

# Problemy związane z wykrywaniem pęknięć zmęczeniowych osi kolejowych

## Problems related to detection of fatigue cracks of railway axles

### Streszczenie

Pomimo projektowania osi pojazdów szynowych w zakresie tzw. nieograniczonej wytrzymałości zmęczeniowej, wobec występowania szeregu złożonych zjawisk eksploatacyjnych, co roku rejestrowane są kolejne przypadki wykolejenia pojazdów szynowych spowodowane pęknięciami zmęczeniowymi osi. W pracy poddano analizie przyczyny kilku przypadków pęknięć osi w ostatnich latach, na podstawie dostępnych danych. Pomimo statystycznie niewielkiej liczby danych można z nich wyciągnąć wniosek, że dla znaczącej liczby badań defektoskopowych osi wykonywanych techniką ultradźwiękową pęknięcia o znacznych wymiarach mogą nie być wykrywane. Przeprowadzona analiza najistotniejszych czynników mających wpływ na wykrywalność pęknięć zmęczeniowych osi pojazdów szynowych dała podstawę do opracowania zaleceń odnośnie prowadzenia badań defektoskopowych osi, których wykorzystanie może mieć znaczący wpływ na wykrywalność pęknięć.

**Słowa kluczowe:** osie kolejowe, propagacja pęknięcia zmęczeniowego, badania nieniszczące

### Abstract

Despite designing of axles of railway vehicles in terms of the so-called 'unlimited fatigue strength', and this with taking into account a number of complex operational phenomena, each year there are recorded new cases of derailment of rail vehicles due to the occurrence of fatigue cracks in axles. The present study gives the analysis of the reasons for the occurrence of several cases of axle cracks in recent years, based on available data. On the basis of this analysis, despite the statistically small number of data, it can be concluded that for a significant number of flaw detection examinations, performed using the ultrasound technique, cracks of considerable size may not be detected. The performed analysis of the most important factors affecting the detection of fatigue cracks in the axles of railway vehicles has given grounds for the development of recommendations for flaw detection examinations of axles, the use of which may have a significant impact on cracks detection.

**Keywords:** certification, non-destructive personnel, certification body

## Wstęp

Jednym z najistotniejszych elementów, ze względu na bezpieczeństwo eksploatacji pojazdów szynowych, są osie zestawów kołowych. Osie takie eksploatowane są zwykle bezawaryjnie w okresie kilkudziesięciu lat, przy czym pomimo projektowania takich osi w zakresie tzw. *nieograniczonej trwałości zmęczeniowej*, wobec występowania szeregu złożonych zjawisk eksploatacyjnych i materiałowych, rejestrowane są

przypadki występowania uszkodzeń osi kończące się niekiedy tragicznie, jak w czerwcu 2009 r. w Viareggio, gdzie w wyniku pęknięcia zmęczeniowego osi w wagonie cysterny przewożącej gaz skroplony zginęły 32 osoby, a rannych zostało 27 osób.

W tablicy I zestawiono sumaryczne liczby pękniętych w Polsce na wskroś osi w latach 2006-2012, uzyskane na podstawie danych gromadzonych przez Departament Bezpieczeństwa Kolejowego przy Urzędzie Transportu Kolejowego. Niestety urząd ten, ani żadna inna instytucja działająca w naszym kraju, nie gromadzi

Dr inż. Bogusław Ładecki – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: boglad@uci.agh.edu.pl

dokładniejszych informacji dotyczących przyczyn pęknięcia osi, takich jak: ekspertyzy mające na celu wyjaśnienie przyczyn powstania pęknięć, daty prowadzenia badań defektoskopowych, zastosowane techniki badawcze itd. Jednocześnie nie są gromadzone informacje dotyczące liczby osi wyłączonych z eksploatacji na podstawie badań nieniszczących. Dane takie gromadzone są np. w Czechach, gdzie przykładowo dla osi pełnych i drażonych, na zbadanych ogółem w 2009 r. 39 217 szt. osi, na podstawie badań nieniszczących wyłączono z eksploatacji 854 osie, co stanowi 2,18% ogólnej liczby przebadanych osi [1].

Dane zestawione w tabelicy I wskazują, że w latach 2007-2009 liczba pękniętych osi była bardzo duża. W ostatnich kilku latach liczba pękających osi jest już mniejsza, ale dalej znacząca, co wobec niebezpieczeństwa wystąpienia w każdym takim przypadku katastrofy kolejowej stanowić powinno podstawę do wykonania dokładniejszych analiz mających na celu wyjaśnienie przyczyn braku wcześniejszego wyeliminowania takich osi z eksploatacji.

## Analiza dostępnych wyników badań pękniętych osi

Jak wcześniej wspomniano, nie stworzono w naszym kraju odpowiedniej bazy danych, która mogłaby stanowić podstawę do wykonania odpowiedniej analizy statystycznej przyczyn występowania pęknięć osi pojazdów szynowych. Brak ujawniania takich danych związany jest prawdopodobnie ze znacznymi konsekwencjami finansowymi spowodowanymi wykolejeniami wagonów [2], przy czym takie postępowanie powoduje obniżenie bezpieczeństwa eksploatacji taboru kolejowego.

W związku z powyższym analizie poddano kilka przypadków pęknięć osi stwierdzonych w latach 2011-2012, dla których dostępne były odpowiednie dane. Podstawowe dane dotyczące wykolejenia pojazdów szynowych spowodowanych pęknięciami osi zestawów kołowych pokazano w tabelicy II, w której umieszczono również informacje dotyczące katastrofy w Viareggio.

Dla wszystkich przypadków powstania pęknięć zmęczeniowych osi zestawionych w tabelicy II stwierdzić można liczne podobieństwa. Analiza przełomów pokazanych na rysunkach 1÷3, jak również opisowo przełomu dla pozycji 2 w ww. tabelicy wskazuje, że strefa przełomu doraźnego (strefa resztkowa, dołamania) nie przekracza ok. 30% przekroju osi, co świadczy o tym, że przekroje były słabo obciążone [6], czyli na etapie projektowania zastosowano odpowiednio wysokie wartości współczynników bezpieczeństwa. W każdym przypadku mamy zatem do czynienia ze zmęczeniem wysokocyklowym, które następowało w długim okresie z małą prędkością propagacji pęknięcia. W żadnym z rozważanych przypadków nie wskazano na występowanie wad materiałowych lub wad procesu technologicznego wytwarzania osi. W przypadku materiału osi (poz. 3 w tabl. II), stwierdzono co prawda występowanie skupisk wtrąceń niemetalicznych oraz pasmowość struktury w pewnych obszarach osi, jednak występowania takich defektów nie stwierdzono bezpośrednio w obszarze przełomu zmęczeniowego.

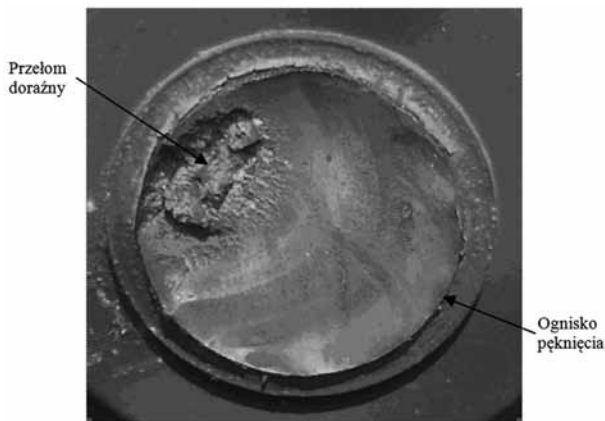
Jak widać na rysunkach 1÷3, pęknięcia zmęczeniowe zainicjowane zostały na powierzchniach zewnętrznych osi. Mamy tu zatem do czynienia z przypadkami, gdzie nieograniczona dla prawidłowo zaprojektowanych i wykonanych osi trwałość zmęczeniowa, uległa ograniczeniu ze względu na stan techniczny osi. Jako najbardziej prawdopodobną przyczynę zainicjowania zjawisk zmęczeniowych na powierzchni

**Tabelica I.** Liczba pękniętych osi w latach 2006-2012  
**Table I.** Number of axles cracked in 2006-2012

| Rok                                  | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Pęknięcia osi w pojazdach kolejowych | 3    | 22   | 67   | 12   | 3    | 2    | 4    |

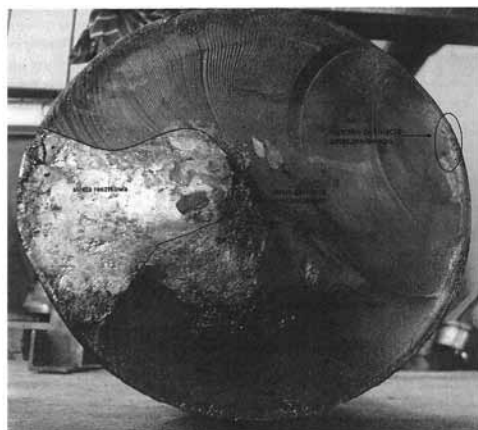
**Tabelica II.** Dostępne dane dotyczące wypadków spowodowanych pęknięciem osi w latach 2011-2012  
**Table II.** Available data on accidents caused by axles cracks in 2011-2012

| Obiekt/<br>miejsce             | Data<br>zdarzenia | Data naprawy/<br>badań NDT | Prawdopodobna przyczyna  |
|--------------------------------|-------------------|----------------------------|--|
| Viareggio                      | 29.06.2009        | 01-03.2009                 | Złamanie zmęczeniowe podpiaścia osi – rysunek 1 [3]  |
| Wagon towarowy do przew. złomu | 22.04.2011        | Naprawa główna 30.01.2008  | Złamanie zmęczeniowe przedpiaścia osi spowodowane niewykryciem wady osi w miejscu powstania ogniska przełomu zmęczeniowego podczas naprawy [2]   |
| Wagon 152A                     | 28.10.2011        | Badania UT 26.08.2009      | Złamanie zmęczeniowe podpiaścia osi – rysunek 2, spowodowane niewykrytym ogniskiem przełomu o charakterze zmęczenia wysokocyklowego, z korozją powierzchni i rysą na głębokość 0,5 mm w obszarze pęknięcia oraz pęknięciem pierścienia łożyskowego po drugiej nieuszkodzonej stronie osi [4] |
| Wagon węglarki                 | 14.04.2012        | Naprawa rewiz. 02.2012     | Złamanie zmęczeniowe przedpiaścia osi – rysunek 3 [5]  |



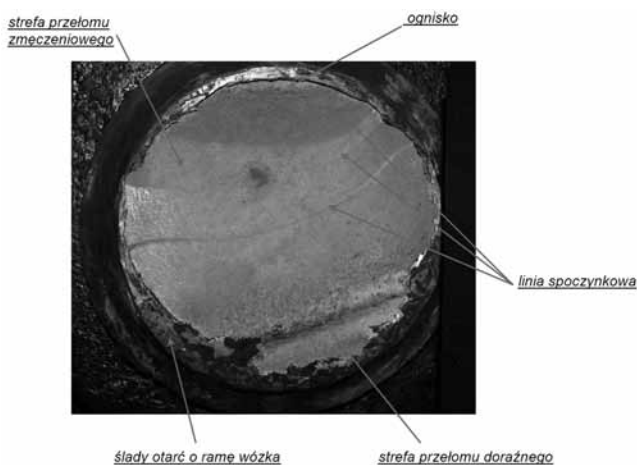
Rys. 1. Przełom zmęczeniowy osi wagonu cysterny – katastrofa w Viareggio [3]

Fig. 1. Fatigue fracture of the tank car axle – catastrophe in Viareggio acc. to [3]



Rys. 2. Przełom zmęczeniowy osi wagonu 152A [4]

Fig. 2. Fatigue fracture of the wagon type 152A axle acc. to [4]



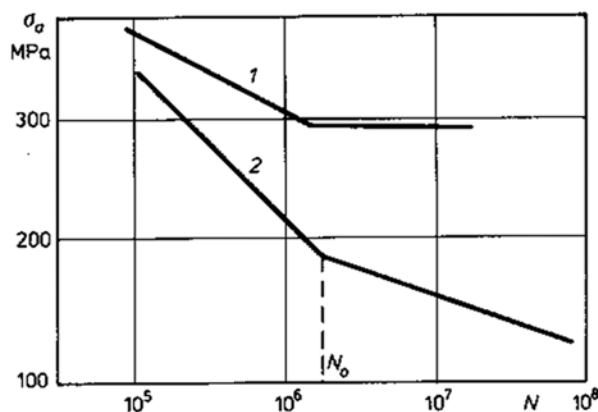
Rys. 3. Przełom zmęczeniowy osi wagonu węglarki 437Wa [5]

Fig. 3. Fatigue fracture of the coal wagon type 437Wa axle acc. to [5]

rozważanych osi można wskazać występowanie korozji powierzchniowej, jak również powstanie niewielkich karbów geometrycznych (rys) spowodowanych uszkodzeniem powierzchni osi np. podczas demontażu łożysk z czopa. Pojawienie się korozji powoduje znaczne obniżenie wytrzymałości zmęczeniowej, a w zakresie nieograniczonej trwałości zmęczeniowej element zaczyna wykazywać ograniczoną trwałość zmęczeniową, znacząco malejącą z okresem eksploatacji (rys. 4) [6].

Skutkiem tego po pewnym okresie pracy inicjowane są pęknięcia zmęczeniowe w najbardziej wyężonych obszarach osi o charakterze zmęczenia korozyjnego.

Dalsza analiza danych zestawionych w tabelicy II wskazuje, że pomimo prowadzonych przed terminem wystąpienia dekohezji osi badań defektoskopowych, niekiedy kilka miesięcy przed wypadkiem, pęknięcia zmęczeniowe o bardzo dużych rozmiarach nie zostały wykryte. W dostępnych materiałach nie zawarto informacji dotyczących stosowanych technik badawczych, nasuwa się jednak wniosek, że dla znaczącej liczby badań defektoskopowych prowadzonych techniką ultradźwiękową (UT) pęknięcia osi o znacznych wymiarach mogą nie być wykrywane.



Rys. 4. Przełom zmęczeniowy osi wagonu węglarki 437Wa [5]

Fig. 4. Fatigue fracture of the coal wagon type 437Wa axle acc. to [5]

## Ograniczenia mające wpływ na wykrywalność pęknięć metodą ultradźwiękową

Aktualnie w Polsce w badaniach eksploatacyjnych stosowane są zwykle trzy rodzaje badań ultradźwiękowych osi zaproponowane w normach branżowych [7], których zastosowanie limituje stopień demontażu osi.

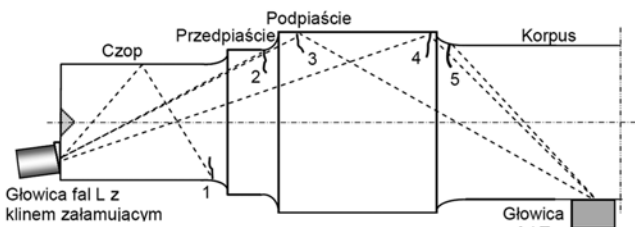
Badania uproszczone prowadzone są najczęściej z powierzchni czołowych osi, po odkręceniu pokrywy czołowej łożysk, zwykle przy zastosowaniu głowic normalnych oraz głowic normalnych z nakładkami klinowymi o różnych kątach.

Badania częściowo uproszczone wykonuje się po wymontowaniu zestawu kołowego z wózka, zwykle bez demontażu łożysk i innych elementów, stosując głowice jak przy badaniach uproszczonych oraz głowice skośne fal poprzecznych o kącie 45° i niekiedy innych kątach (54° i 55°) [8].

Badania szczegółowe wykonuje się dla osi zestawu wymontowanego z wózka po ściągnięciu z czopów łożysk tocznych, bez stłaczania kół lub po ich stłoczeniu. W takim przypadku stosuje się zwykle wyłącznie głowice kątowe fal poprzecznych, prowadzone po dostępnych powierzchniach bocznych osi o kącie 45° i niekiedy innych kątach (54°, 55°, 37° i 38°) [8]. Typowe usytuowanie pęknięć zmęczeniowych osi pełnych,

wraz z typowymi sposobami ich wykrywania od czoła falami podłużnymi i z powierzchni walcowej falami poprzecznymi, pokazano na rysunku 5 [9].

W przypadku demontażu łożysk oraz stłoczenia kół stosuje się metodę wizualną, a niekiedy również metody powierzchniowe, takie jak metodę magnetyczno-proszkową lub penetracyjną.



**Rys. 5.** Typowe usytuowanie pęknięć zmęczeniowych osi wraz z typowymi sposobami ich wykrywania od czoła falami podłużnymi i z powierzchni walcowej falami poprzecznymi [9]

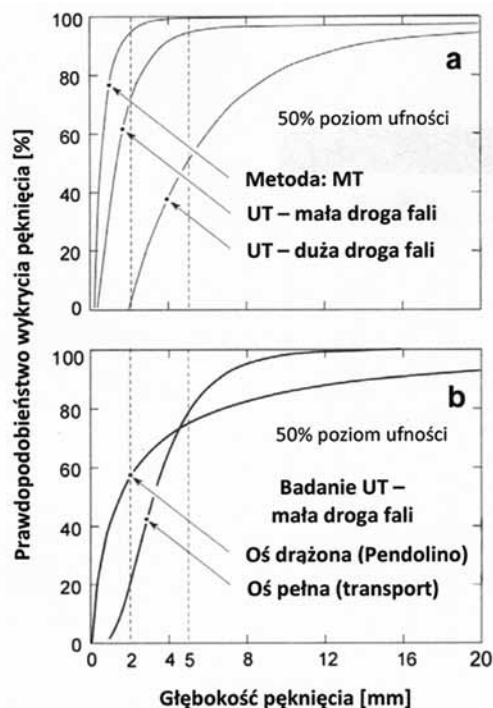
**Fig. 5.** Typical location of fatigue cracks of an axle along with conventional detection methods: with longitudinal waves from the front and transverse waves from the cylindrical surface acc. to [9]

### Prawdopodobieństwo wykrycia pęknięcia

Prawdopodobieństwo wykrycia pęknięcia (PWP) w funkcji jego głębokości określone przez różnych autorów, dla różnych technik badań nieniszczących, zilustrowano na rysunku 6 [10]. Największa wykrywalność osiągana jest dla badań metodą magnetyczno-proszkową (MT). W przypadku badań ultradźwiękowych widoczne są istotne różnice w wykrywalności pęknięć przy badaniach z dużymi drogami fal prowadzonymi zwykle od czoła osi falą podłużną z zastosowaniem niewielkich kątów (UT-L), w porównaniu z badaniami z małymi drogami fali prowadzonymi zwykle z powierzchni bocznej osi z wykorzystaniem fal poprzecznych z dużymi kątami (UT-T). Przykładowo przy prawdopodobieństwie wykrycia pęknięcia wynoszącym 90%, wykonując badania od czoła falą podłużną wykryć można pęknięcie o głębokości ok. 13 mm, a stosując fale poprzeczne – pęknięcia o głębokości ok. 5 mm (rys. 6a). Jak widać, stosowanie fal podłużnych od czoła osi charakteryzuje się małą wykrywalnością i nie jest zalecane jako badanie rutynowe [13]. Znacznie lepsze wyniki wykrywalności dają badania ultradźwiękowe falą poprzeczną, ale w takim przypadku wykrywalność jest nadal znacznie mniejsza niż przy badaniu metodą MT (wykrywana głębokość 1,5 mm przy 90% poziomie PWP). Należy jednak pamiętać, że w przeciwieństwie do metody magnetyczno-proszkowej badania ultradźwiękowe można prowadzić bez demontażu kół i niekiedy łożysk, co ma znaczący wpływ na czas i koszt badań.

Wyniki późniejszych badań jeszcze niżej oceniają prawdopodobieństwo wykrycia pęknięć przy wykorzystaniu techniki UT-T dla osi pełnych (głębokość ok. 6,6 mm przy 90% poziomie PWP) – rysunek 6b [12]. Dla osi drążonych badania wykonuje się z otworu, co jest korzystne ze względu na możliwość zastosowania techniki UT-T. Jak wskazują wyniki pokazane na rysunku 6b dla osi drążonych, dla mniejszych pęknięć o głębokości do ok. 4 mm wykrywalność jest lepsza niż

dla osi pełnych, przy czym dla większych głębokości pęknięć trend ulega odwróceniu. W interpretacji wyników wykrywalności pęknięć dotyczących osi drążonych należy jednak zachować ostrożność ze względu na niewielką liczbę danych, na podstawie których wykres ten został wykonany [10].



**Rys. 6.** Prawdopodobieństwo wykrycia pęknięcia osi w funkcji głębokości pęknięcia [10]: a – dane dla metod magnetyczno-proszkowej i ultradźwiękowej dla osi pełnych [11], b – dane dla osi drążonych i pełnych badanych metodą ultradźwiękową przy małej drodze fali [12]

**Fig. 6.** Probability of detection of cracks as a function of crack depth acc. to [10]: a – data obtained by magnetic particle inspection and ultrasonic techniques for solid axle acc. to [11], b – comparison between ultrasonic near end scan data for solid axels and ultrasonic data obtained from the hollow axels acc. to [12]

Krzywych na rysunku 6 nie należy generalizować, ze względu na możliwość stosowania specyficznych procedur badań. Modyfikacja wspomnianych wyżej technik badawczych np. przez zastosowanie specjalistycznego osprzętu, próbek porównawczych (wzorców), zwiększenie liczby kątów wprowadzania wiązki ultradźwiękowej [8,14], zastosowanie nowych technik takich jak np. *phase array technique*, może wpłynąć na poprawę wykrywalności pęknięć.

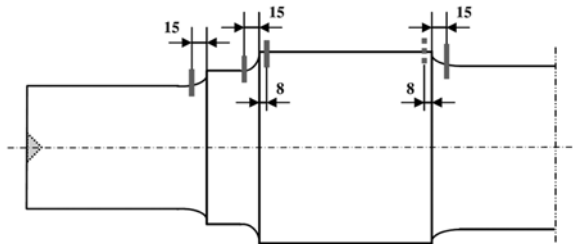
Podwyższenie prawdopodobieństwa wykrywania mniejszych pęknięć można również osiągnąć przez odpowiedni dobór okresów pomiędzy prowadzonymi badaniami nieniszczącymi przy zastosowaniu kombinacji metod badawczych, przez stosowanie badań UT, wraz z obowiązkowymi badaniami MT przy całkowitym demontażu osi (z demontażem kół i łożysk) stosowanymi nie rzadziej niż podczas napraw rewizyjnych, a w przypadku osiągania przez pojazdy szynowe ponadprzeciętnych przebiegów, dla większych prędkości taboru itd. również w krótszych okresach [13].

Ponadto kluczową kwestią dla poprawy wykrywalności pęknięć jest zmniejszenie subiektywnego aspektu

badania, czyli m.in. umiejętności badających i stopnia ich koncentracji w zmiennych warunkach, co osiągnąć można dzięki mechanizacji i automatyzacji, zamiast wykonywania badań manualnych [np. 19,20].

### Zjawiska wpływające na obniżenie wykrywalności pęknięć

Istnieje wiele zjawisk, które w znaczący sposób wpływają na obniżenie prawdopodobieństwa wykrywania pęknięć w osiach. Stosowane do określania czułości badania ultradźwiękowego reflektory odniesienia mają kształt idealnego naroża prostokątnego nacinanego prostopadle do osi symetrii osi, w ściśle określonej odległości od powierzchni czołowej osi (rys. 7) [14].



Rys. 7. Lokalizacja reflektorów odniesienia (ciągłe grube linie) w osiach wagonowych wg zaleceń BN-77/3518-02/04 [14]

Fig. 7. Location of reference reflector (thick continuous lines) in the axles of railway wagons acc. to BN-77/3518-02/04 recommendations [14]

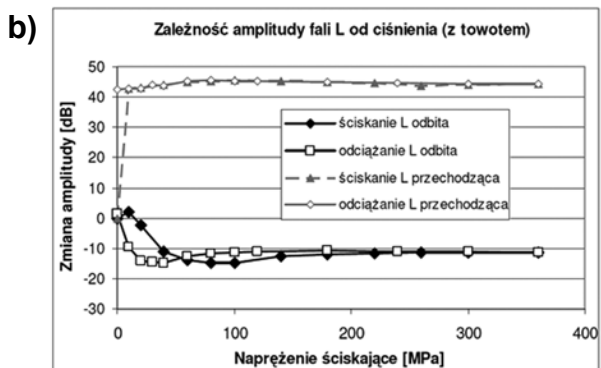
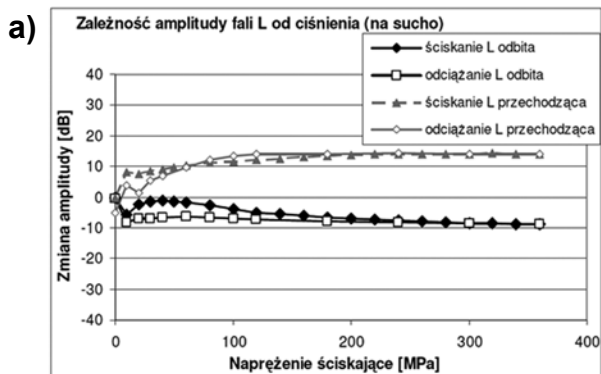
W rzeczywistości pęknięcia zmęczeniowe rozwijają się zwykle pod pewnym kątem do powierzchni zewnętrznej i usytuowane są w różnych innych niż przyjęto dla wzorców odległościach od czoła osi (rys. 5, 7, 8). Co więcej, powierzchnia przelomu zmęczeniowego jest zwykle chropowata z prążkami zmęczeniowymi, o kształcie odbiegającym od płaskiego (rys. 1÷3, 8) [16]. Takie usytuowanie oraz stan powierzchni pęknięcia wpływa istotnie na obniżenie amplitudy odbitej wiązki fali ultradźwiękowej. Ponieważ powierzchnie pęknięcia zmęczeniowego ulegają podczas eksploatacji docieraniu i wygładzeniu w trakcie cyklicznych naprężeń, warunki odbicia fali ulegają dalszemu pogorszeniu w porównaniu do wzorcowego ostrego nacięcia mechanicznego wypełnionego powietrzem [8].



Rys. 8. Przelom zmęczeniowy czopa osi kolejowej zainicjowany pod kątem ok. 20°

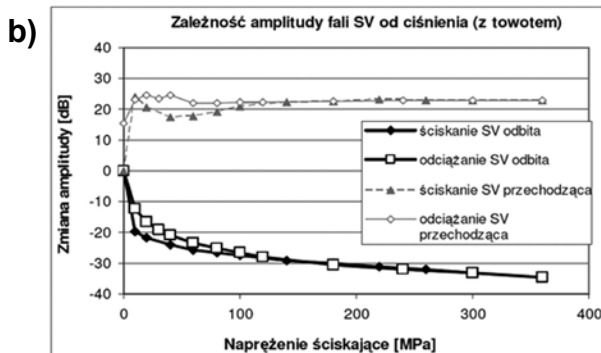
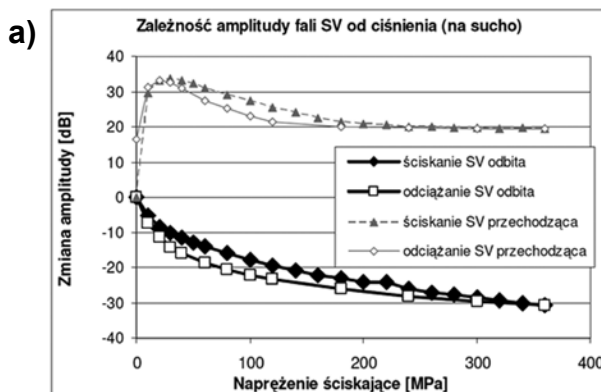
Fig. 8. Fatigue fracture of a railway axle pin initiated at an angle of approximately 20°

Jako istotne zacytować tu należy wyniki pracy [15], w której na modelu symulującym granicę styku np. ośpiasta wykonano pomiary wpływu naprężeń ściskających na powierzchni styku na sucho i z towotem – na wartości współczynników odbicia i przenikania dla fal podłużnych wysyłanych pod kątem 27° (odpowiednik techniki UT-L) oraz fal poprzecznych pod kątem 45° (technika UT-T) – rysunki 9, 10.



Rys. 9. Zmiana amplitudy fali podłużnej odbitej i przechodzącej przez powierzchnię styku próbek stalowych w funkcji naprężeń ściskających: a) na sucho, b) z towotem [15]

Fig. 9. Change of the amplitude of a longitudinal wave reflected and passing through the contact surface of steel samples as a function of compressive stress: a) dry, b) with lubricant acc. to [15]



Rys. 10. Zmiana amplitudy fali poprzecznej odbitej i przechodzącej przez powierzchnię styku próbek stalowych w funkcji naprężeń ściskających: a) na sucho, b) z towotem [15]

Fig. 10. Change of the amplitude of a transverse wave reflected and passing through the contact surface of steel samples as a function of compressive stress: a) dry, b) with lubricant acc. to [15]

Analiza wyników pomiarów zestawionych na rysunkach 9 i 10 wskazuje, że zarówno dla fali podłużnej, jak i poprzecznej, tak na sucho, jak i z towotem, ze wzrostem naprężeń ściskających następuje spadek amplitudy fali odbitej, przy czym efekt ten jest wyraźniejszy dla fali poprzecznej. Co istotne, spadki amplitud fali odbitej zachodzą przy znacznie niższych ciśnieniach dla próbek ściskanych z towotem, niż dla próbek ściskanych na sucho. I tak np. dla naprężeń ściskających o wartości 100 MPa – na sucho amplituda ulega obniżeniu dla fali podłużnej o 5 dB, a dla fali poprzecznej o 20 dB, natomiast z towotem dla fali podłużnej amplituda spada o 13 dB, a dla fali poprzecznej o 28 dB. Jako skutek pojawia się silna fala przenikająca, tak podłużna, jak i poprzeczna. Pomierzony efekt może mieć zastosowanie dla przypadku padania fal podłużnych i poprzecznych na obszar pęknięcia zmęczeniowego osi, który poddany jest zwykle działaniu naprężeń ściskających pochodzących od naprężeń wciskowych wywieranych przez piastę koła czy obciążenia tulei łożyska, a do obszaru pęknięcia często przedostaje się smar lub woda. Dla silnie zaciśniętego pęknięcia zmęczeniowego (mogą tu również oddziaływać naprężenia własne związane z technologią wytwarzania osi) o geometrii zbliżonej do naroża prostokątnego padająca ultradźwiękowa fala zarówno poprzeczna, jak i podłużna doznaje podwójnego istotnego osłabienia, tak podczas padania na granicę pęknięcia jak i na granicę os-piasta lub pierścień łożyska.

Próbę ilościowej oceny skuteczności wykrywania pęknięć zmęczeniowych dla osi pełnych przy rutynowych badaniach od czoła i z powierzchni bocznej osi, przy uwzględnieniu efektów pokazanych na rysunkach 9 i 10, ale bez uwzględnienia rzeczywistej geometrii i rzeczywistego usytuowania pęknięć oraz bez uwzględnienia przenikania fali przez szczelinę pęknięcia, przeprowadzono w pracy [8]. Wyniki wykonanych obliczeń wskazują na zdecydowanie najlepszą skuteczność wykrywania pęknięć zmęczeniowych z powierzchni bocznych osi głowicami fal poprzecznych o kątach załamania 45° i nieco niższą dla kąta 55°, dla pęknięć usytuowanych na powierzchniach swobodnych osi, przy czym wykrywalność ta drastycznie maleje dla pęknięć usytuowanych pod elementami osadzonymi na osi (piasty kół).

Oprócz wskazanych powyżej czynników, na wykrywalność pęknięć w osiach ma wpływ występowanie ech pozornych i ech związanych z geometrią osi [8], jak również ech powstających po wnikięciu fali do koła i odbitych: od krawędzi piasty, promienia przejścia piasta-koło i tarcza-koło, jak również z obszaru otworu lub rowka olejowego koła [16]. Biorąc pod uwagę aktualne profile eksploatowanych osi, różniące się niekiedy znacząco od nominalnych w wyniku prowadzonych remontów i napraw, widać jak trudne zadanie stoi przed badającymi, stosującymi do określania nastaw aparatury tzw. osie wzorcowe z nacięciami wzorcowymi, lub wykorzystującymi jedynie informację o geometrii osi na podstawie dokumentacji technicznej [np. 17].

## Wnioski

Analiza dostępnych danych dotyczących wykolejenia pojazdów szynowych spowodowanych zmęczeniowym pęknięciem osi zestawu kołowego, dla 50% takich przypadków zarejestrowanych w latach 2011-2012 wskazuje, że pomimo wykonanych przed terminem wystąpienia dekohezji osi badań defektoskopowych, niekiedy kilka miesięcy przed wypadkiem, pęknięcia zmęczeniowe o bardzo dużych rozmiarach nie zostały wykryte. Na tej podstawie, pomimo statystycznie niewielkiej liczby danych można sformułować wniosek, że dla znaczącej liczby badań defektoskopowych prowadzonych techniką ultradźwiękową pęknięcia o znacznych wymiarach mogą nie być wykrywane.

Analiza najistotniejszych czynników mających wpływ na wykrywalność pęknięć zmęczeniowych dla osi pojazdów szynowych dała podstawę do opracowania zaleceń dotyczących prowadzenia badań defektoskopowych osi, których wykorzystanie może mieć znaczący wpływ na wykrywalność pęknięć.

Istotne dane dotyczące wszystkich przypadków występowania pęknięć na wskroś osi pojazdów

szynowych powinna gromadzić jedna z instytucji zajmujących się w Polsce bezpieczeństwem transportu kolejowego. Obecnie gromadzi się jedynie dane dotyczące liczby zaistniałych przypadków pęknięć skutkujących wykolejeniem pojazdu szynowego. Dane powinny zawierać: typ osi, ekspertyzy mające na celu wyjaśnienie przyczyn powstania pęknięć, dokładną lokalizację pęknięć, terminy i wyniki wykonanych badań nieniszczących wraz z określeniem zastosowanych technik badawczych i uprawnień personelu.

Jednocześnie powinna zostać stworzona baza danych dotycząca osi wyłączonych z eksploatacji na podstawie wykonanych badań nieniszczących, która zawierać powinna informacje odnośnie do: typu osi, dokładnej lokalizacji i rozmiarów wykrytych pęknięć, terminów i wyników wykonanych badań nieniszczących wraz z określeniem zastosowanych technik badawczych i uprawnień personelu. Takie wycofane z eksploatacji osie z pęknięciami powinny być wykorzystane jako próbki odniesienia do weryfikacji nastaw czułości aparatury ultradźwiękowej. Zgromadzenie odpowiednio dużej liczby takich osi może posłużyć do zweryfikowania geometrii nacięć wzorcowych w stosowanych próbkach odniesienia.

Ze względu na stwierdzoną największą wykrywalność pęknięć w osiach metodą magnetyczno-proszkową, w przypadku częściowego lub całkowitego demontażu osi i zamontowanych na niej elementów, dla wszystkich dostępnych obszarów osi należy wykonywać badania z zastosowaniem ww. metody.

Jako technika o najmniejszej wykrywalności pęknięć nie jest rekomendowane wykonywanie badań uproszczonych metodą ultradźwiękową od czoła osi bez demontażu łożysk [13].

W związku z możliwością rozwoju pęknięć zmęczeniowych pod różnymi kątami do powierzchni zewnętrznej osi, badania techniką ultradźwiękową należy prowadzić dla każdego obszaru występowania pęknięć, z dwóch różnych pozycji usytuowania głowicy [16, 18].

Osie, dla których korekta ze względu na straty przeniesienia  $\geq 12$  dB, nie mogą być badane

techniką ultradźwiękową. Osie takie po całkowitym demontażu (w tym łożysk i kół) należy poddać badaniu metodą magnetyczno-proszkową [16].

Podwyższenie prawdopodobieństwa wykrywania mniejszych pęknięć można osiągnąć przez odpowiedni dobór okresów pomiędzy prowadzonymi badaniami nieniszczącymi przy zastosowaniu kombinacji metod badawczych, a także przez stosowanie badań UT, wraz z obligatoryjnymi badaniami MT przy całkowitym demontażu osi (z demontażem łożysk i kół) stosowanymi nie rzadziej niż podczas naprawy rewizyjnej lub części.

Kluczową kwestią dla poprawy wykrywalności pęknięć jest zmniejszenie subiektywnego aspektu badań, czyli m.in. umiejętności badających i stopnia ich koncentracji w zmiennych warunkach, co można osiągnąć dzięki mechanizacji i automatyzacji, zamiast wykonywania badań manualnych [np. 19, 20].

## Literatura

- [1] Sekerasova V.: Badania nieniszczące w kolejach czeskich. XVIII Seminarium. Nieniszczące Badania Materiałów. IPPT PAN, PTBN, Zakopane 2012.
- [2] Wyrok wstępny z uzasadnieniem nr VIII GC 215/13 z dn. 08.05.2014 Sądu Okręgowego w Szczecinie Wydział VII Gospodarczy, związanego ze szkodami w wysokości 2.494.842,10 zł, spowodowanymi wykolejeniem pociągu w wyniku złamania osi zestawu kołowego.
- [3] Pismo Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego Wiesława Jarosiewicza. Symbol TTN-512-129/JN/09 z dn. 09.10.2009.
- [4] Antoniak Ł.: Ekspertyza przyczyn pęknięcia osi zestawu kołowego wagonu typu 125A. Instytut Kolejnictwa w Warszawie. Praca nr 454/22, kwiecień 2012.
- [5] Soboś M.: Ekspertyza uszkodzonej osi zestawu kołowego wagonu węglarki typu 437Wa (serii Eaos). Instytut Pojazdów Szynowych TABOR w Poznaniu. Praca nr OR-10199, lipiec-wrzesień 2012.
- [6] Kocańda S., Szala J.: Podstawy obliczeń zmęczeniowych. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 1997.
- [7] BN-3518-02/00-16:1975-86 – Nieniszczące metody badań, Badania ultradźwiękowe osi zestawów kołowych.
- [8] Hottowy G.: Możliwości wykrywania pęknięć zmęczeniowych w osiach pojazdów szynowych z wykorzystaniem ultradźwiękowych fal transformowanych. XIX Seminarium – Nieniszczące Badania Materiałów. Zakopane 12-15 marca 2013.
- [9] Szelażek J.: Wykrywanie pęknięć osi kolejowych metodą ultradźwiękową. XX Seminarium Nieniszczące Badania Materiałów. Zakopane 12-14 marca 2014.
- [10] Zerbst U., Schödel M., Beier H.Th.: Parameters affecting the damage tolerance behavior of railway axles. Engineering Fracture Mechanics 2011, Vol. 78, s. 793-809.
- [11] Benyon J.A., Watson A.S.: The use of Monte-Carlo analysis to increase axle inspection interval. Proceedings of the 13th int. Wheelset congress, Rome, Italy 2001.
- [12] Beretta S., Carboni M., Rudlin J., Wej L.: Damage tolerance and design review for the axles of a high speed train. Engineering Fracture Mechanics. Special issue on ESIS TC 24 Workshop on the Damage Tolerance of Railway Axles. Milan, October 13-14, 2008.
- [13] Carboni M., Beretta S.: Effect of probability of detection of inspection intervals for railway axles. Proc. Inst. Mech. Engrs., Part F: J. Rail Rapid Transp. 2007; 221:409-17.
- [14] Hottowy G., Jawor R.: Wykrywanie pęknięć zmęczeniowych metodą ultradźwiękową w osiach pojazdów szynowych. Zeszyty Problemowe. Badania nieniszczące. Materiały 40 KKBN. Nr 16. Warszawa, październik 2011.
- [15] Szelażek J., Grzywina P., Gutkiewicz P., Mackiewicz S.: Zjawiska wpływające na wykrywalność pęknięć zmęczeniowych w eksploatacyjnych badaniach ultradźwiękowych osi kolejowych. Mat. XVIII Seminarium – Nieniszczące Badania Materiałów. Zakopane, marzec 2012, s. 37-49.
- [16] Instrukcje VPI 09 – Konserwacje wagonów towarowych. Badania nieniszczące. Vereinigung der Privatgüterwagen – Interessenten VPI. Wyd. 3, Hamburg, 19.10.2011.
- [17] PKP Intercity S.A. – 4249/22-IC. Instrukcja badań defektoskopowych osi zestawów kołowych dla lokomotyw serii SM48, SM31, SM42, EM10, EU/EP07, ET22 ET41 I ET42. CNTK w Warszawie. Zatwierdzona do stosowania 05.11.2009.
- [18] DIN 27201-7:2013-04 Zustand der Eisenbahnfahrzeuge – Grundlagen und Fertigungstechnologien – Teil 7: Zerstorungsfreie Prüfung.
- [19] Pieńczuk A., Michnowski W.: Czy potrafimy poradzić sobie z problemem pękających osi zestawów kołowych. Dozór Techniczny Nr 1. Warszawa 2012.
- [20] Michnowski W., Mierzwa J., Machała P., Uchroński P.: Automatyczne badanie kolejowych osi drażonych. Przegląd Spawalnictwa. Nr 12/2013. Warszawa 2013.