

MOSTY KOLEJOWE JAKO ŹRÓDŁA HAŁASU – WYBRANE PRZYKŁADY

Lucjan Janas

dr inż., Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, tel.: +48 17 865 1100, e-mail: ljanas@prz.edu.pl

Streszczenie. W artykule omówiono problem hałasu, którego źródłem są niektóre rodzaje mostów kolejowych. Zaprezentowano wyniki badań obiektów generujących nadmierny poziom ciśnienia akustycznego, tj. wiaduktu stalowego z pomostem ortotropowym oraz mostu z rusztem podłużnicowo-poprzecznicy. Przedstawiono również wyniki badań w otoczeniu mostu z torem ułożonym na podsypce, który nie wykazuje nadmiernej emisji dźwięku. Wskazano przyczyny i źródła hałasu oraz przedstawiono ogólne zalecenia do projektowania cichych mostów.

Słowa kluczowe: most kolejowy, emisja akustyczna, hałas

1. Wprowadzenie

Mosty kolejowe mogą oddziaływać na środowisko w znacznie większym stopniu niż linie kolejowe na docinkach poza mostami. Oddziaływanie to może przejawiać się nadmierną emisją hałasu, co ma szczególnie istotne znaczenie na terenach aglomeracji.

Stopień zwiększenia poziomu hałasu zależy od rodzaju konstrukcji mostu i osiąga nawet 15 dB [1]. Największe zagrożenie dla środowiska stanowią obiekty bez podsypki oraz te, na których nie zastosowano wibroizolacji. Obiekty z podsypką również mogą wpływać na pogorszenie klimatu akustycznego wokół mostu, w szczególności obiekty z pomostem ortotropowym. Znane są również przypadki współczesnych mostów zespolonych i betonowych, które emitują nadmierny hałas – przykład można znaleźć chociażby w [2]. Niektóre przykłady dotyczą obiektów w ciągu linii dużej prędkości – np. [3].

Na problem hałasu mostów kolejowych zwraca uwagę PN-EN 1993-2, Eurokod 3 Projektowanie konstrukcji stalowych, Część 2: Mosty stalowe [4]. W normie tej, w rozdziale dotyczącym stanów granicznych użyteczności, w postanowieniach ogólnych zapisano, że należy ograniczać częstotliwości drgań własnych m.in. po to, aby ograniczyć uszkodzenia zmęczeniowe i ograniczyć nadmierną emisję hałasu. W pkt. 7.7 tej samej normy, dotyczącym kryteriów użytkowania mostów kolejowych, zapisano: „Wszelkie wymagania dotyczące emisji hałasu można podać w ustaleniach projektowych”.

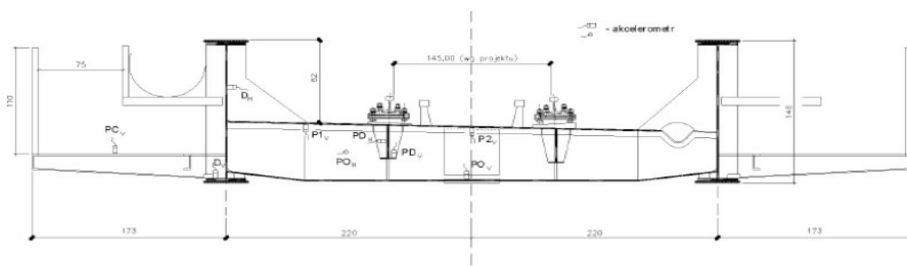
Problem hałasu mostów kolejowych został także poruszony w dokumencie *UIC 717 Recommendations for the design of bridges to satisfy track requirements and reduce noise emissions* [5], w którym podano zalecenia doprojektowania konstrukcji, które charakteryzują się małą emisją hałasu.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań własnych hałasu w otoczeniu trzech mostów kolejowych o różnych rodzajach konstrukcji pomostu. Jeden z obiektów ma tor mocowany bezpośrednio do stalowej płyty pomostu, kolejny obiekt posiada pomost w postaci rusztu otwartego. Ostatni z omawianych obiektów to most, gdzie tor ułożono na podsypce. Dwa z omawianych obiektów stanowią zagrożenie dla środowiska. W końcowej części artykułu przytoczono najważniejsze wskazówki dotyczące projektowania cichych mostów, zaczerpnięte z [5].

2. Hałas w otoczeniu mostów stalowych - przykłady

2.1. Wiadukt bez podsypki z pomostem stalowym

Badany obiekt to czteroprzęsłowa stalowa belka ciągła o rozpiętości przęseł ok. 21 m. Dźwigary główne to blachownice, zaś pomost stanowi uźebrowana płyta stalowa – rys. 1. Szyny zostały przymocowane bezpośrednio do pomostu, bez podsypki i mostownic. Na obiekcie nie zastosowano wibroizolacji.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny wiaduktu

Obiekt został usytuowany w łuku poziomym o promieniu $R = 250$ m (fot. 1). Tor na obiekcie i poza nim był bezстыkowy. Obok wiaduktu, w odległości ok. 25 m znajdował się budynek mieszkalny wielorodzinny, którego mieszkańcy skarżyli się na nadmierny hałas.

Ogłędziny obiektu wykazały jego niezadowalający stan. Głównym problemem była nieprawidłowa krzywizna łuku, w rzeczywistości była to łamana składająca się z kilku odcinków.

Pociągi przejeżdżające na nasypie, bezpośrednio przed budynkiem mieszkalnym, generowały hałas, który powstawał głównie wskutek: oddziaływania kół i szyn (duży udział miały nierówności powierzchni tocznych), pracy silnika lokomotywy, zatrzymywania się pociągu, pracy hamulców i połączeń wagonów.

Dźwięki te powstawały mimo niewielkiej dopuszczalnej prędkości przejazdu, rzędu 20-30 km/h. Duży wpływ na generację dźwięku miało położenie toru w łuku poziomym, złe jego wyprofilowanie i niezadowalający stan.

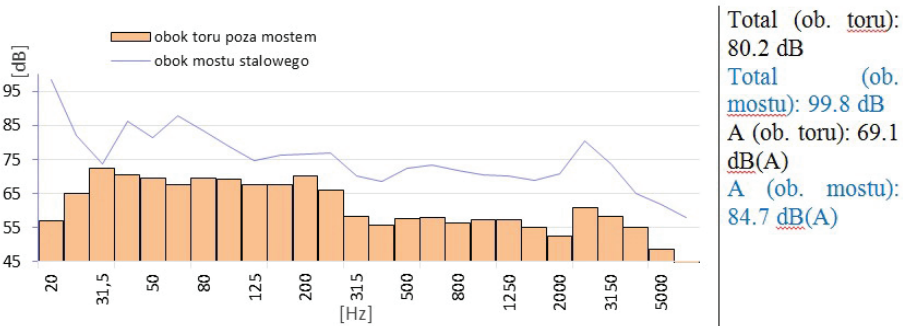


a)

b)

Fot. 1. Widok wiaduktu z poziomu pomostu (a) i widok od spodu (b)

Pociągi przejeżdżające po wiadukcie generowały większy hałas. Porównanie widm poziomu ciśnienia akustycznego mierzonego 7.5 m od toru poza mostem i 7.5 m od toru na moście, w obu przypadkach 1.5 m nad poziomem główki szyny, przedstawiono na rys. 2.



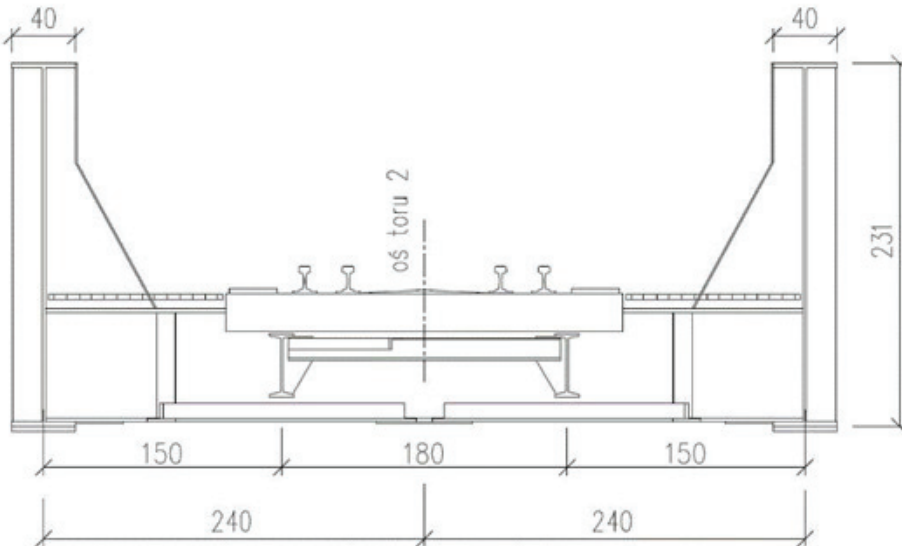
Rys. 2. Widmo poziomu ciśnienia akustycznego zarejestrowane w czasie przejazdu pociągu towarowego z prędkością ok. 30 km/h

Hałas obok wiaduktu, mimo niewielkiej prędkości przejazdu pociągów sięgał 85 dB(A) i był większy o ok. 15 dB od hałasu obok toru poza wiaduktem. Analizując widmo hałasu (rys. 2) można zauważyć, że poziom ciśnienia akustycznego wzrasta w całym zakresie częstotliwości. Przyczyną tak dużego wzrostu były drgania konstrukcji mostu oraz piski kół i złącz wagonów, wynikające z ruchu po łuku o małym promieniu. Udział konstrukcji wiaduktu w hałasie był duży. Drgania blachy pomostu i środników dźwigarów głównych przyczyniały się do emisji niepożądanych dźwięków. Szczegółowo zagadnienie to omówiono w [6].

Dopuszczalny, równoważny poziom dźwięku w mieszkaniach sąsiadującego z mostem budynku był przekroczony w porze nocnej o około 7 dB, co stanowiło bardzo dużą uciążliwość.

2.2. Most bez podsypki z pomostem w postaci rusztu

Kolejnym przykładem jest most blachownicowy, składający się z dwóch osobnych konstrukcji stalowych, opartych na wspólnych podporach. Schemat statyczny to belka swobodnie podparta o rozpiętości 24.15 m. Konstrukcja pomostu to ruszt podłużnicowo-poprzecznicowy na którym oparto mostownice – rys. 3. Jest to tzw. pomost otwarty.



Rys. 3. Przekrój poprzeczny badanego mostu blachowniczowego z pomostem otwartym

Szyny zostały zamocowane do mostownic drewnianych przez podkładki PM-60 i przekładki podszytowe typu PKW. Nawierzchnię i pomost przedstawia fot. 2.



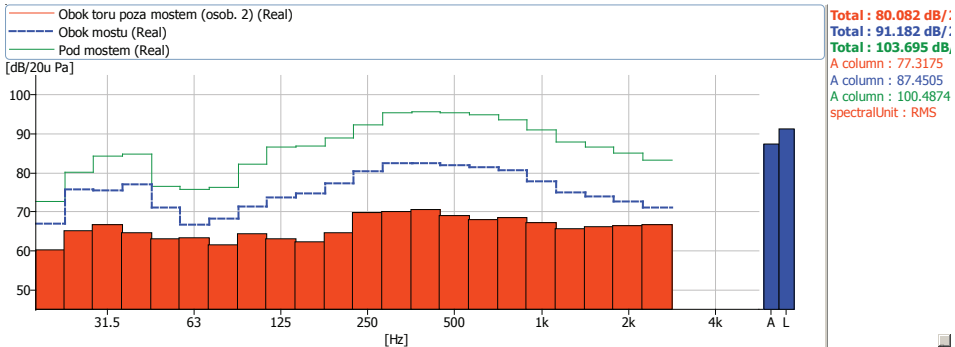
a)



b)

Fot. 2. Widok nawierzchni (a) i pomostu w postaci rusztu podłużnicowo-poprzecznicowego (b)

Hałas, podobnie jak w przypadku poprzednio omawianego obiektu, mierzono w odległości 7.5 m od toru na moście oraz w takiej samej odległości od toru poza mostem, na wysokości ok. 1.5 m nad główką szyny. Mierzono również hałas pod mostem. Zjawiska akustyczne rejestrowano w czasie przejazdów pociągów osobowych i towarowych (szczegółowe wyniki badań zawiera [7]). Przykładową charakterystykę amplitudowo- częstotliwościową poziomu ciśnienia akustycznego przedstawiono na rys. 4.



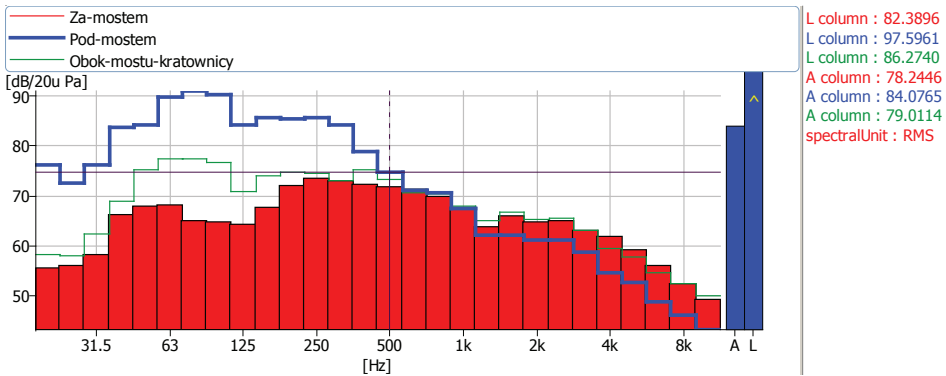
Rys. 4. Widmo poziomu ciśnienia akustycznego – przejazd pociągu osobowego z prędkością 50 km/h przez most z pomostem w postaci rusztu

Hałas obok mostu sięgał nawet 89.2 dB(A), pod mostem w kilku zarejestrowanych przypadkach przekraczał 100 dB(A). Wartości poziomu hałasu obok mostu były większe o 3.5 do 10 dB od poziomu hałasu obok toru poza mostem, przy czym zależały one przede wszystkim od rodzaju pociągu, jego prędkości i stanu technicznego kół. Analizując rys. 4 można zauważyć, że wzrost poziomu ciśnienia akustycznego następuje w całym zakresie rozpatrywanych częstotliwości.

W czasie badań, ze względu na prace modernizacyjne prowadzone na linii kolejowej nie było możliwości zarejestrowania emisji akustycznej w czasie przejazdów z większymi prędkościami niż 70 km/h. Należy się spodziewać, że przy większych prędkościach most będzie niekorzystnie oddziaływał na środowisko w większym stopniu.

2.3. Most z podsypką i pomostem stalowym ortotropowym

Konstrukcję nośną przęseł stanowią dwie blachownice wzmocnione kratownicami typu „W” oraz pomost w postaci płyty ortotropowej z poprzecznymi – rys. 5. Tor ułożono na podsypce o grubości 350 mm, licząc od spodu podkładów. Podstawowe parametry mostu są następujące: rozpiętości teoretyczne 2 x 49,0 m, szerokość konstrukcji nośnej 7,39 m.



Rys. 6. Przykładowa charakterystyka amplitudowo-częstotliwościowa hałasu w otoczeniu mostu kratownicowego z jezdnią na podsypce

W przypadku analizowanego mostu większy 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 zastosowany np. w estakadzie na wysokich podporach może być uciążliwy dla otoczenia.

3. Źródła hałasu i ogólne zalecenia do projektowania cichych mostów

Główne źródła hałasu kolejowego możemy podzielić na trzy grupy:

- hałas pochodzący od taboru – silniki spalinowe i elektryczne napędzające lokomotywy, osprzęt składu (sprężarki, hamulce, pantografy itp.),
- hałas pochodzący od wibracji oraz tarcia kół składu i szyny,
- hałas aerodynamiczny.

Przyczyny zwiększenia hałasu przy przejeździe pociągu przez most można ogólnie podzielić na dwie grupy:

- wibracje pochodzące od kół pojazdu, przekazywane przez szyny na konstrukcję mostu powodują drgania jej elementów; duże powierzchnie konstrukcji mogą zachowywać się jak membrany głośnika i emitować niepożądane dźwięki;
- w mostach z pomostem otwartym brak tłumienia przez podłoże (podsypkę) powoduje swobodne rozprzestrzenianie się dźwięków powstających na styku kół z szynami.

Ogólne zalecenia do projektowania cichych mostów podano w dokumencie UIC 717 [5]. Stwierdzono tam m.in., że jeżeli jest to możliwe, to na moście należy stosować tor na podsypce. Jeżeli konieczne jest przyjęcie bezpośredniego mocowania szyn, sposób mocowania powinien zapewnić redukcję propagacji drgań. Ponieważ prace utrzymaniowe są drogie, konstrukcje mostów powinny być zaprojektowane w taki sposób, aby zminimalizować koszty utrzymania. System torów na podsyp-

ce umożliwi zmechanizowanie konserwacji, co jest korzystne z ekonomicznego punktu widzenia.

Hałas generowany przez mosty kolejowe w czasie przejazdu pociągów zależy od chropowatości powierzchni koła i szyny oraz sztywności toru. Niektóre z tych cech występują losowo i mogą jedynie sporadycznie powodować emisję hałasu. Należy jednak pamiętać, że na obiekty oddziałują także siły ściśle okresowe, które mogą prowadzić do stałych wibracji i emisji hałasu. Biorąc pod uwagę odstęp podkładów równy 600 mm, przy prędkości pociągu w zakresie od 50 do 300 km/h (tak duży zakres prędkości podano za [5]) powstają oddziaływania w zakresie ok. 20 do 150 Hz. Jeśli częstotliwość wzbudzenia będzie pokrywać się z częstotliwością drgań własnych elementów mostu, konstrukcja wygeneruje szczególnie silną odpowiedź. Jeżeli wystąpi zbieżność między częstotliwościami, może pojawić się rezonans i znaczna emisja hałasów w zakresie niskich częstotliwości. Hałas powstaje wówczas w trzech etapach, tj.:

- wzbudzenie drgań konstrukcji mostu,
- propagacja drgań w elementach konstrukcji,
- generowanie dźwięków powietrznych od drgań strukturalnych.

W celu ograniczenia promieniowania dźwięków z konstrukcji, istotne jest, aby częstotliwości drgań tych części konstrukcji mostu, które mogą emitować najwięcej dźwięków nie mieściły się w zakresach częstotliwości, w których istnieje silne wzbudzenie.

Podstawowe środki zmierzające do zmniejszenia hałasu powinny objąć tor i konstrukcję mostu. Najważniejsze działania obejmujące tor, to:

- usunięcie jakiegokolwiek nieciągłości szyn,
- zapewnienie gładkiej i równej powierzchni szyny.

Zaleca się tor na podsypce, wskazana jest dodatkowa mata wibroizolacyjna pod balastem, zwłaszcza na liniach o dużym natężeniu ruchu.

Obiekty z pomostami otwartymi należą do konstrukcji, w których większość hałasu powstaje na skutek swobodnego rozprzestrzeniania się dźwięków przez ruszt podłużnicowo-poprzecznicowy. Częściowo redukcję niepożądanych dźwięków można uzyskać przez odizolowanie toru od konstrukcji nośnej. W przypadku toru bezpośrednio zamocowanego do pomostu, hałas można zmniejszyć przez:

- zastosowanie sprężystych podkładek,
- redukcję wibracji elementów mostu, np. poprzez zastosowanie pośredniej warstwy tłumiącej oddzielenia toru od pomostu,
- redukcję wibracji poprzez zmiany w konstrukcji (np. przez spawanie dodatkowych usztywnień), w celu zmiany częstotliwości drgań swobodnych wielkopowierzchniowych elementów.

W niektórych przypadkach można rozważyć zwiększenie masy pomostu (np. dodatkowy balast) lub pokrycie elementów emitujących hałas warstwą materiału zapewniającą dodatkowe tłumienie.

4. Podsumowanie

Największe zagrożenie dla środowiska z punktu widzenia emisji hałasu stanowią mosty stalowe z pomostem otwartym oraz z pomostem stalowym i torem bez podsypki. Mosty betonowe, z betonu sprężonego i zespolone na ogół powodują zdecydowanie mniej problemów akustycznych niż mosty stalowe, chociaż problemów takich nie można wykluczyć, o czym świadczą np. publikacje [1,2,3].

Analiza mostów kolejowych pod kątem emisji dźwięków powinny być dzisiaj standardowym elementem procesu przygotowania i projektowania inwestycji. Zalecenie takie jest zawarte w Eurokodzie [4]. Wymagania dotyczące emisji hałasu powinny być określone przez inwestora. Jeżeli takich wymagań inwestor nie postawi, to budowa lub modernizacja obiektu może zakończyć się pogorszeniem klimatu akustycznego w pobliżu linii kolejowej i protestami okolicznych mieszkańców. Przydatnym opracowaniem przy projektowaniu cichych mostów są z pewnością zalecenia UIC 717 [5].

Bibliografia

- [1] Thompson D., *Railway noise and vibration*. Elsevier 2009.
- [2] Li Z.G., Wu T.X., 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, pp. 175-183, Springer 2012.
- [3] Liu Q, Li X., Zhang X., Zhang Z., Structure-born noise study of composite steel bridge on high-speed railway. *Proceedings of the 9th International Conference on Structural Dynamic, Eurodyn 2014, Porto, Portugal*, pp. 1189-1194.
- [4] PN-EN 1993-2, Eurokod 3, Projektowanie konstrukcji stalowych, Część 2: Mosty stalowe.
- [5] UIC 717R: Recommendations for the design of bridges to satisfy track requirements and reduce noise emissions. 2nd edition, 2010.
- [6] Janas L., Przyczyny występowania hałasu w otoczeniu wybranych mostów kolejowych i propozycje jego ograniczenia. *Politechnika Poznańska. Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej nr 3/2007*, s. 103-112.
- [7] Janas L., Badania wibroakustyczne mostu blachownicowego. *Zeszyty Naukowe SITK RP, Oddział w Krakowie, tom 106, 2015*, s. 47-60.

