

Problematyka prowadzenia głowic ultradźwiękowych w trakcie badań kolejowymi pojazdami pomiarowymi

Problems with using ultrasonic heads during tests with railway measuring vehicles



Leszek Chałko

Dr inż.

Uniwersytet Radomski

leszek.chalko@urad.edu.pl
ORCID: 0000-0002-6179-1091



Łukasz Antolik

Mgr inż.

Instytut Kolejnictwa

lantolik@ikolej.pl
ORCID: 0000-0002-1876-3319

Streszczenie: W artykule przedstawiono główne powody skutkujące koniecznością zaprojektowania systemu do szybkich badań defektoskopowych szyn w eksploatacji. Omówiono sposób realizacji badań eksperymentalnych ukierunkowanych na określenie warunków irygacji. W wyniku eksperymentu zarejestrowano dane, które poddano obróbce statystycznej i zdefiniowano zależności spadku echa dna w funkcji wydatku, prędkości i siły docisku $dKd(V,F,Q)$, na podstawie których możliwe było przygotowanie zestawu rekomendacji w zakresie tychże parametrów. Przeprowadzony eksperyment wykazał szczególną konieczność zapanowania nad cechami reologicznymi cieczy sprzęgającej.

Słowa kluczowe: Badania ultradźwiękowe; Wysoka prędkość; Sprzężenie akustyczne; Warstwa sprzęgająca; Siła docisku

Abstract: The article presents the main reasons resulting in the need to design a system for rapid defectoscopic testing of rails in service. The method of implementation of experimental tests aimed at determining the conditions of irrigation was discussed. As a result of the experiment, the data were collected and statistically processed. The relationships of bottom echo drop as a function of discharge, velocity and clamping force $dKd(V,F,Q)$ were defined. Based on that the set of recommendations for these parameters were prepared. The experiment carried out showed a particular need to control the rheological characteristics of the coupling fluid.

Keywords: Ultrasonic testing; High speed; Acoustic coupling; Acoustic layer; Clamping force

Wstęp

Głównym priorytetem utrzymania infrastruktury kolejowej jest bezpieczeństwo, a w stosunku do nawierzchni kolejowej jest zapewnienie integralności szyny kolejowej. W celu wykrycia potencjalnych uszkodzeń na wczesnym etapie ich powstawania i rozwoju, gdy jeszcze nie stanowią istotnego zagrożenia dla bezpieczeństwa prowadzone są badania prewencyjne z zastosowaniem defektoskopii ultradźwiękowej. Piesze zespoły defektoskopowe prowadzą okresowe kontrole z zastosowaniem wózków defektoskopowych widocznych na rys. 1. z prędkością do 4km/h. Szybszym i bardziej wydajnym rozwiązaniem jest wykonywanie badań pojazdami diagnostycznymi, w któ-

rych obecnie stosowana aparatura pozwala prowadzić kontrolę szyn z prędkościami maksymalnie 60 km/h a optymalnie do około 50km/h. Na rys. 2. przedstawiono pojazd diagnostyczny DPD 660 będący w posiadaniu PLK SA.

Już dziś prędkości rozkładowe pociągów pasażerskich wynoszą 160km/h, pociągów ekspresowych osiągają 200km/h, a niebawem przyspieszą do 250 km/h [2]. Na większości linii kolejowych o znaczeniu magistralnym lub pierwszorzędym pociągi kursują przez większość doby statystycznie co kilkanaście, kilkadziesiąt minut. W warunkach rozkładowych pojazd pomiarowy ma utrudnione warunki przemieszczania więc nie może wykonywać efektywnej pracy z uwagi na blokowanie



1. Ultradźwiękowe badanie defektoskopowe szyn w torze wózkiem ręcznym jednotokowym



2. Drezyna pomiarowa PLK SA. typ DPD-660 z wózkiem do badań ultradźwiękowych szyn

szlaku i związane z tym częste postoje, trwające niejednokrotnie nawet kilka godzin. Z kolei praca zespołów ręcznych, choć niezastąpiona i właściwie zabezpieczona, jest obarczona znacznym ryzykiem wystąpienia wypadku.

Rozwiązaniem zaistniałego problemu jest podniesienie prędkości badania ultradźwiękowego szyn kolejowych w torze prowadzonego kolejowymi pojazdami pomiarowymi. Ponieważ dostępne rozwiązania są niewystarczające, a w literaturze światowej nie odnajdzie się wiedzy w tym zakresie, Instytut Kolejnictwa wraz z partnerami naukowymi i przemysłowymi prowadzi prace badawczo-wdrożeniowe nad przygotowaniem dedykowanego syste-

mu badawczego. Wybrane wyniki przeprowadzonych testów i badań naukowych przedstawiono w niniejszym artykule.

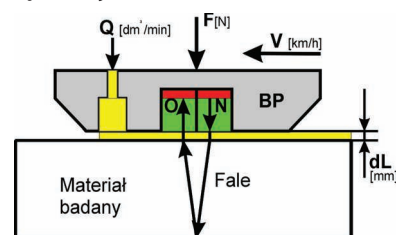
Metodyka badawcza

Dla prawidłowej interpretacji wyników ultradźwiękowego badania defektoskopowego ważne jest uzyskanie stabilnych warunków sprzężenia [1]. Dotychczas stosowane tradycyjne metody oceny wyników, wykrywania wad, oparte są na porównaniu wartości sygnału odbitego od "wady" z wartością (poziomem) sygnału referencyjnego. Przy badaniach szybkich szyn kolejowych eksploatowanych, nieuchronnym jest występowanie zjawisk pogarszających jakość odbie-

ranych sygnałów. Ograniczenie tych fluktuacji stanowi jedno z większych wyzwań przy podnoszeniu prędkości skanowania ultradźwiękowego i jest kluczowe w procesie oceny uzyskiwanych wyników.

Istotą badań ultradźwiękowych jest wprowadzenie wygenerowanego w przetworniku sygnału do badanego materiału i odebranie odbitej w nim fali ultradźwiękowej (rys. 3). Na tej pozornie łatwej drodze, w przypadku osiągnięcia prędkości powyżej 100 km/h stoi wiele ograniczeń wynikających z pogranicza fizyki, mechaniki i reologii.

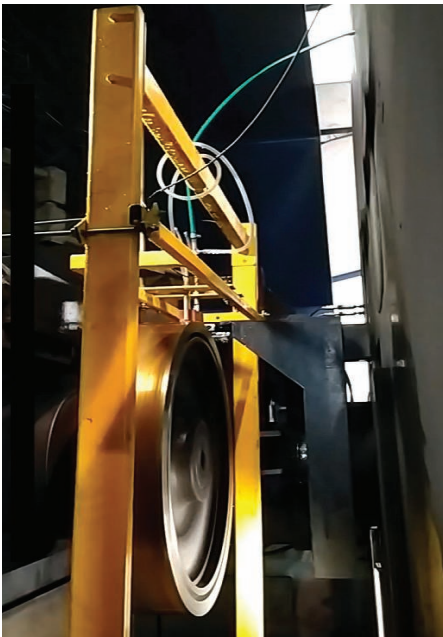
Jak przedstawiono na rys. 3 pomiędzy przesuwający się z zadaną prędkością V blok przetworników BP podawana jest ciecz sprzęgająca Q . Ciecz sprzęgająca wypełnia szczelinę pomiędzy materiałem badanym i BP tym samym umożliwiając przekazywanie energii generowanej w przetworniku nadawczym N fali ultradźwiękowej do materiału badanego.



3. Schemat badania zastosowany w eksperymencie. BP - blok przetworników; Q - wydatek cieczy sprzęgającej; F - siła docisku; V - prędkość przesuwu, O - odbiornik sygnału przetwornika ultradźwiękowego, N - generator sygnału przetwornika ultradźwiękowego, dL - odległość pomiędzy powierzchnią materiału badanego a BP (grubość filmu cieczy sprzęgającej)

Tab. 1. Analiza statystyczna wyników pomiarów

Oceny efektów ; Zmn.:dKd [dB]; R ² = 0,73982; Popr:0,71056 Resztowy MS=3,670468;										
	Efekt	Bł. std.	t(80)	p	-95,00% Gran. Ufn	95,00% Gran. Ufn	Wsp.	Bł. std. Wsp.	-95,00% Gran. Ufn	95,00% Gran. Ufn
Średn./Stała	-3,252	0,783	-4,155	0,000	-4,810	-1,694	-3,252	0,783	-4,810	-1,694
(1)V [km/h](L)	-7,674	0,633	-12,117	0,000	-8,934	-6,414	-3,837	0,317	-4,467	-3,207
V [km/h](Q)	-1,996	1,104	-1,808	0,074	-4,193	0,201	-0,998	0,552	-2,097	0,101
(2)F [N](L)	1,926	0,854	2,254	0,027	0,225	3,626	0,963	0,427	0,113	1,813
F [N](Q)	-1,467	2,287	-0,641	0,523	-6,019	3,086	-0,733	1,144	-3,009	1,543
(3)Q [dm ³ /min](L)	-2,173	1,079	-2,013	0,047	-4,320	-0,025	-1,086	0,540	-2,160	-0,013
Q [dm ³ /min](Q)	-6,834	2,308	-2,961	0,004	-11,427	-2,242	-3,417	1,154	-5,714	-1,121
1L wz.2L	-1,357	0,870	-1,561	0,123	-3,088	0,374	-0,679	0,435	-1,544	0,187
1L wz.3L	4,805	1,291	3,722	0,000	2,236	7,374	2,403	0,646	1,118	3,687
2L wz.3L	7,911	2,385	3,317	0,001	3,165	12,658	3,956	1,193	1,582	6,329

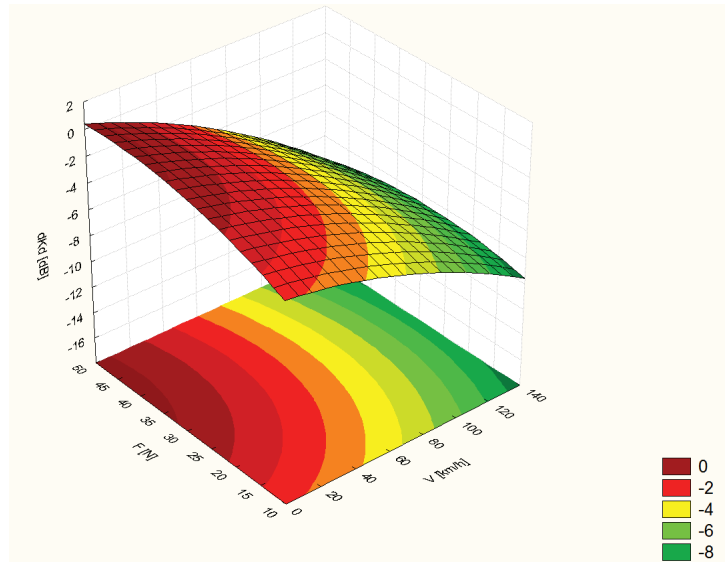


4. Stanowisko do badań wpływu zmian parametrów pracy układu BP na parametry użytecznego sygnału ultradźwiękowego

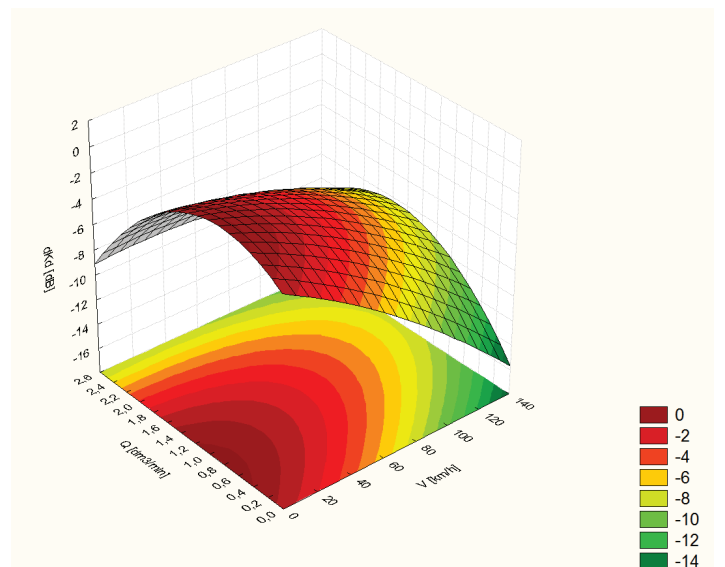
Fala po odbiciu od przeciwległej (na rys. 3 dolnej) powierzchni powraca i jest rejestrowana przez odbiornik O. Straty energii wynikające z transmisji fal na granicach przetwornik - ciecz sprzęgająca - materiał badany zależą w znacznym stopniu od jakości tj. ciągłości i grubości filmu sprzęgającego. Przy założeniu niezmienności kształtów powierzchni badanej oraz ukształtowania BP warstwa dL będzie zależna od prędkości przesuwu V , siły docisku F oraz wydatku Q cieczy sprzęgającej co poddano badaniu na specjalnie przygotowanym do tego celu stanowisku przedstawionym na rys. 4. W tym celu wykorzystano specjalnie przygotowany reflektor nieskończony, który można było przesuwać poprzez realizację obrotu koła z wybraną prędkością obrotową w celu symulacji przesuwu głowicy pomiarowej po materiale badanym.

Omówienie wyników

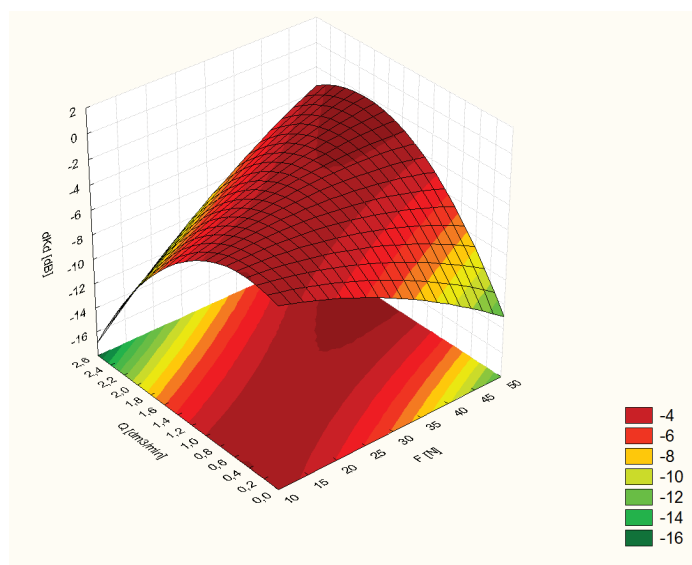
W ramach przeprowadzonych eksperymentów wykonano szereg prób, podczas których zarejestrowano zmiany wartości sygnału dKd echa dna (sygnału odbitego od przeciwległej powierzchni obiektu badanego) w funkcji prędkości, siły docisku i wy-



5. Graficzna zależność wartości sygnału echa dna dKd od prędkości V i siły docisku F bloku przetworników ultradźwiękowych



6. Graficzna zależność wartości sygnału echa dna dKd od prędkości V i wydatku cieczy Q podawanej pod blok przetworników ultradźwiękowych



7. Graficzna zależność wartości sygnału echa dna dKd od siły docisku F i wydatku cieczy Q podawanej pod blok przetworników ultradźwiękowych, dla $V=120\text{km/h}$

datku cieczy sprzęgającej $dKd(V,F,Q)$.

W efekcie obróbki statystycznej (tab. 1) rezultatów pomiarów przeprowadzonych zgodnie z planem eksperymentu otrzymano równanie regresji wielowymiarowej (1) opisujące badaną zależność:

$$\begin{aligned} dKd(V,F,Q) = & -0,325 - 7,674V - 1,996V*V \\ & + 1,926F - 1,467F*F - 2,173Q \\ & - 6,834Q*Q + \\ & - 1,357V*F + 4,805V*Q + 7,911F*Q \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

dKd - spadek sygnału echa dna względem referencyjnego [dB],
 V - prędkość przesuwu BP [km/h],
 F - siła docisku BP [N],
 Q - wydatek cieczy sprzęgającej [dm³/min].

Otrzymane równanie regresji potwierdziło oczekiwany, znaczny (-7,674V-1,996V*V) negatywny wpływ wzrostu prędkości przesuwu BP względem obiektu badanego na wartość odbieranego poziomu sygnału ultradźwiękowego. Stwierdzono mniej jednoznaczny wpływ oddziaływania siły docisku F (+1,926F -1,467F*F) niezależnie od zmian prędkości V i wydatku Q cieczy sprzęgającej. Zmiana wydatku cieczy sprzęgającej Q (-2,173Q -6,834Q*Q) rozpatrywana samodzielnie pogarsza warunki przepływu energii fali ultradźwiękowej pomiędzy BP i materiałem badanym, jednakże możliwe jest ustalenie parametrów zależnych tj. prędkości V i siły docisku F (+4,805V*Q +7,911F*Q) przy których widoczny jest korzystny wpływ zmiany wydatku Q na wartość odbieranych sygnałów. Pozytywny wpływ synergii V i Q (+4,805V*Q) przy stałej wartości F można objaśnić wzrostem zapotrzebowania na ciecz sprzęgającą wraz ze wzrostem prędkości czyli długości filmu tworzonego w danym odcinku pokonywanej drogi w czasie. W trakcie badań przy skrajnie wysokich prędkościach skanowania

(140 km/h) zaobserwowano zjawisko spadku wartości Kd wynikające ze zbyt małych wartości wypływu cieczy. Z kolei współdziałanie F oraz Q (+7,911F*Q) pozytywnie oddziałuje na zjawiska reologiczne zachodzące w cieczy sprzęgającej przez co pozwala uzyskać cieńszą, bardziej jednorodną i odporną na przepływ turbulentny oraz stabilną warstwę filmu sprzęgającego, zwłaszcza przy prawidłowym ukształtowaniu krawędzi natarcia BP co potwierdziły przeprowadzone doświadczenia.

Graficzne zobrazowanie funkcji regresji zapisanej w równaniu (1) stanowią wykresy (rys. 5-7).

Podsumowanie

Rezultatem przeprowadzonych prac jest określenie rekomendacji dotyczących parametrów prowadzenia dalszych badań nad stworzeniem ultradźwiękowego systemu pomiarowego zdolnego do skutecznej diagnostyki szyn kolejowych z prędkościami do 120km/h. Widoczne na wykresach lokalne maksima wartości potwierdziły skuteczność zastosowanej metody i właściwy dobór zakresów zmienności badanych parametrów. Jak wynika z przedstawionego równania i wykresów, wraz ze wzrostem prędkości skanowania należy dążyć do podawania wydatku Q cieczy sprzęgającej z jednoczesnym utrzymaniem siły docisku F o wartościach zapewniających grubość warstwy filmu sprzęgającego uniemożliwiającą zachodzenie zjawiska kawitacji i turbulentnego przepływu cieczy.

Wyniki pomiarów potwierdziły możliwość uzyskania zadowalającego poziomu strat energii odbieranego echa sygnału ultradźwiękowego (dKd) pomimo zwiększenia prędkości pomiaru do 120km/h (ponad 33m/s) względem warunków statycznych. Utrzymanie oczekiwanej jakości odbieranego sygnału jest możliwe między innymi przez zapewnienie

właściwego sprzężenia akustycznego drogą optymalizacji sposobu doprowadzenia i wydatku Q cieczy sprzęgającej jak i wartości docisku zoptymalizowanej między innymi dla wybranego zakresu prędkości skanowania.

Niniejsze badania potwierdzają istnienie możliwości podwojenia prędkości badania przy zachowaniu akceptowalnych poziomów spadku sygnału dKd w drodze sterowania wartościami Q i F .

Badania zostały zrealizowane w ramach projektu badawczego nr BRIK-II/0013/2022 pt. „Innowacyjne rozwiązanie umożliwiające realizację badań defektoskopowych szyn przy prędkości od 60 km/h do 120 km/h”, nr BRIK2/0013/2022, finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju i PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia BRIK II. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Chalko L., Antolik L., Machala P., Uchronski P., „Problematyka zapewnienia sprzężenia akustycznego głowic ultradźwiękowych kolejowego wagonu inspekcyjnego poruszającego się z prędkościami powyżej 80 km/h”, Badania Nieniszczące i Diagnostyka - Nondestructive Testing and Diagnostics 3-4, str. 35-41, 2024,
- [2] Engelhardt J., „Planowany układ przestrzenny linii kolejowych dużych prędkości w Polsce”, Przegląd Komunikacyjny – Transportation Overview Journal, 11/2022, str. 8-15.