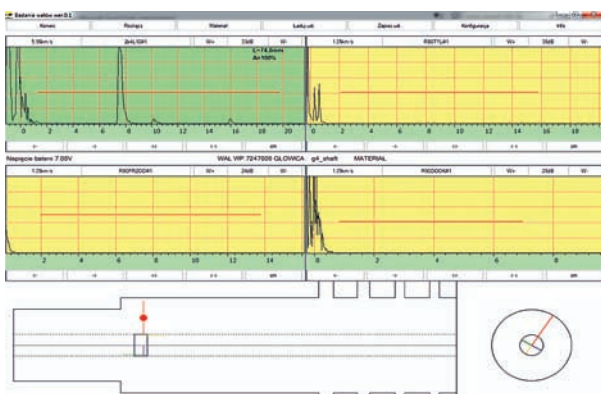
Rys. 11. Końcowe wyniki badań z głowicy przedniej i tylnej dla osi tocznej [10]

Fig. 11. The final research results from the front and rear head for the axis fought [10]

Badanie osi drążonych prowadzi się również od wewnętrznej części otworu drążonego. Systemy tego typu wykorzystują fale powierzchniowe. Nieciągłościami wzorcowymi na osiach wzorcowych są nacięcia wzdłużne i poprzeczne. Wykorzystywany jest ten sam układ mechaniczny co do badania osi drążonych. Rejestracja sygnału odbywa się z czterech kanałów równocześnie. Na rysunku 12 pokazano sondę badawczą z głowicami na fale powierzchniowe, a na rysunku 13 widok diagramu po badaniu powierzchni wewnętrznej osi drążonej.



Rys. 12. Sonda badawcza z głowicami na fale powierzchniowe [10]  
Fig. 12. Research probe with heads for surface waves [10]



Rys. 13. Badanie powierzchni wewnętrznej osi drążonej-program komputerowy [10]

Fig. 13. Internal surface examination of the hollow axis – computer program [10]

## 5. Podsumowanie

W przedstawionym opracowaniu pokazano sposób przeprowadzania badań na osiach kolejowych. Sposób badania jest badaniem automatycznym umożliwiającym 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 automatycznych. Operator posiadający stosowne uprawnienia w sektorze Utrzymanie Ruchu Kolei odpowiada za ocenę i interpretację wyników badania [12].

## 6. Literatura/References

- [1] W. Michnowski, J. Mierzwa, P. Machała, P. Uchroński, "Badanie kolejowych zestawów kołowych", in Czech Society for Nondestructive Testing, NDE for Safety / DEFEKTOSKOPIE 2011, Ostrava, pp. 223-229.
- [2] B. Ładecki, "Problemy związane z wykrywaniem pęknięć zmęczeniowych osi kolejowych", Przegląd Spawalnictwa, vol. 86, no. 11, pp. 28-34, 2014. DOI 10.26628/ps.v86i11.28
- [3] Ł. Antolik, "Metodyka wykrywania pęknięć zmęczeniowych w osiach kolejowych a wymagania norm europejskich", Problemy Kolejnictwa, zeszyt 165, no. 12, pp. 7-19, 2014.
- [4] I. Miklaszewicz, "Badanie nieniszczące i ich odpowiedzialność a bezpieczeństwo transportu szynowego – badania ultradźwiękowe elementów kolejowych", Instytut Kolejnictwa, Warszawa, Prezentacja, Apr. 2014.
- [5] Ł. Antolik, "Kierunki rozwoju badań ultradźwiękowych na przykładzie badania osi kolejowych", Problemy Kolejnictwa, zeszyt 163, pp. 7-24, 2014.
- [6] PN-EN 15313, "Kolejnictwo. Wymagania eksploatacyjne dotyczące obsługi zestawów kołowych. Utrzymanie zestawów kołowych pojazdów w eksploatacji i wyłączonych z eksploatacji."
- [7] DIN 27201-7, "Stan pojazdów kolejowych – Podstawowe zasady i technologie produkcji – Część 7: Badanie nieniszczące".
- [8] VPI 09, "Konserwacja wagonów towarowych. Badania nieniszczące".
- [9] "Ultra - P. Machała, P. Uchroński", Ultra.wroclaw.pl, 2018. [Online]. Available: <http://www.ultra.wroclaw.pl/>. [Accessed: 1- Mar- 2018].
- [10] Ł. Rawicki, "Rozwój i zastosowanie współczesnych metod badań nieniszczących w spawalnictwie", Materiały Seminaryjne, Instytut Spawalnictwa, Gliwice, 2017.
- [11] W. Michnowski, J. Mierzwa, P. Machała, P. Uchroński, "Badanie kolejowych osi drążonych", Przegląd Spawalnictwa, vol. 83, no. 13, pp. 33-35, 2011. DOI 10.26628/ps.v83i13.423
- [12] W. Michnowski, J. Mierzwa, P. Machała, P. Uchroński, "Bezpieczeństwo eksploatacji osi kolejowych i badania ultradźwiękowe", Przegląd Spawalnictwa, vol. 86, no. 10, pp. 17-20, 2014. DOI 10.26628/ps.v86i10.41