



Badania hałasu w otoczeniu mostów kolejowych blachownicowych o różnych rodzajach konstrukcji

Lucjan Janas
Politechnika Rzeszowska

1. Wprowadzenie

Hałas w otoczeniu linii kolejowych zależy m.in. od rodzaju i prędkości przejeżdżających pociągów, od ich długości, częstotliwości przejazdów, od chropowatości powierzchni kół i szyn oraz sztywności toru. Niektóre z wymienionych czynników występują losowo i mogą jedynie sporadycznie powodować emisję hałasu.

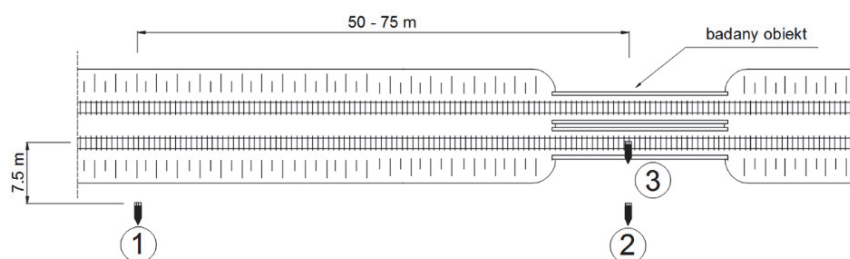
Hałas w otoczeniu mostów kolejowych może być większy nawet o 15-20 dB od hałasu w otoczeniu linii kolejowych poza mostami (Harrison i in. 2000, Thompson 2009, Li i in. 2015, Janas 2017). Największe zagrożenie dla środowiska stanowią obiekty stalowe bez podsypki oraz te, na których nie zastosowano wibroizolacji (Wang i in. 2008, Janas i Łakota 2005). Współcześnie budowane mosty stalowe z torem ułożonym na podsypce również mogą wpływać na pogorszenie klimatu akustycznego. Także mosty betonowe, z betonu sprężonego czy zespolone stalowo-betonowe mogą powodować zagrożenie dla środowiska – świadczą o tym np. publikacje (Li i Wu 2012, Liu i in. 2014). Problem hałasu w otoczeniu mostów kolejowych został zasygnalizowany w Eurokodzie 3 (*PN-EN 1993-2:2010*), gdzie w rozdziale dotyczącym stanów granicznych użyteczności zapisano ogólnie, że należy ograniczać częstotliwości drgań własnych konstrukcji m.in. po to, aby ograniczyć nadmierną emisję hałasu. W normie tej zapisano ponadto, że „*Wszelkie wymagania dotyczące emisji hałasu można podać w ustaleniach projektowych*”. Hałas mostów kolejowych został także poruszony w dokumencie Międzynarodowego Związku Kolei *UIC 717R (2010) Recommendations for the design of bridges to*

satisfy track requirements and reduce noise emissions, gdzie przedstawiono ogólne zalecenia do projektowania cichych mostów.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki własnych pomiarów i analiz hałasu w otoczeniu dwóch stalowych, blachownicowych mostów kolejowych. Pierwszy z obiektów to konstrukcja z torem ułożonym na ruszcie podłużnicowo-poprzecznicowym, drugi ma tor oparty na podsypce z tłucznią ułożonej na stalowej płycie ortotropowej. Oba rodzaje mostów reprezentują najczęściej występujące w kraju typy konstrukcji pomostu.

2. Metodyka badań i aparatura pomiarowa

W celu ustalenia wpływu obiektów mostowych na hałas przeprowadzono jednoczesne pomiary ciśnienia akustycznego w otoczeniu linii kolejowej, w odległości 50-75 m od mostu (pp. 1 – punkt pomiarowy nr 1) i bezpośrednio obok mostu (pp. 2). Lokalizację punktów pomiarowych przedstawiono na rysunku 1. W obu przypadkach mikrofon umieszczono w odległości 7,5 m od osi toru i 1,5 m nad poziomem główki szyny. Dodatkowo, w tym samym czasie mierzono hałas pod mostem, 1,5 m nad poziomem terenu (pp. 3).



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia punktów pomiarowych: 1 – mikrofon obok toru poza mostem (referencyjny), 2 – mikrofon obok mostu, 3 – mikrofon pod mostem

Fig. 1. Scheme of measurement points: 1 – microphone beside the track, away from the bridge (reference), 2 – microphone beside the bridge, 3 – microphone under the bridge

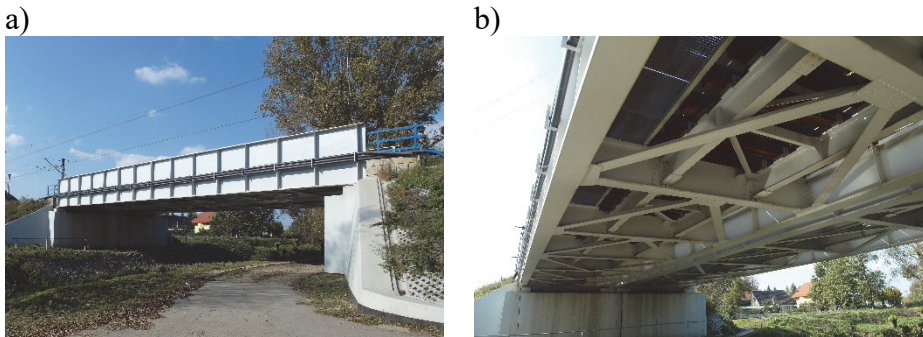
W czasie pomiarów stosowano zestaw mikrofonów BruelKjaer typ 4961, osłony przeciwwietrzne, moduł pomiarowy BiK 3050-A-060 oraz oprogramowanie Pulse Reflex. Przed pomiarami i po ich zakończeniu tor

pomiarowy sprawdzono za pomocą wzorca akustycznego klasy 1, typ 4231. Niepewność pomiarów typu B dla poziomu ufności 95% oszacowano na 1,1 dB. Zjawiska akustyczne rejestrowano w czasie przejazdów pociągów osobowych w tym dalekobieżnych, regionalnych, szynobusów oraz pociągów towarowych. Prędkości przejazdów określano poprzez pomiar czasu przemieszczania się pojazdów na ustalonym odcinku. Pomiarzy prowadzono w temperaturze 5-25°C, przy wilgotności powietrza 50-70% i prędkości wiatru nieprzekraczającej 5 m/s. Warunki pogodowe monitorowano przenośną stacją pogodową. Badano obiekty, których lokalizacja gwarantowała brak źródeł hałasu, które nie były przedmiotem badań. Na przykład zrezygnowano z pomiarów w otoczeniu wiaduktów kolejowych nad drogami kołowymi gdzie występował hałas drogowy.

3. Wyniki pomiarów hałasu i ich analiza

3.1. Most blachownicowy z pomostem otwartym

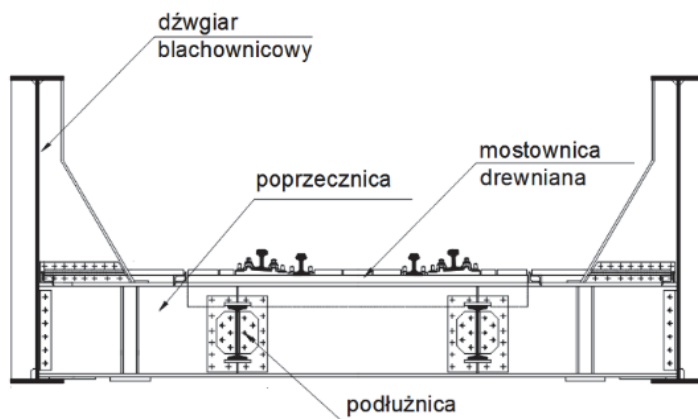
Pierwszy z analizowanych obiektów to most blachownicowy jednonprzęsłowy, swobodnie podparty o rozpiętości 24,15 m (rys. 2). Konstrukcją pomostu jest ruszt poprzecznicowo-podłużnicowy – jest to tzw. pomost otwarty. Szyny zostały zamocowane do drewnianych mostownic przytwierdzeniem typu K przez podkładki PM-60 i przekładki podszytowe typu PKW. Mostownice oparto na stalowych podłużnicach (rys. 3). Obiekt był w dobrym stanie technicznym. Przed, w czasie i bezpośrednio po badaniach nie zaobserwowano źródeł hałasu poza źródłami pochodzącymi od ruchu kolejowego.



Rys. 2. Widok mostu z boku (a) i od spodu (b)

Fig. 2. The view of the bridge from the side (a) and from the bottom (b)

Zjawiska akustyczne zarejestrowano w czasie przejazdów pociągów osobowych i towarowych – wybrane wyniki pomiarów zamieszczono w tabeli 1. Hałas obok mostu sięgał nawet 89,2 dB(A) a pod mostem, w kilku zarejestrowanych przypadkach, przekraczał 100 dB(A).



Rys. 3. Przekrój poprzeczny mostu blachownicowego z pomostem otwartym
Fig. 3. The cross-section of the plate girder bridge with open deck

Tabela 1. Wyniki pomiarów hałasu – konstrukcja z pomostem otwartym
Table 1. Results of noise measurement – object with open deck

Lp.	Rodzaj pociągu	Prędkość [km/h]	Poziom dźwięku A w [dB]		
			obok toru (pp. 1*)	obok mostu (pp. 2)	pod mostem (pp. 3)
1	osobowy – regionalny	50	80,3	83,8	96,2
2	osobowy – dalekobieżny	60	83,8	87,4	99,9
3	osobowy – szynobus	50	74,8	78,1	90,5
4	osobowy – dalekobieżny	70	84,7	89,2	102,0
5	towarowy	50	84,3	88,9	100,7
6	towarowy	40	79,6	88,6	101,3

*rozmieszczenie punktów pomiarowych zgodnie z rysunkiem 1

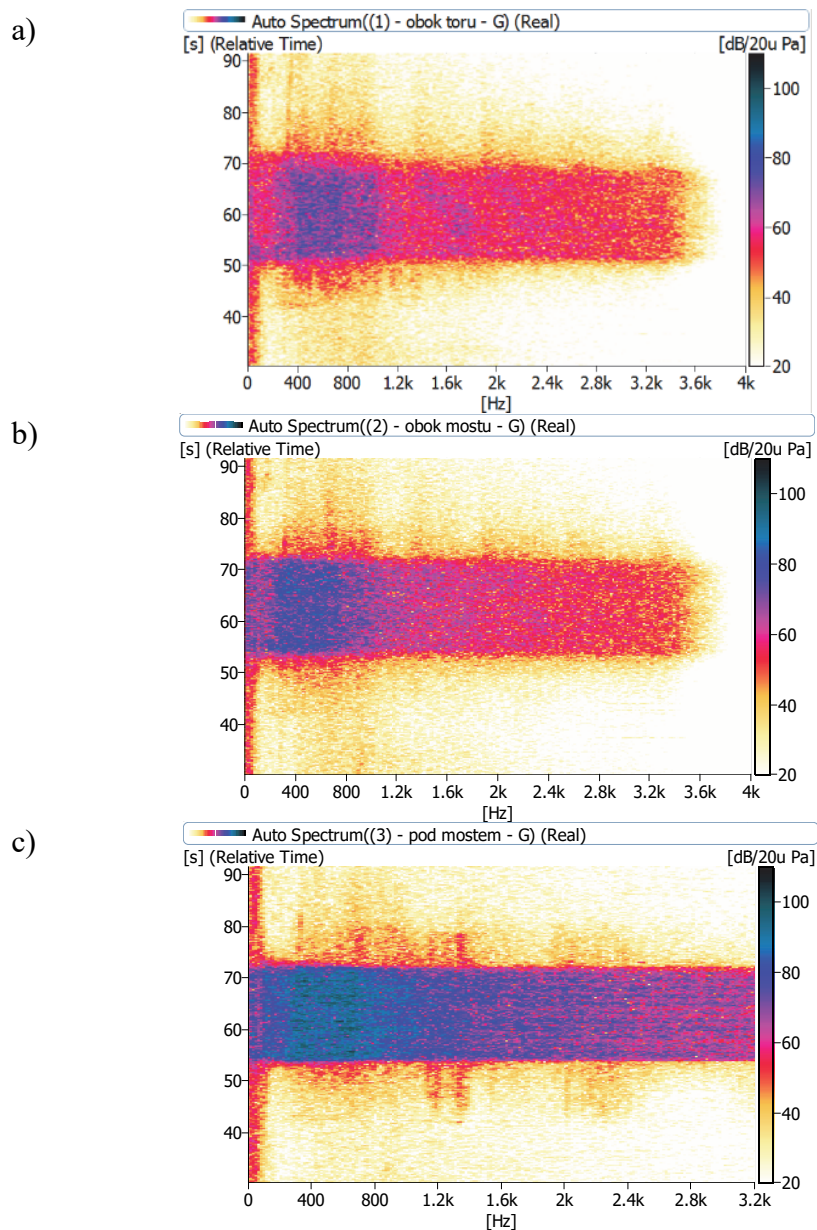
Wartości poziomu hałasu obok mostu w czasie przejazdów pociągów były o około 3,5 do 9,0 dB większe od poziomu hałasu obok toru poza mostem, pod mostem były większe nawet o około 20 dB. Wartość poziomu hałasu zależała przede wszystkim od rodzaju pociągu i jego stanu technicznego.

Oprócz porównania wartości poziomów dźwięku A przeprowadzono analizę ciśnienia akustycznego w funkcji częstotliwości. Przykładowe spektrogramy otrzymane na podstawie analizy sygnałów zarejestrowanych w czasie przejazdu pociągu osobowego dalekobieżnego z prędkością 60 km/h przedstawiono na rysunku 4.

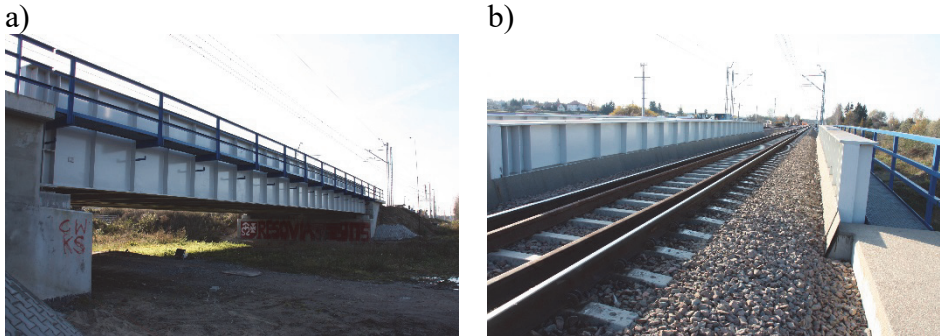
Można zauważyć, że wzrost poziomu ciśnienia akustycznego obok mostu następuje w zakresie od około 200 do 800 Hz, natomiast pod mostem praktycznie w całym rozpatrywanym zakresie częstotliwości, przy czym największy wzrost poziomu zaobserwowano w zakresie od około 200 Hz do 1,2 kHz. Główną przyczyną hałasu w otoczeniu tego typu mostów jest rozprzestrzenianie się dźwięków powstających na styku kół z szynami przez pomost o konstrukcji otwartej (Janas 2015). Dźwięki te, na odcinkach toru ułożonego na podsypce, są częściowo pochłaniane przez tłuczeń. Na mostach z rusztem podłużnicowo-poprzecznym pochłanianie nie występuje.

3.2. Most blachownicowy z torem ułożonym na podsypce

Kolejny badany obiekt to most blachownicowy, swobodnie podparty o rozpiętości przęsła 31,68 m, z torem ułożonym na podsypce z tłucznia (rys. 5). Dźwigary blachownicowe o wysokość 2,47 m są połączone poprzecznicami i uźebrowaną, ortotropową stalową płytą, tworzącą koryto balastowe. Podsypka z tłucznia o grubości 0,35 m została umieszczona w korycie balastowym - przekrój poprzeczny mostu przedstawiono na rysunku 6. Szyny zostały zamocowane do podkładów stru-nobetonowych PS-94M przytwierdzeniami typu SB-3. Most był w dobrym stanie technicznym. Podobnie jak w przypadku pierwszego z analizowanych obiektów w czasie badań nie zaobserwowano źródeł hałasu, poza źródłami pochodzącymi od ruchu kolejowego.

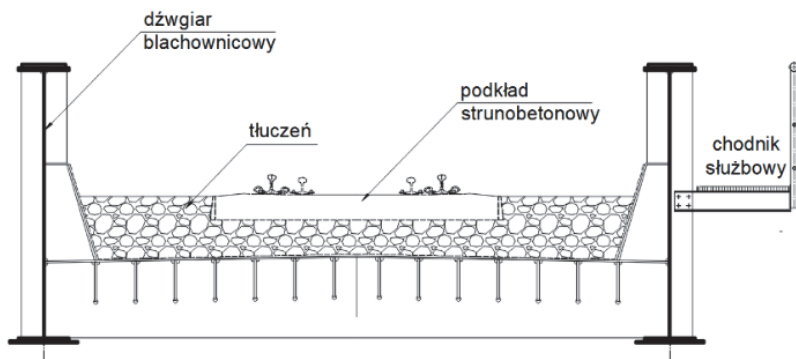


Rys. 4. Spektrogramy poziomu ciśnienia akustycznego w otoczeniu mostu z pomostem otwartym: a) obok toru, b) obok mostu, c) pod mostem
Fig. 4. Spectrogram of sound pressure level in the vicinity of the object with open deck: a) beside the track, b) beside the bridge, c) under the bridge



Rys. 5. Widok mostu z boku (a) i widok toru na moście (b)
Fig. 5. The view of the bridge from the side (a) and view of the track on the bridge (b)

W tabeli 2 zestawiono wyniki pomiarów wykonanych w czasie przejazdów pociągów osobowych i towarowych. Hałas obok mostu nie różnił się znacznie od hałasu w punkcie referencyjnym, tj. obok toru poza mostem. W większości przypadków był nawet nieco mniejszy (tabela 2, wiersze 1-5), co wynika z faktu, że dźwięki powstające na styku kół z szynami były częściowo pochłaniane przez podsypkę a pełnościennie dźwigary blachownicowe pełniły rolę niskich ekranów akustycznych. Hałas pod mostem był większy o około 5 do 6 dB od hałasu obok toru, co było spowodowane drganiami płyty ortotropowej.



Rys. 6. Przekrój poprzeczny mostu blachownicowego z torem na podsypce
Fig. 6. The cross-section of the plate girder bridge with ballast

Tabela 2. Wyniki pomiarów hałasu – most z torem ułożonym na podsypce
Table 2. Results of noise measurement - object with ballast

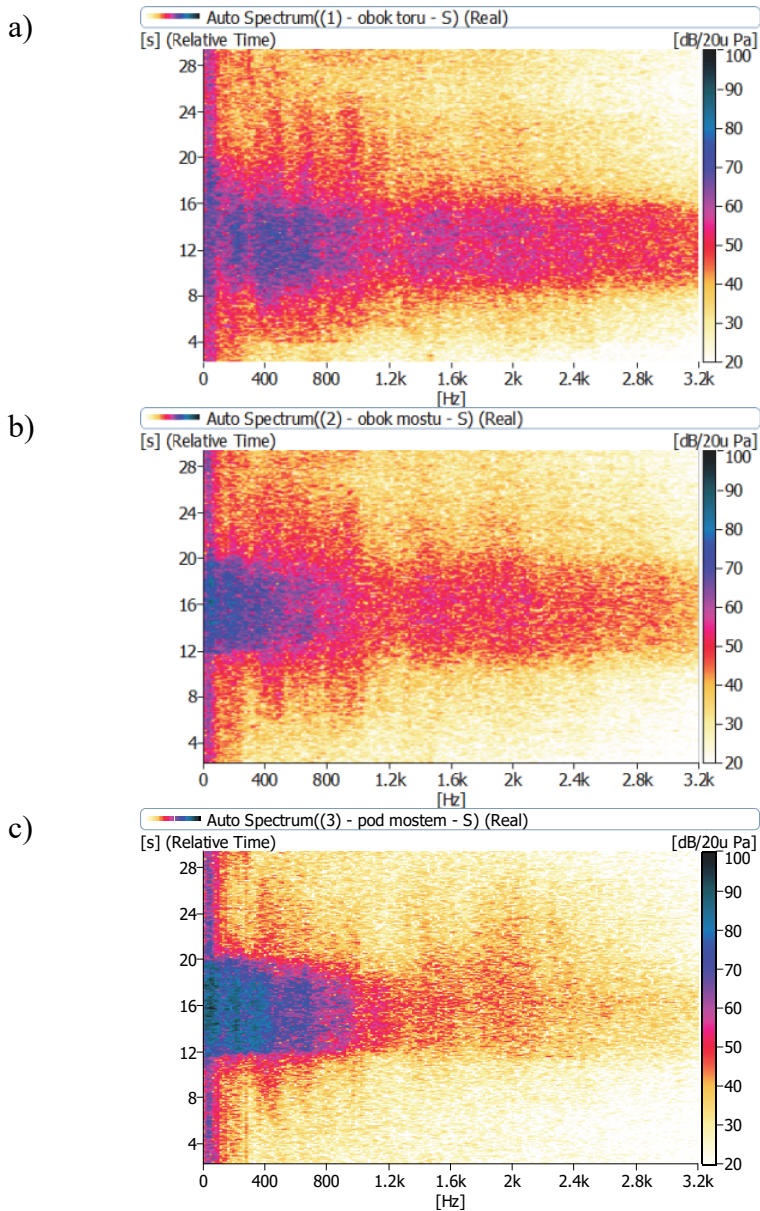
Lp.	Rodzaj pociągu	Prędkość przejazdu [km/h]	Poziom dźwięku A w [dB]		
			obok toru (pp. 1*)	obok mostu (pp. 2)	pod mostem (pp. 3)
1	osobowy – regionalny	80	76,9	75,9	84,7
2	osobowy – dalekobieżny	60	80,8	76,7	85,6
3	osobowy – szynobus	80	76,8	75,5	80,8
4	towarowy	35	74,1	73,0	79,8
5	towarowy	50	81,7	81,3	87,4
6	towarowy	40	73,6	74,3	80,9

*rozmieszczenie punktów pomiarowych przedstawiono na rysunku 1

Na rysunku 7 przedstawiono charakterystyczne spektrogramy poziomu ciśnienia akustycznego otrzymane na podstawie analizy sygnałów zarejestrowanych w czasie przejazdu pociągu osobowego dalekobieżnego z prędkością 60 km/h.

Analizując spektrogramy można zauważyć, że wartości poziomu ciśnienia akustycznego obok mostu są bliskie lub nieco mniejsze od wartości obok toru poza mostem w całym zakresie częstotliwości.

Poziom ciśnienia akustycznego pod mostem jest w niskich zakresach częstotliwości (do około 400 Hz) znacznie większy od poziomu obok toru poza mostem. W przypadku analizowanego obiektu hałas pod mostem nie powoduje zagrożenia dla środowiska, ponieważ konstrukcja znajduje się stosunkowo nisko nad terenem, a dźwięki są tłumione przez podłoże i nie rozprzestrzeniają się. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że pomost stalowy ortotropowy z podsypką, zastosowany np. w estakadzie na wysokich podporach może być uciążliwy dla otoczenia.



Rys. 7. Most z torom ułożonym na podsypce – spektrogramy poziomu ciśnienia akustycznego: a) obok toru, b) obok mostu, c) pod mostem
Fig. 7. Object with ballast – spectrograms of sound pressure level: a) beside the track, b) beside the bridge, c) under the bridge

4. Podsumowanie i wnioski

Mosty blachownicowe mogą stanowić uciążliwość a nawet zagrożenie dla środowiska ponieważ hałas w ich otoczeniu może być znacząco większy od hałasu w otoczeniu linii kolejowych poza tymi mostami.

W otoczeniu obiektów z pomostami otwartymi problemy akustyczne pojawiają na skutek swobodnego rozprzestrzeniania się dźwięków powstających na styku kół z szynami poprzez ruszt podłużnicowo-poprzecznicowy. Częściową redukcję niepożądanych zjawisk można uzyskać przez odizolowanie toru od konstrukcji nośnej i zastosowanie poziomych ekranów wypełniających ruszt pomostu. Obiekty z torem ułożonym na podsypce mogą stanowić zagrożenie dla środowiska wówczas, gdy będą usytuowane na wysokich podporach, ponieważ niepożądane dźwięki pojawiają się pod spodem konstrukcji. Emisję hałasu w tego rodzaju mostach można zmniejszyć przez zastosowanie sprężystych podkładek podszytowych lub mat wibroizolacyjnych pod podsypką. Z porównania analizowanych konstrukcji wynika, że chcąc projektować ciche mosty należy stosować przede wszystkim rozwiązania z torem ułożonym na podsypce.

Analiza mostów kolejowych pod kątem emisji hałasu powinna być dzisiaj standardowym elementem procesu przygotowania i projektowania inwestycji. Jeśli ten aspekt zostanie pominięty, to budowa lub modernizacja obiektu mostowego może zakończyć się pogorszeniem klimatu akustycznego w pobliżu linii kolejowej, uciążliwością i protestami okolicznych mieszkańców.

Literatura

- Harrison, M. F., Thompson, D. J., Jones, C. J. C. (2000). The calculation of noise from railway viaducts and bridges, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit.* 214(3), 125-134.
- Janas, L. (2017). Akustyczna specyfika stalowych mostów kolejowych. *Przeгляд komunikacyjny*, 72(9), 22-25.
- Janas, L., Łakota, W. (2005). Analiza możliwości ograniczenia hałasu w otoczeniu wiaduktu i linii kolejowej. *Drogi i Mosty*, 2, 71-90.
- Janas, L. (2015). Badania wibroakustyczne mostu blachownicowego. *Zeszyty Naukowe SITK RP, Oddział w Krakowie*, 2(106), 47-60.

- Li, Z. G., Wu, T. X. (2012). Estimation of vibration power flow to and sound radiation from railway concrete viaduct due to vehicle/track interaction. *Noise and Vibration Mitigation for Transport Systems. NNFM 118*, 175-183.
- Li, X., Liu, Q., Pei, S., Song, L., Zhang, X. (2015). Structure-borne noise of railway composite bridge: Numerical simulation and experimental validation. *Journal of Sound and Vibration*, 353, 378-394.
- Liu, Q., Li, X., Zhang, X., Zhang, Z. (2014). Structure-born noise study of composite steel bridge on high-speed railway. *Proceedings of the 9th International Conference on Structural Dynamic, Eurodyn, Porto, Portugal*, 1189-1194.
- PN-EN 1993-2 (2010). *Eurokod 3, Projektowanie konstrukcji stalowych, Część 2: Mosty stalowe*. Warszawa PKN
- Thompson, D. (2009). *Railway noise and vibration*. Elsevier.
- UIC 717R (2010). *Recommendations for the design of bridges to satisfy track requirements and reduce noise emissions*. 2nd edition.
- Wang, A., Bewes, O. G., Cox, S. J., Jones, C. J. C (2008). Measurement and Modelling of Noise from the Arsta Bridge in Stockholm. *Noise and Vibration Mitigation, NNFM, 99*, 172-178.

The Noise Analysis in the Vicinity of Rail Plate Girder Bridges with Different Types of Construction

Abstract

The article discusses the results of noise tests in the vicinity of two railway bridges. One of them is a structure with a track placed on a string-cross-beam grate, the next has an orthotropic deck and track laid on ballast. Both types of constructions represent the most common types decks of steel bridges in the country, whereas the construction with ballast and orthotropic plate can be considered as a new type of solution. In order to determine the impact of bridges on noise, simultaneous measurements of acoustic pressure in the vicinity of the railway line were carried out, at a distance of approx. 50-75 m from the bridge and directly next to the bridge. In both cases the microphone was placed at a distance of 7.5 m from the track axis and 1.5 m above the level of the rail head. Additionally, at the same time noise was measured under the bridge, 1.5 m above ground level.

In the case of an object with an open deck, the noise next to the structure was 3.5 to 9 dB higher than noise next to the track off the bridge. The noise under the construction was even bigger by about 20 dB. The level of sound pressure next to the bridge increased mainly in the range from approx. 200 to 800 Hz, and

under the bridge practically in the entire considered frequency range, with the highest increase observed in the range from about 200 Hz to 1.2 kHz.

In the case of a bridge with a track on the ballast, the noise in the vicinity of the bridge does not differ significantly from the noise next to the track off the bridge. The noise next to the bridge is in some cases even slightly smaller, which results from the damping of sounds generated at the interface between the wheels and the rails through plate girders. The noise under the bridge is larger by 5 to 6 dB than noise next to the track, which is caused by vibrations of the bridge deck. Analyzing the characteristic spectrograms of the sound pressure level it was found that the sound level values next to the bridge are close to or slightly smaller than the values beside the off-bridge track in the entire frequency range. The sound pressure level under the bridge is in the low frequency range (up to about 400 Hz) much higher than the level next to the off-bridge track.

The conducted research shows that the plate girder bridges can be a nuisance and even a threat to the environment because the noise in their surroundings can be significantly greater than the noise around the railway lines beyond these bridges. The comparison of the analyzed bridges shows that when designing quiet bridges, first of all, the track on the ballast should be used.

Streszczenie

W artykule omówiono wyniki własnych badań hałasu w otoczeniu dwóch blachownicowych, stalowych mostów kolejowych. Pierwszy z nich to konstrukcja z torem ułożonym na ruszcie podłużnicowo-poprzecznicy, drugi ma tor oparty na podsypce ułożonej na stalowej płycie ortotropowej. Oba rodzaje konstrukcji reprezentują najczęściej występujące typy pomostów w mostach kolejowych, stalowych. W celu ustalenia wpływu obiektów mostowych na hałas przeprowadzono jednoczesne pomiary ciśnienia akustycznego w otoczeniu linii kolejowej, w odległości 50-75 m od mostu i bezpośrednio obok mostu. W obu przypadkach mikrofony umieszczono w odległości 7,5 m od osi toru i 1,5 m nad poziomem główki szyny. Dodatkowo, w tym samym czasie mierzono hałas pod mostem, 1,5 m nad poziomem terenu.

W przypadku obiektu z pomostem otwartym hałas obok konstrukcji był o 3,5 do 9,0 dB większy od hałasu obok toru poza mostem. Hałas pod konstrukcją był większy nawet o około 20 dB. Poziom ciśnienia akustycznego obok mostu wzrastał głównie w zakresie od około 200 do 800 Hz, natomiast pod mostem praktycznie w całym rozpatrywanym zakresie częstotliwości, przy czym największy wzrost zaobserwowano w zakresie od około 200 Hz do 1,2 kHz. W przypadku mostu z torem na podsypce hałas w jego otoczeniu nie różni się znacznie od hałasu w otoczeniu toru poza mostem. Hałas obok mostu jest niektórych przypadkach nawet nieco mniejszy, co wynika z tłumienia dźwięków powstających na

styku kół z szynami przez dźwigary blachownicowe. Hałas pod mostem jest większy o 5 do 6 dB od hałasu obok toru, co jest spowodowane głównie nadmiernymi drganiami płyty pomostu. Analizując charakterystyczne spektrogramy poziomu ciśnienia akustycznego stwierdzono, że wartości poziomu dźwięku obok konstrukcji są bliskie lub nieco mniejsze od wartości obok toru poza mostem w całym zakresie częstotliwości. Poziom ciśnienia akustycznego pod mostem jest w niskich zakresach częstotliwości (do około 400 Hz) znacznie większy od poziomu obok toru poza mostem.

W przeprowadzonych badaniach wynika, że mosty blachownicowe mogą stanowić uciążliwość a nawet zagrożenie dla środowiska ponieważ hałas w ich otoczeniu może być znacząco większy od hałasu w otoczeniu linii kolejowych poza tymi mostami. Z porównania analizowanych mostów wynika, że chcąc projektować ciche mosty należy przede wszystkim stosować konstrukcje z torem ułożonym na podsypce.

Słowa kluczowe:

kolej, mosty blachownicowe, hałas

Keywords:

railway, palate girder bridges, noise