

ZASADY PROJEKTOWANIA CICHYCH MOSTÓW W ŚWIETLE ZALECEŃ MIĘDZYNARODOWEGO ZWIĄZKU KOLEI

Lucjan Janas

dr inż. Politechnika Rzeszowska, al. Powstańców Warszawy 12, 35-959 Rzeszów, tel. +48 17 865 1021, email: ljanas@prz.edu.pl

Streszczenie. W artykule zwrócono uwagę na problem hałasu jaki może wystąpić w otoczeniu mostów kolejowych. Podano kilka przykładów obiektów, które stanowią zagrożenie dla środowiska. Omówiono zalecenia przedstawione w Karcie 717R Międzynarodowego Związku Kolei, dotyczące projektowania mostów, które charakteryzują się małą emisją dźwięków. Zalecenia dotyczą konstrukcji i elementów wyposażenia.

Słowa kluczowe: mosty kolejowe, hałas, projektowanie

1. Wprowadzenie

Problem hałasu mostów kolejowych został poruszony w Eurokodzie 3 [6], gdzie w rozdziale dotyczącym stanów granicznych użyteczności zapisano, że należy ograniczać częstotliwości drgań własnych m.in. po to, aby ograniczyć uszkodzenia zmęczeniowe i nadmierną emisję hałasu. Zapisano również, że wszelkie wymagania dotyczące hałasu mostów można podać w ustaleniach projektowych. Tak ogólne stwierdzenia w wielu przypadkach nie pozwalają projektantom na rozwiązanie lub uniknięcie omawianego problemu.

Bardziej szczegółowo zagadnienie hałasu mostów kolejowych zostało omówione w karcie UIC 717R pt. „*Recommendations for the design of bridges to satisfy track requirements and reduce noise emissions*” [9]. Przedstawiono tam m.in. zalecenia do projektowania mostów, które charakteryzują się małą emisją hałasu. Zalecenia te omówiono w niniejszym artykule.

2. Hałas w sąsiedztwie mostów kolejowych - przykłady

Zagrożenie dla środowiska mogą stanowić mosty stalowe zbudowane wiele lat temu jak i współczesne, zaprojektowane w ostatnich latach [1,2,4]. Obiekty betonowe czy zespolone stalowo-betonowe na ogół powodują mniej problemów akustycznych ale liczne pozycje literatury (np. [5,8]) świadczą o tym, że problemów takich nie można wykluczyć. Należy zaznaczyć, że problem hałasu mostów może

występować na liniach eksploatowanych wiele lat oraz na nowych, przeznaczonych dla pociągów dużej prędkości [5].

Hałas w otoczeniu mostów może być znacznie większy niż hałas w otoczeniu linii kolejowej poza mostem – świadczą o tym np. wyniki badań przedstawione w pracy [1]. Pierwszym z omówionych tam obiektów jest wiadukt blachownicowy z pomostem w postaci płyty stalowej i torem bezpośrednio mocowanym do pomostu. Mimo niewielkiej prędkości przejazdu pociągów hałas obok tego wiaduktu sięgał niemal 89 dB(A) i był większy o ponad 15 dB od hałasu występującego obok toru poza wiaduktem. Hałas pod wiaduktem był większy nawet o ok. 18 dB. Obiekt stanowił dużą uciążliwość dla otoczenia, a główną przyczyną wzrostu hałasu były nadmierne drgania blach konstrukcji (płyty pomostu, chodników, dźwigarów) powodujące emisję dźwięków w zakresie niskich i średnich częstotliwości [3].

Kolejnym analizowanym w pracy [1] obiektem był jednoprzęsłowy most blachownicowy z rusztem poprzecznico-podłużnicowym, czyli z tzw. pomostem otwartym. Hałas obok tego mostu był większy o 3.3 do 10.1 dB od hałasu obok toru poza mostem. Hałas pod mostem był większy nawet o ponad 20 dB. W kilku przypadkach hałas pod mostem przekraczał 100 dB(A). Główną przyczyną tak niekorzystnych zjawisk akustycznych był rodzaj konstrukcji (pomost otwarty), który nie stanowił bariery dla dźwięków powstających na styku kół z szynami.

Przykładem często współcześnie projektowanych obiektów jest przedstawiony w [1] most blachownicowy z pomostem stalowym ortotropowym i torem ułożonym na podsypce. Hałas obok tego mostu był zbliżony lub nieco mniejszy od hałasu poza mostem. Hałas pod mostem był większy o 4 do 7.8 dB od hałasu obok toru - przyczyną zmiany poziomu dźwięku były nadmierne drgania stalowej płyty pomostu. Ponieważ analizowany obiekt znajdował się stosunkowo nisko nad terenem, dźwięki były tłumione przez podłoże i nie rozprzestrzeniały się. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że tego typu konstrukcja zastosowana na terenie zurbanizowanym, np. w estakadzie na wysokich podporach, może być uciążliwa dla otoczenia.

Ostatnim przykładem omówionym w [1] jest most kratownicowy typu „W” z pomostem stalowym ortotropowym i z torem ułożonym na podsypce. Poziom hałasu obok tego mostu niewiele różni się od hałasu obok toru poza mostem. Pod obiektem hałas był większy o 3.5 do 10 dB. Podobnie jak w przypadku mostów blachownicowych z podsypką, obiekty kratownicowe mogą stanowić zagrożenie dla środowiska wówczas, gdy będą usytuowane wysoko nad terenem.

3. Ogólne zalecenia dotyczące projektowania mostów

W karcie UIC 717R [9] podkreślono, że projektując mosty kolejowe należy uwzględnić:

- wymagania taboru kolejowego,
- konieczność zminimalizowania kosztów utrzymania toru i mostów,

Zgodnie z zaleceniem podanym w [9] podsypka może być uzupełniona matą wibroizolacyjną w celu zmniejszenia sztywności podparcia i nadania jej sztywności pionowej podobnej do sztywności na przyległych do mostu odcinkach toru. Konstrukcja mostu powinna zapewniać płynne przejście między dojazdem a mostem (szczegółowo zagadnienie to omówiono np. w [7]). Aby zminimalizować ryzyko skręcania, jeśli to tylko możliwe, przyczółki powinny być projektowane pod kątem prostym do osi toru.

W sytuacji gdy ograniczenie wysokości konstrukcji uniemożliwia zastosowanie toru na podsypce, należy zaprojektować bezpośrednie mocowanie szyny, przy czym projekt zamocowania powinien zapewnić odpowiednią redukcję naprężeń i drgań. Można stosować podkładki wibroizolacyjne pod szynami i/lub podkładkami. Szczególną uwagę należy zwrócić na zapewnienie dokładnego ułożenia toru oraz zapewnienie odpowiedniego stopnia sprężystości wibroizolacji.

Zgodnie z [9] szyny można też układać w korytach wykonanych w pomoście, które następnie są wypełniane materiałem wibroizolacyjnym (np. elastomerem). Ze względu na trudność w przenoszeniu sił poziomych, ten system mocowania jest zalecany dla mostów o małych rozpiętościach przęseł (do 20 m) lub gdy na obu końcach mostu znajdują się przyrządy wyrównawcze [9].

4. Propagacja drgań i źródła hałasu w otoczeniu mostów

Na ogólny efekt akustyczny w otoczeniu mostów mają wpływ następujące czynniki:

- rodzaj i prędkość pociągu,
- długość pociągu,
- rodzaj konstrukcji mostu i jej długość,
- stan techniczny toru i kół.

Głównymi czynnikami wpływającymi na propagację drgań są:

- rodzaj toru i jego sposób podparcia,
- rodzaj konstrukcji mostu.

Drgania taboru kolejowego wynikają z interakcji wózków/nadwozia i zestawów kołowych z torem i mogą być przyczyną emisji dźwięków. Drgania te mogą powodować hałas o szerokim paśmie częstotliwości, przy czym największe znaczenie mają dźwięki w przedziale od 40 do 60 Hz.

Hałas emitowany przez most kolejowy w czasie przejazdu pociągu zależy od nierówności powierzchni kół i szyn oraz od zmian sztywności toru. Niektóre z tych parametrów występują losowo i powodują jedynie okazjonalną emisję hałasu. Inne będą ściśle okresowe i mogą prowadzić do nieustannych wibracji i hałasu.

Jeśli weźmiemy pod uwagę typowy rozstaw podkładów równy 600 mm, to częstotliwość oddziaływania pociągów poruszających się z prędkością w zakresie od 50 do 300 km/h będzie wynosić od 20 do 150 Hz. Jeśli częstotliwość wzbu-

dzenia będzie pokrywać się z częstotliwością drgań własnych elementów mostu, wówczas konstrukcja może generować szczególnie silną odpowiedź - pojawi się zjawisko rezonansu. W czasie przemieszczania się pociągu po moście, obciążenia osiowe są częściowo tłumione przez szyny i ich podparcia. Mimo to, zmieniające się oddziaływania generują fale zginające, które mogą powodować emisję hałasu. Nawet w przypadku bardzo dobrego stanu technicznego kół i szyn, drgania wzbudzone przez poruszające się osie pojazdów szynowych, będące w tym samym zakresie częstotliwości, co częstotliwości własne elementów konstrukcji mostu, spowodują emisję dźwięków. Niepożądane dźwięki powstają w trzech etapach:

- wzbudzenie drgań konstrukcji,
- propagacja drgań poprzez konstrukcję,
- emisja dźwięków powietrznych na skutek drgań materiałowych.

Ponieważ hałas wynika głównie ze wzbudzenia drgań wielkopowierzchniowych części składowych konstrukcji, bardzo ważna jest sztywność giętna, materiał i grubość płyty pomostu. Duże znaczenie ma stopień tłumienia drgań, wynikający ze sposobu podparcia szyny.

Analizując widmo hałasu zarejestrowane obok mostu w czasie przejazdu pociągu, można wyróżnić:

- hałas wysokiej częstotliwości o charakterystyce podobnej do hałasu emitowanego przez ten sam pociąg poruszający się po torze poza mostem,
- hałas o niskiej częstotliwości emitowany przez konstrukcję mostu.

W zakresie niskich częstotliwości widmo hałasu obok toru znacznie różni się od widma zarejestrowanego obok mostu, mimo że różnica poziomu hałasu mierzona w dB (A) może być pomijalnie mała. W przypadku konstrukcji z pomostem zamkniętym (pełnym) hałas pod obiektem powstaje głównie na skutek drgań - jest to tzw. hałas wtórny.

5. Działania mające na celu ograniczenie hałasu – wg [9]

5.1. Uwagi ogólne

Celem wszystkich działań obejmujących tor i konstrukcję mostu jest osiągnięcie sytuacji w której hałas generowany w czasie przejazdu pociągu po moście nie będzie większy niż hałas podczas jazdy po torze poza mostem. Jak już wspomniano, ważne jest, aby częstotliwości drgań własnych tych części mostu, które mogą emitować najwięcej hałasu, nie leżały w zakresach częstotliwości, w których występuje silne wzbudzenie. Jeśli nie ma możliwości zmian częstotliwości drgań własnych konstrukcji należy zadbać o silne tłumienie.

5.2. Zalecenia dotyczące toru

W celu zmniejszenia poziomu hałasu należy:

- usunąć wszelkich nieciągłości i skoki sztywności przy połączeniu nasypu i mostu,
- utrzymywać jednolitą i równą powierzchnię szyn (złącza, spawy przyczyniają się znacząco do wzmocnienia hałasu emitowanego przez most).

Zaleca się stosowanie toru na podsypce. Jeśli jest to konieczne, dodatkową redukcję hałasu można uzyskać stosując pod podsypką matę antywibracyjną - rozwiązanie to jest szczególnie polecane na liniach o dużym natężeniu ruchu [9].

Mosty z otwartymi pomostami należą do konstrukcji generujących największy hałas. Przyczyną jest swobodne rozprzestrzenianie się dźwięków, spowodowane brakiem pochłaniania przez tłużeń/pomost. W niektórych przypadkach redukcję hałasu można uzyskać przez izolowanie toru od konstrukcji nośnej sprężystymi przekładkami. Takie działanie nie powoduje jednak zmniejszenia dźwięków powietrznych, powstających na styku kół i szyn.

W przypadku torów mocowanych bezpośrednio do pomostów (bez podsypki) zmniejszenie uciążliwości można uzyskać przez:

- zmniejszenie poziomu hałasu generowanego przez szyny dzięki zastosowaniu specjalnych okładzin,
- zmniejszenie drgań elementów mostu np. przez wprowadzenie pośredniej warstwy tłumiącej,
- zmniejszenie wibracji elementów mostu na skutek zmian w konstrukcji.

5.2. Zalecenia dotyczące mostów

Projektując ciche mosty należy rozważyć:

- zwiększenie masy przęseł (np. zastosowanie elementów betonowych lub zwiększonej warstwy podsypki); takie rozwiązanie jest możliwe tylko wtedy, gdy jest dostępna odpowiednia przestrzeń dla większej grubości płyty/podsypki i parametry wytrzymałościowe dźwigarów na to pozwalają,
- zwiększenie sztywności w obszarze pomostu i zmniejszenie sztywności elementów generujących hałas (np. środków dźwigarów głównych i płyt dennych w mostach skrzynkowych),
- pokrycie elementów generujących hałas warstwą materiału, w celu zwiększenia ich masy i tłumienia.

Należy unikać częstotliwości drgań własnych pojedynczych elementów konstrukcji zbliżonych do częstotliwości oddziaływań pojazdów szynowych. Drgania pomostu mają zasadnicze znaczenie w przekazywaniu energii wibracyjnej pozostałym elementom konstrukcji, dlatego pomost powinien zapewnić wysoki poziom tłumienia drgań.

Mosty żelbetowe, z betonu sprężonego i zespolone stalowo-betonowe emitują mniej hałasu i generalnie powodują mniejsze problemy akustyczne niż mosty stalowe. Różnica wynika z charakterystyki tłumienia drgań pomostu.

Środniki są elementami dźwigarów, które emitują najwięcej niepożądanych dźwięków. Aby maksymalnie zmniejszyć tę emisję, środniki powinny być tak cienkie i elastyczne, jak to tylko możliwe. Zaleca się, aby ich podstawowa częstotliwość drgań własnych znajdowała się poniżej 30 Hz [9]. Płyta dolna powinna również być tak cienka i elastyczna, jak to tylko możliwe. Podstawowa częstotliwość drgań własnych płyty dolnej nie powinna pokrywać się z częstotliwością drgań środników, tzn. płyta dolna powinna mieć niższe częstotliwości drgań własnych niż płyty środników.

W celu zmniejszenia emisji hałasu można rozważyć zastosowanie konstrukcji warstwowej typu „sandwich”, składającej się ze stalowej płyty, lepko-sprężystej syntetycznej maty tłumiącej i warstwy ochronnej.

6. Wnioski

Wybór niewłaściwej konstrukcji mostu albo zastosowanie nieodpowiednich elementów wyposażenia może powodować emisję hałasu uciążliwą dla otoczenia. Sytuacja taka może mieć miejsce na liniach konwencjonalnych jak i przeznaczonych dla pociągów dużych prędkości.

Z punktu widzenia emisji hałasu najmniej problemów sprawiają:

- mosty z płytą pomostu z betonu zbrojonego lub sprężonego oraz betonowe mosty skrzynkowe,
- konstrukcje zespolone, stalowo-betonowe,
- mosty stalowe z torem ułożonym na podsypce.

Wyżej wymienione konstrukcje należy w pierwszej kolejności brać pod uwagę projektując obiekty na terenach zurbanizowanych. Należy jednak pamiętać, że nawet tego typu obiekty mogą powodować uciążliwość dla środowiska i wymagają starannego projektowania, uwzględniającego ograniczenie emisji akustycznej.

Bibliografia

- [1] Janas L., Akustyczna specyfika stalowych mostów kolejowych, *Przegląd Komunikacyjny*, nr 9/2017, s. 22-25.
- [2] Janas L., Mosty kolejowe jako źródła hałasu – wybrane przykłady, *Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie*. Seria: Materiały Konferencyjne, 2016, nr 2(109), s. 69-77.
- [3] Janas L., Łakota W., Analiza możliwości ograniczenia hałasu w otoczeniu wiaduktu i linii kolejowej. *Drogi i Mosty*, nr 2/2005, s. 71-90.
- [4] Li X., Yang D., Chen G., Li Y., Zhang X., Review of recent progress in studies on noise emanating from rail transit bridges. *Journal of Modern Transportation*, 2016, Volume 24, Issue 4, pp. 237–250.

-
- [5] 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, Porto, Portugal, 2014, pp. 1189-1194.
 - [6] PN-EN 1993-2:2010. Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych, Część 2: Mosty stalowe. Warszawa PKN.
 - [7] Sołkowski J., „Efekt progowy w nawierzchniach szynowych”, Monografia nr 435, Politechnika Krakowska 2013.
 - [8] Stiebel D., Lölgen T., Gerbig C., Innovative Measures for Reducing Noise Radiation from Steel Railway Bridges. Proceedings of the 11th International Workshop on Railway Noise, Uddevalla, Sweden, 9–13 September 2013, pp. 579-586.
 - [9] UIC 717R. Recommendations for the design of bridges to satisfy track requirements and reduce noise emissions. 2nd edition, 2010.