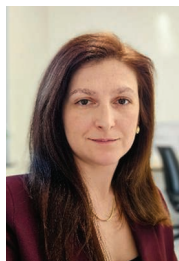


Charakterystyka infradźwięków generowanych przez pojazdy szynowe

Characteristics of Infrasound Generated by Rail Vehicles



Natalia Karkosińska-Brzozowska

Mgr inż.

Politechnika Gdańska
Katedra Inżynierii Transportowej

natalia.brzozowska@pg.edu.pl
ORCID: 0000-0002-5485-025X

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki pomiarów sygnałów akustycznych w paśmie infradźwiękowym generowanych przez różne typy pojazdów szynowych. Badania zostały wykonane na peronie kolejowym i obejmowały takie fazy ruchu pociągu jak hamowanie, postój oraz rozruch. W artykule przedstawiono wyniki analiz w dziedzinie czasu oraz wyniki analiz czasowo-częstotliwościowych. Wskazano największe wartości amplitud zarejestrowanych podczas postoju pojazdu z rozróżnieniem typu badanej jednostki. Wyniki przeprowadzonych badań podkreślają konieczność prowadzenia prac w zakresie pomiarów i analizy sygnałów akustycznych w transporcie kolejowym w paśmie infradźwiękowym. Dodatkowo, brak przepisów regulujących dopuszczalne poziomy infradźwięków generowanych przez pociągi wpływa na konieczność opracowania regulacji w tym zakresie.

Słowa kluczowe: Infradźwięki; Badania hałasu; Pojazdy szynowe

Abstract: The article presents the results of acoustic signal measurements in the infrasound range generated by various types of rail vehicles. The measurements were conducted on a railway platform and covered several phases of train operation, including braking, idling, and departure. The study includes both time-domain and time-frequency analyses. The highest amplitude values were observed during vehicle idling, with clear differences identified between the examined vehicle types. The results emphasize the need for continued research on the measurement and analysis of infrasound in railway transport. Furthermore, the lack of regulations specifying permissible infrasound levels generated by trains demonstrates the necessity of developing appropriate standards in this field.

Keywords: Infrasound; Noise measurements; Rail vehicles

Wstęp

Hałas infradźwiękowy to hałas, którego widmo jest zawarte w paśmie częstotliwości od 1 Hz do 20 Hz [17]. Ludzie mogą odbierać dźwięki o częstotliwości poniżej 20 Hz jako serię nieciągłych impulsów. Przy wyższych poziomach natężenia może pojawiać się uczucie ciśnienia w uchu oraz wibracje odczuwalne w różnych częściach ciała. Ekspozycja na infradźwięki może wywoływać dokuczliwość, senność lub problemy z koncentracją, a odczuwanie tych skutków pojawia się przy poziomach powyżej progu słyszalności [11, 13]. Pierwsze badania infradźwięków oraz ich wpływu na człowieka były prowadzone już od 1972 roku [1]. Dotyczyły one infradźwięków powodowanych przez środki transportu, takie jak samochody i autobusy, a także występujących na różnych stanowiskach pracy w przemyśle [1, 19]. Ostatnie badania nad infradźwiękami

skupiają się na ich poziomie w budynkach mieszkalnych oraz w pobliżu farm wiatrowych [3, 7], a także na ich wpływie na kierowców i pasażerów autobusów [8, 21].

Badania infradźwięków na kolei były prowadzone głównie w kontekście tuneli i wykazały, że przejazd pociągów przez tunele prowadzi do generowania infradźwięków poprzez mechanizmy turbulencyjne oraz fale ciśnienia [9, 20]. Prowadzono również pomiary infradźwięków wewnątrz pojazdów, mające na celu analizę wpływu hałasu i drgań na obsługę pociągów oraz pasażerów [5, 10, 21]. Analiza literatury wskazuje ponadto na nieliczne prace dotyczące infradźwięków pochodzących od przejeżdżających pociągów i ich wpływu na środowisko [2].

Wciąż brakuje jednak kompleksowych badań nad infradźwiękami generowanymi przez przejeżdżające pociągi, co skutkuje brakiem pełnej wiedzy na

temat ich intensywności, rozprzestrzeniania się oraz wpływu poszczególnych elementów infrastruktury i taboru na ich powstawanie. Istniejące kryteria oceny hałasu infradźwiękowego znacznie różnią się między krajami [14]. W Polsce obowiązują normy, takie jak [17] dotycząca pomiaru infradźwięku na stanowiskach pracy oraz [15] odnosząca się do emisji hałasu wewnątrz kabin maszynisty. Na uwagę zasługuje fakt, że w 2022 roku norma [15] została zastąpiona przez [16], w której usunięto zapis dotyczący hałasu infradźwiękowego. Brakuje również norm dotyczących badania infradźwięków od przejeżdżających pociągów w tzw. teście pass-by. Wielu badaczy podejmuje temat ustalenia dopuszczalnych poziomów infradźwięków w środowisku [14], chociaż jedynie kilka krajów (Dania, Australia, Japonia) wprowadziło limity dla infradźwięków, zwykle nieprzekraczające 85–90 dB(G) [12].



1. Lokalizacja pomiarów wraz z usytuowaniem sprzętu pomiarowego [opracowanie własne]

Szczegółowa analiza literatury wskazuje na istniejącą lukę badawczą oraz potrzebę przeprowadzenia badań infradźwięków generowanych przez pociągi o różnym typie zasilania – spalinowym i elektrycznym – na peronach wybranej linii kolejowej. Celem badań była identyfikacja sygnatur infradźwiękowych w odniesieniu do typu pojazdu szynowego oraz ocena poziomów równoważnych w paśmie infradźwiękowym z wykorzystaniem korekcji G.

Metodyka badań

W celu wykonania pomiarów natężenia poziomu dźwięku wykorzystano mikrofony infradźwiękowe typu 4193-L-004 klasy 1 o zakresie częstotliwości 0,07–20000 Hz oraz kasetę rejestrującą sygnał akustyczny typu 3050-A-060-R firmy HBK – Hottinger Brüel & Kjær. Badania przeprowadzono na czterech peronach linii kolejowej nr 248 (Pomorska Kolej Metropolitalna). Mikrofony ustawiono w odległości 2,5 m od krawędzi peronu, z czego jeden znajdował się na wysokości 0,6 m, a drugi na wysokości 2 m od poziomu peronu. Rozmieszczenie mikrofonów przedstawiono na rysunku nr 1. Wyszczególniono sześć punktów pomiarowych: po jednym na przystankach Gdańsk Strzyża i Gdańsk Kiełpiniek oraz po dwa punkty na przystankach Gdańsk

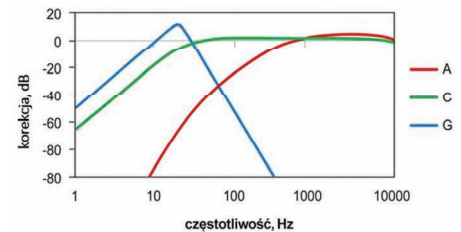
Niedźwiednik i Gdańsk Jasień. Rejestrowano cały cykl przejazdu pociągu, obejmujący wjazd, hamowanie, postój, rozruch oraz wyjazd. Podczas badań zarejestrowano ponad 100 przejazdów. Rozróżniono sześć typów pojazdów, z czego większą część stanowiły trzy typy: SA136, EN57AL oraz 36WEhb. Zestawienie liczby zarejestrowanych przejazdów poszczególnych typów pojazdów szynowych przedstawiono w tabeli nr 1.

Analiza wyników badań

W celu prowadzenia kompleksowych analiz hałasu zwykle wykorzystuje się krzywe korekcyjne, dobierane w zależności od celu badań (rys. 2). Krzywa korekcji A jest używana w ocenie hałasu słyszalnego dla człowieka i wykorzystywana m.in. w dobowych pomiarach środowiskowych, zgodnie z Rozporządzeniem [18]. Zastosowanie krzywej A powoduje silne tłumienie niskich częstotliwości. Krzywa korekcji C, stosowana między innymi w pomiarach hałasu lotniczego, tłumi pasmo poniżej 10 Hz i pozostaje niemal płaska w pozostałym zakresie częstotliwości. Natomiast stosowana w niniejszym artykule krzywa korekcji G znajduje zastosowanie w analizach pomiarów infradźwięków; charakteryzuje się maksymalną czułością w okolicach 10 Hz oraz tłumieniem

Tab. 1. Zestawienie zarejestrowanych przejazdów [opracowanie własne]

Typ pojazdu	Liczba zarejestrowanych przejazdów
SA136	46
EN57AL	15
36WEhb	30
SA138	4
SA133	2
31WEbb	3



2. Krzywe korekcji A, C i G na podstawie [4]

dźwięków powyżej 20 Hz i poniżej 1 Hz.

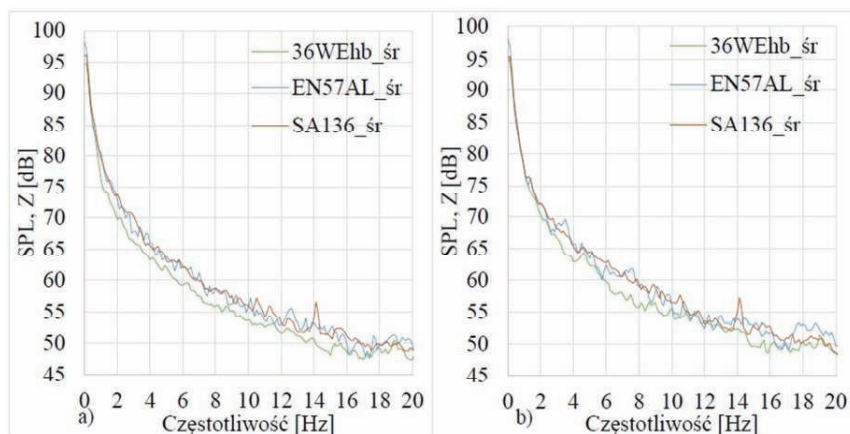
W analizie wyników obliczono uśredniony dla poszczególnych typów pojazdów równoważny poziom dźwięku L_{Eq} przejazdu z zastosowaniem korekcji G, C, A oraz Z. Zestawienie wyników dla jednego wybranego punktu pomiarowego na przystanku Gdańsk Jasień przedstawiono w tabeli nr 2. W tym punkcie pomiarowym uśredniony poziom ciśnienia akustycznego $L_{G,eq}$ dla każdego z typów pojazdów przekraczał 85 dB, natomiast we wszystkich pozostałych punktach pomiarowych wartość ta przekraczała 70 dB (G).

W kolejnym etapie analizy przeprowadzono porównanie uśrednionych widm dla różnych typów pojazdów. Na rys. 3 przedstawiono uśrednione widma dla wybranego punktu pomiarowego na peronie Gdańsk Jasień. Dla pojazdów SA136 obserwuje się wyraźny pik w zakresie 55–60 dB dla częstotliwości 14,2 Hz. Podobne wyniki uzyskano zarówno dla mikrofonu umieszczonego na wysokości 0,6 m, jak i dla mikrofonu na wysokości 2 m, a różnica w poziomie dźwięku SPL (Z) wynosi około 0,5 dB.

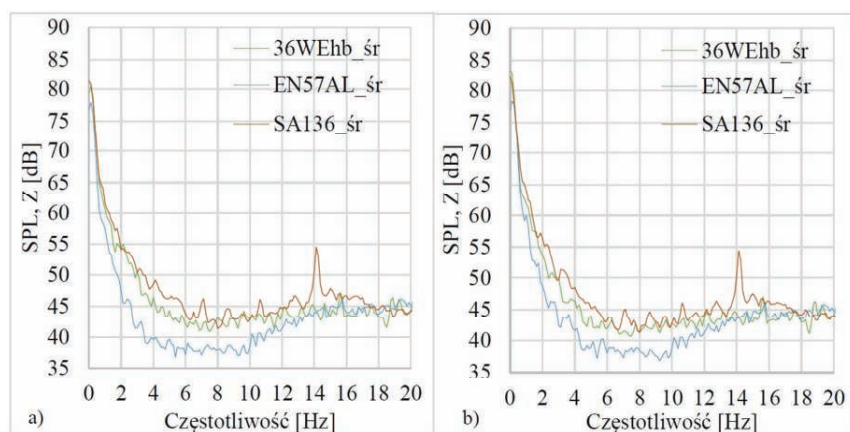
Uśrednione widma dla wybranych typów pojazdów w wybranym punkcie na peronie Gdańsk Niedźwiednik przedstawiono na rys. 4. Zakres poziomu dźwięku widma oraz jego przebieg w obu punktach pomiarowych znacznie się od siebie różni, jednak pik o częstotliwości 14,2 Hz dla pojazdów SA136 pojawia się wyraźnie w obu lokalizacjach. W pozostałych punktach pomiarowych pik ten również powtarzał się podczas przejazdu pojazdów SA136. Literatura

Tab. 3. Zestawienie wyników równoważnych poziomów dźwięku z korekcją G, C, A oraz Z

	Mikrofon 0,6 m				Mikrofon 2 m			
	L_{Geq}	L_{Ceq}	L_{Aeq}	L_{Zeq}	L_{Geq}	L_{Ceq}	L_{Aeq}	L_{Zeq}
31WEbb	91	84	75	100	88	82	76	98
EN57AL	98	89	77	106	96	87	76	105
SA136	91	83	71	101	93	84	73	101
36WEhb	89	78	66	103	95	86	74	103



3. Uśrednione widmo dla różnych typów pojazdów w wybranym punkcie pomiarowym na peronie Gdańsk Jasień a) mikrofon na wysokości 0,6 m oraz b) mikrofon na wysokości 2 m [opracowanie własne]



4. Uśrednione widmo dla różnych typów pojazdów w wybranym punkcie pomiarowym na peronie Gdańsk Niedźwiednik a) mikrofon na wysokości 0,6 m oraz b) mikrofon na wysokości 2 m [opracowanie własne]

w tym zakresie zawiera wyniki badań opisujących hałas infradźwiękowy pochodzący od silników Diesla [6]. Pik o wartości 14,2 Hz pojawia się podczas postoju, co może wskazywać na hałas pochodzący od silnika pracującego na biegu jałowym.

Na rys. 5 przedstawiono wykresy widma w funkcji czasu dla trzech typów pojazdów: SA136, 36WEhb oraz EN57AL. Na wykresie widma w funkcji czasu dla pojazdu SA136 widoczny jest wyraźny grzbiet o częstotliwości 14,2 Hz w środkowej części pomiaru, a więc w trakcie postoju.

Wnioski

Analiza wyników przeprowadzonych badań prowadzi do następujących wniosków:

- Infradźwięki w określonym zakresie mogą być użytecznym narzędziem do rozróżniania typu pojazdu szynowego, jednak wymaga to rozszerzenia prac o kolejne próby badawcze.
- Pojazdy spalinowe typu SA136 generują wyraźny pik o częstotliwości około 14,2 Hz, który nie występuje w pomiarach pojazdów elektrycznych; pik ten jest powtarzalny nie-

zależnie od wysokości mikrofonu oraz lokalizacji punktu pomiarowego.

- Zarejestrowano również harmoniczne tonu 14,2 Hz — około 27,5 Hz oraz 42,5 Hz — związane z pracą silnika Diesla na biegu jałowym.
- Analiza widm w funkcji czasu potwierdziła, że pik infradźwiękowy występuje w fazie postoju, co wskazuje na źródła pracujące na biegu jałowym.
- Poziom równoważny dźwięku z korekcją G dla każdego z badanych typów pojazdów jest najwyższy (w porównaniu z korekcją A i C). W wielu przejazdach przekracza on 85 dB(G), czyli poziom przyjmowany jako dopuszczalny w omawianych w artykule krajach.
- Sygnały akustyczne zmierzone na peronach zawierają składowe infradźwiękowe, które nie są uwzględniane przy zastosowaniu korekcji A.
- Wyniki badań wskazują, że infradźwięki generowane przez pociągi na peronach wymagają dalszych analiz, zwłaszcza ze względu na brak norm w tym zakresie.

Podziękowania

Autorka składa podziękowania Pomorskiej Kolei Metropolitalnej (PKM S.A.) za udzielenie zgody na przeprowadzenie pomiarów akustycznych na terenie infrastruktury kolejowej.

Pomiary wykonano z wykorzystaniem aparatury pomiarowej będącej na wyposażeniu Laboratorium Badań Środowiskowych w Transporcie EcoTlab przy Katedrze Inżynierii Transportowej Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej.

Źródła finansowania

Badania zostały sfinansowane ze środków Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej w ramach programu „Granty dla naukowców przed doktoratem”. ◀

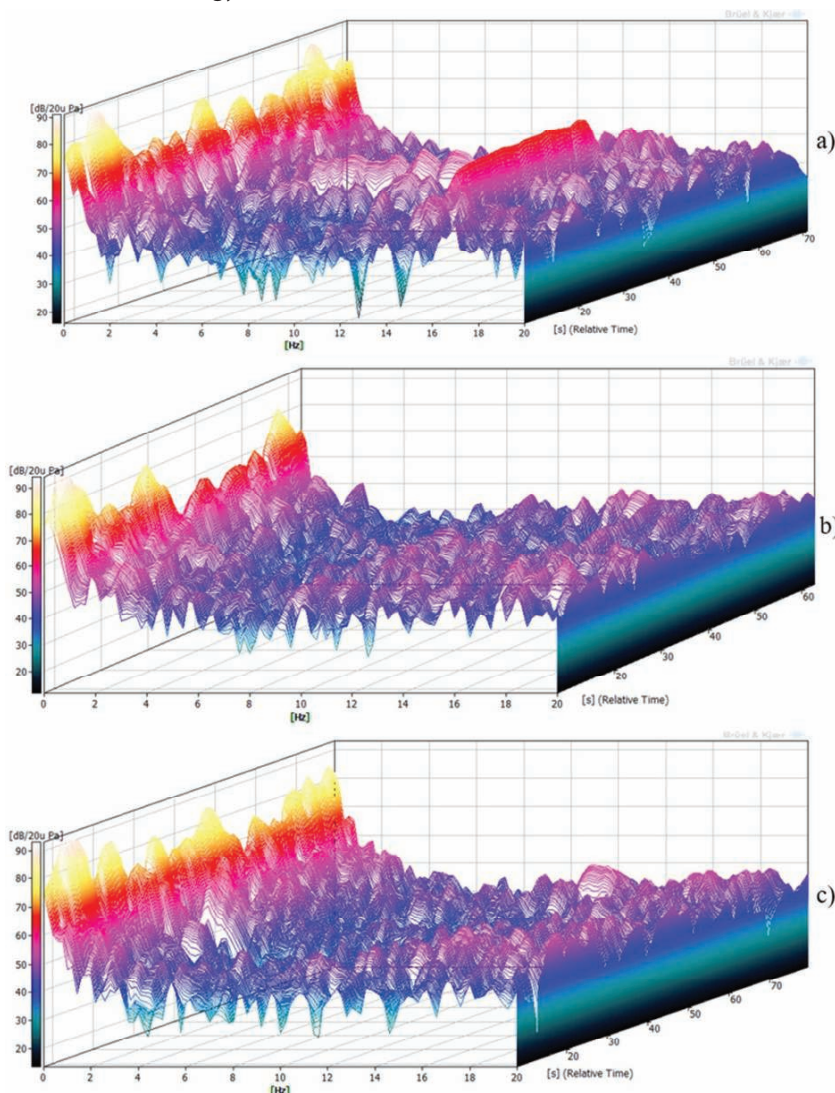
Materiały źródłowe

- [1] Evans, M. J., & Tempest, W. I. L. L. I. A. M. (1972). Some effects of infrasonic noise in transportation. *Journal of sound and vibration*, 22(1), 19-24.

- [2] Gužas, D., & Tricys, V. (2010). Noise in European Railway under Modernization and its Reduction. *Journal of Vibroengineering*, 12(4), 649-656.
- [3] Holeček, N. (2025). A CASE STUDY OF LOW-FREQUENCY NOISE. *Facta Universitatis, Series: Working and Living Environmental Protection*, 243-254.
- [4] Explanation of technical terms concerning sound, <https://www.health.belgium.be/de/node/8453>, 24.11.2025
- [5] Igoikin, A. A., Kryuchkov, A. N., Lazutkin, G. V., & Afanasev, K. M. (2017). The Study on Vibroacoustic Characteristics of Shunting Locomotive Cabin. *Procedia Engineering*, 176, 724-731.
- [6] Ikegami Y., Nakano A. (1975). Infrasound from diesel engine. *Inter-noise 75*, p. 303-306.
- [7] Kacejko, P., Szulczyk, J., & Zagubień, A. (2024). Wind Energy: Societal and Human Impacts. CRC Press.
- [8] Kaczmarek-Kozłowska, A., Mikulski, W., Pleban, D., Kozłowski, E., & Radosz, J. (2010). Zagrożenie hałasem niskoczęstotliwościowym kierowców środków transportu drogowego. CIOPIR Warszawa.
- [9] Kikuchi, K., Takami, H., Iida, M. (2007). Infrasound Generated by a High-Speed Train Running through a Short Tunnel.
- [10] Kowalski, M., Ostrowski, J., Przepióra, K. (2015). Wpływ hałasu i drgań na środowisko pracy w odniesieniu do pojazdów szynowych, POJAZDY SZYNOWE NR 4/2015.
- [11] Møller, H., & Pedersen, C. S. (2004). Hearing at low and infrasonic frequencies. *Noise & health*, 6(23), 37-57.
- [12] Pawlaczyk-Łuszczynska M., Dudarewicz A. Review of evaluation criteria for infrasound and low frequency noise in the general environment. In: Pleban D, editor. New techni-

ques and methods for noise and vibration measuring, assessing and reducing. Warsaw: CIOPIR; 2022.

- [13] Pawlaczyk-Łuszczynska, M., Dudarewicz, A., Myshchenko, I. & Bortkiewicz, A. (2023). Wpływ infradźwięków i hałasu niskoczęstotliwościowego na zdrowie i samopoczucie człowieka. Część I: przegląd badań eksperymentalnych. *Medycyna Pracy. Workers' Health and Safety*, 74(4), 317-332.
- [14] Pawlas, K., Pawlas, N., Boroń, M., Szłapa, P., & Zachara, J. (2013). Przegląd kryteriów oceny infradźwięków i hałasu niskoczęstotliwościowego w środowisku zawodowym i pozazawodowym. *Medycyna Środowiskowa-Environmental Medicine*, 16(1), 82-89.
- [15] PN-EN 15892:2011. Emisja hałasu. Pomiar hałasu wewnątrz kabin maszynisty.
- [16] PN-EN ISO 3381:2022-02 Kolejnictwo. Akustyka. Pomiar hałasu wewnątrz pojazdów szynowych
- [17] PN-Z 01338:2010. Akustyka. Pomiar i ocena hałasu infradźwiękowego na stanowisku pracy.
- [18] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem (Dz. U. poz. 824 i 1697)
- [19] Sandberg, U. (1988). Identification of infrasound generation mechanisms in a bus. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 7(3), 110-117.
- [20] Sisto, R., Pieroni, A., Lenzuni, P. (2000). High Amplitude Infrasound in Railway Tunnels.
- [21] Wolniewicz, K. B., Zagubień, A. T. (2017). Hałas infradźwiękowy w środkach komunikacji podmiejskiej. Buses. *Technics, Exploitation, Transport Systems*, Article 7-8.
- [22] Yan, L., Chen, Z., Zou, Y., He, X., Cai, C., Yu, K., & Zhu, X. (2020). Field Study of the Interior Noise and Vibration of a Metro Vehicle Running on a Viaduct: A Case Study in Guangzhou. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 2807.



5. Porównanie widma w funkcji czasu dla różnych typów pojazdu: a) SA136, b) 36WEhb oraz c) EN57AL [opracowanie własne]