



LUCJAN JANAS¹⁾
WŁADYSŁAW ŁAKOTA²⁾

ANALIZA MOŻLIWOŚCI OGRANICZENIA HAŁASU W OTOCZENIU WIADUKTU I LINII KOLEJOWEJ

STRESZCZENIE. W pracy przedstawiono wyniki badań hałasu w otoczeniu linii i wiaduktu kolejowego znajdującego się na terenie dużej aglomeracji miejskiej. Określono charakterystyki dźwięku w pasmach tercjowych i w wąskich pasmach częstotliwości oraz wykonano badania drgań wiaduktu. Dzięki zastosowaniu funkcji koherencji wykazano zależność pomiędzy drganiami niektórych elementów konstrukcji obiektu i ciśnieniem akustycznym w jego otoczeniu. Wyodrębniono źródła emisji ponadnormatywnego hałasu do otaczającego środowiska oraz przedstawiono rozwiązania modernizacyjne infrastruktury kolejowej tego rejonu.

1. WPROWADZENIE

Środki transportu kolejowego są ruchomymi źródłami hałasu i decydują o klimacie akustycznym wokół linii kolejowych [1–3]. Podczas ruchu pojazdów szynowych, również konstrukcje mostowe mogą być źródłami hałasu [4–5]. Obok hałasów aerodynamicznych, drgania poprzeczne blach konstrukcji mogą emitować dźwięk powietrzny uciążliwy dla środowiska [6]. Przez liczne mechanizmy, takie jak zmieniające położenie lub stałe siły (proces toczenia się), może być wytwarzany dźwięk materiałowy. Stal ma niewielkie wewnętrzne tłumienie i wykonane z niej konstrukcje,

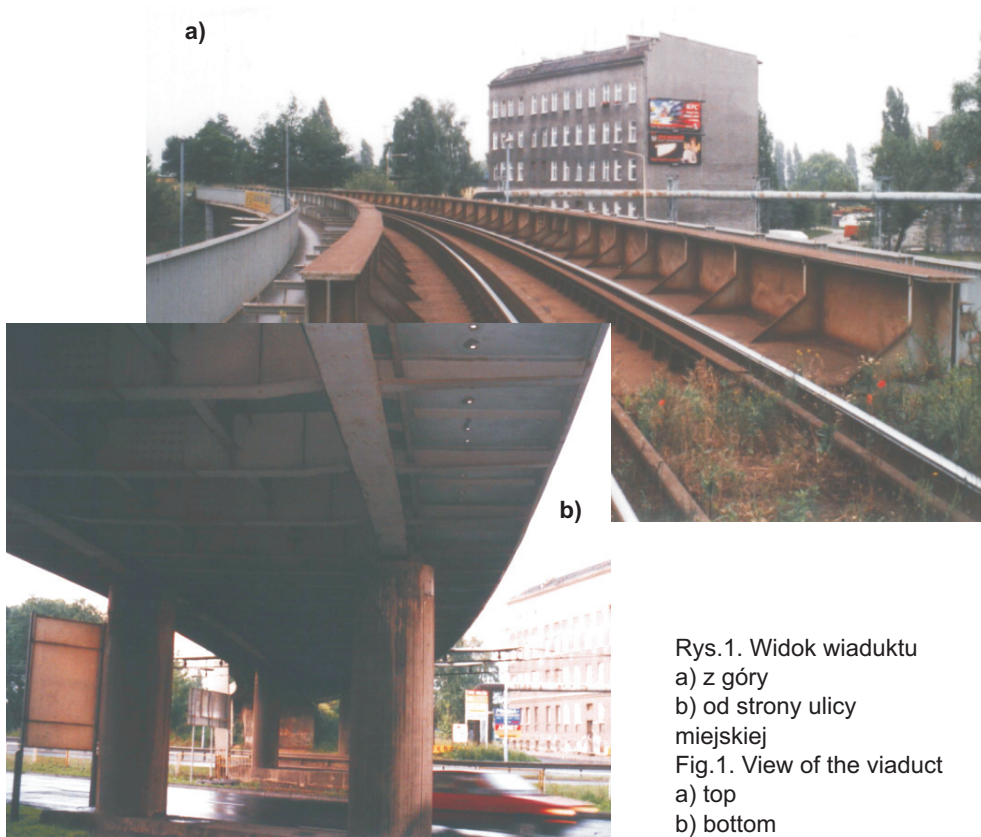
¹⁾ dr inż. – Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej

²⁾ dr hab. inż. – prof. Politechniki Rzeszowskiej, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

przy odpowiednim wzbudzeniu, mogą być bardzo łatwo doprowadzone do rezonansów z odpowiednio dużymi amplitudami. W szczególności w konstrukcjach z wielkopowierzchniowymi elementami, indukowane drgania poprzeczne prowadzą do emitowania dźwięku powietrznego odbieranego przez ucho ludzkie jako hałas. W hałasie tym dominują niskie częstotliwości. Wskutek dużej długości fali, hałas rozprzestrzenia się na znaczne odległości, gdyż jest w niewielkim stopniu tłumiony przez powietrze i z łatwością przenika do pomieszczeń. Nieprzyjemny „buczący” charakter tego hałasu sprawia, że jest odbierany jako szczególnie dokuczliwy, tak w środowisku zewnętrznym jak i w pomieszczeniach mieszkalnych.

2. CHARAKTERYSTYKA LINII I WIADUKTU KOLEJOWEGO

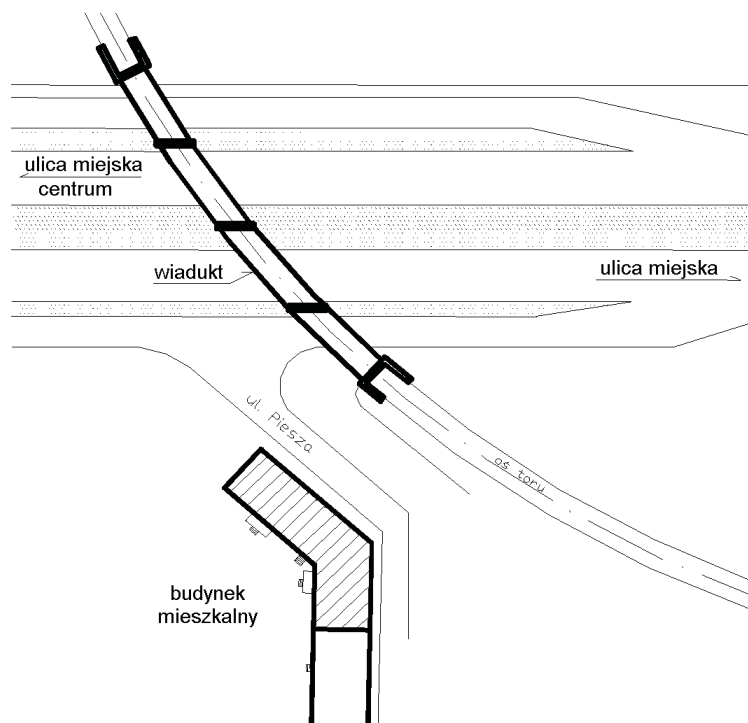
Linia kolejowa i wiadukt znajdują się w obrębie intensywnie zagospodarowanego obszaru przemysłowego. W bezpośrednim sąsiedztwie, tj. ok. 25 m od toru, znajduje się wielorodzinny budynek mieszkalny (rys. 1a i b, rys. 2). Tor jest bezstykowy, ułożony na nasypie w łuku poziomym o promieniu $R=250$ m. Stan techniczny toru [7] jest niezadowolający, np. jego krzywizna pozioma odbiega od prawidłowej, teoretycznej - w rzeczywistości jest to łamana złożona z kilku odcinków łuku.



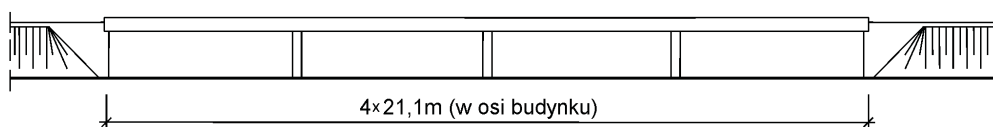
Rys.1. Widok wiaduktu
a) z góry
b) od strony ulicy
miejskiej

Fig.1. View of the viaduct
a) top
b) bottom

Klimat akustyczny w dużym stopniu pogarsza stalowy wiadukt. Obiekt ten został zbudowany w 1973 roku i jest konstrukcją 4 przęsłową o schemacie belki ciągłej (rys. 2 i rys. 3). Ma dźwigary główne blachownicowe, pomost w postaci płyty ortotropowej. Szyny są zamocowane do konstrukcji wiaduku bezpośrednio, tj. bez podsypki i podkładów kolejowych.



Rys.2. Usytuowanie linii kolejowej, wiaduku i budynku mieszkalnego
Fig.2. The location of the railway line, the viaduct and the block of flats



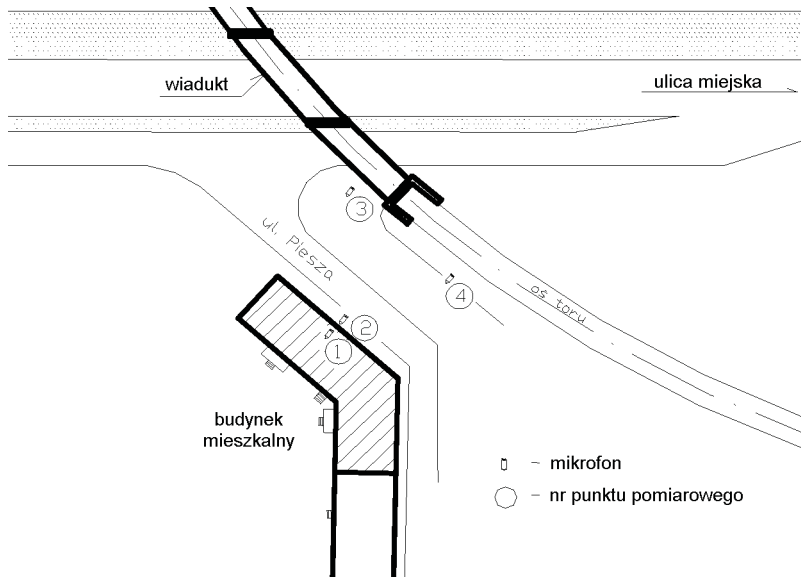
Rys.3. Rozpiętości przęseł wiaduku
Fig.3. The length of spans

Konstrukcje przęseł wiaduku są oparte na dwóch masywnych przyczółkach i trzech żelbetowych filarach słupowych. Dźwigary główne mają w planie kształt krzywoliniowy - kształt linii łamanej opisaney na łuku o promieniu 250 m. Na badanym wiaduku i w jego sąsiedztwie nie ma dylatacyjnych przerw szyn - tor jest bezстыkowy.

3. BADANIA ZJAWISK AKUSTYCZNYCH

Pomiary hałasu wykonano w następujących punktach (rys. 4):

- w budynku mieszkalnym - punkt pomiarowy nr 1,
- przed budynkiem mieszkalnym – pp. nr 2,
- obok wiaduktu - pp. nr 3,
- obok toru poza wiaduktem - pp. nr 4.

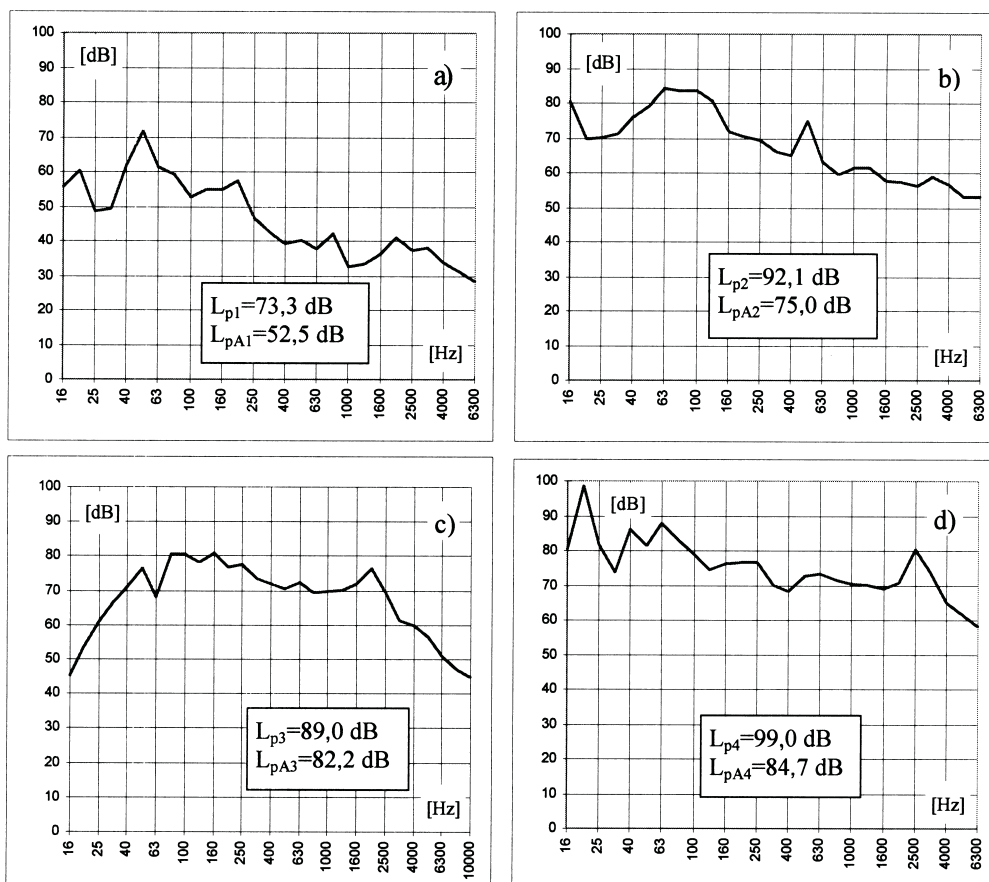


Rys.4. Punkty pomiaru hałasu

Fig.4. Location of noise measurement points

Pomiary wykonano przy temperaturze powietrza od +10 do +20 °C, przy średniej jego wilgotności (bez opadów atmosferycznych) i słabym wietrze (< 3 m/s). Badania wykonywano w godzinach nocnych (22⁰⁰ ÷ 6⁰⁰) ponieważ wtedy ruch samochodowy na ulicy znajdującej się pod wiaduktem był niewielki. Mikrofon był ustawiony w odległości 7,5 m od skrajnej szyny na wiadukcie (pp. nr 3) i 7,5 m od skrajnej szyny drogi kolejowej poza wiaduktem (pp. nr 4). W budynku mieszkalnym hałas mierzono na czwartym piętrze.

Zarejestrowane sygnały analizowano w pasmach tercjowych i w wąskich pasmach częstotliwości. Analiza tercjowa umożliwiła m.in. porównanie poziomów ciśnienia akustycznego i określenie poziomów sumarycznych, natomiast analiza wąskopasmowa pozwala na szczegółową identyfikację składu częstotliwościowego generowanych dźwięków. Wybrane wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 5. Wartości L_p oznaczają sumaryczny poziom ciśnienia akustycznego, a wartości L_{pA} poziom dźwięku (hałasu) z uwzględnieniem charakterystyki częstotliwościowej (A).



Rys.5. Charakterystyka częstotliwościowa poziomu ciśnienia akustycznego w punkcie pomiarowym:

- a) nr 1 - przejazd pociągu z cysternami, b) nr 2 - przejazd pociągu z platformami,
 c) nr 3 - przejazd pociągu z cysternami,
 d) nr 4 - przejazd pociągu z wagonami towarowymi krytymi
- Fig.5. The frequency characteristic of the sound pressure level in measuring points
 a) no. 1 - train with tanks, b) no. 2 - train with platforms,
 c) no. 3 - train with tanks, d) no. 4 - train with box-wagons

Poziomy równoważne dźwięku L_{Aeq} , zmierzone w porze nocnej wynosiły: w pp. 1 – 57,7 dB, w pp. nr 2 – 56 dB, w pp. nr 3 – 80,5 dB, a w pp. nr 4 – 71 dB. W czasie pomiarów w porze nocnej, po badanym odcinku linii kolejowej przejechało 11 pojazdów szynowych, w tym: 3 pociągi z cysternami, 3 z wagonami krytymi, 2 z platformami, 1 ze zbiornikami ze zbożem i 2 lokomotywy bez wagonów.

Podczas pomiarów zwrócono uwagę na następujące fakty: pociągi przejeżdżające na nasypie, bezpośrednio przed budynkiem mieszkalnym, generują hałas, który powstaje

głównie wskutek oddziaływania kół i szyn (duży udział mają w tym nierówności powierzchni tocznych), pracy silnika lokomotywy oraz wskutek zatrzymywania i ruszania pociągu (praca hamulców, złącz wagonów). Zły stan taboru przyczynia się do wywoływania dodatkowych dźwięków takich, jak skrzypienie osi i kół, stukot pustych wagonów towarowych, itp. Dźwięki te powstają mimo niewielkiej prędkości przejazdu - w czasie pomiarów nie przekraczała $20 \div 30$ km/h. Duży wpływ na generację dźwięku ma położenie toru w łuku poziomym o małym promieniu ($R = 250$ m), złe jego wyprofilowanie i niezadowalający stan taboru. Czynniki te powodują chwilowy hałas przekraczający nawet 100 dB. Pociągi przejeżdżające przez wiadukt generują dźwięki, których przyczyny są analogiczne jak przy przejeździe pociągów na nasypie. Są to: oddziaływania kół i szyn, praca silnika lokomotywy, zatrzymywanie się i ruszanie pociągu (praca hamulców, złącz wagonów), zły stan taboru (skrzypienie osi i kół, stukot pustych wagonów) oraz mały promień łuku poziomego. Należy zaznaczyć, że dźwięki te są w niewielkim stopniu tłumione przez blachownicowe dźwigary mostu, które stanowią swego rodzaju ekran dla dźwięków powstających na styku kół z szynami. Ponadto, pociągi przejeżdżające na wiadukcie generują hałas, który powstaje wskutek wzbudzenia drgań elementów konstrukcji mostu. Udział tego źródła w hałasie jest duży. Zmierzone bezpośrednio pod mostem poziomy ciśnienia akustycznego sięgają 95 dB. Ograniczenie tylko jednego z wyżej wymienionych, głównych źródeł hałasu pozwoli jedynie znikomo zmniejszyć hałas sumaryczny. Niezbędne jest ograniczenie emisji hałasu ze wszystkich jego źródeł.

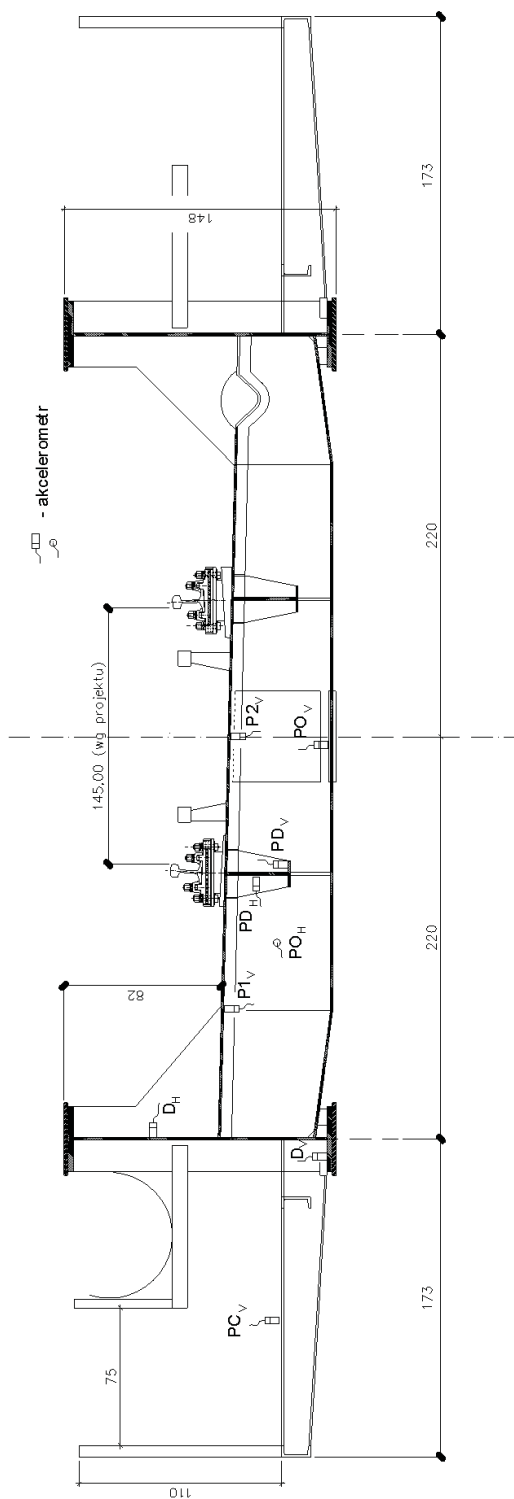
4. BADANIA ZJAWISK WIBROAKUSTYCZNYCH

Aby określić wpływ drgań elementów wiaduktu na emisję dźwięku do środowiska wykonano badania wibroakustyczne. Badaniami objęto następujące elementy: płytę pomostu, dźwigar główny, poprzecznice, podłużnicę i płytę chodnika wiaduktu. Ponadto wykonano badania szyny. Wraz z pomiarami drgań elementów konstrukcji, mierzono poziom ciśnienia akustycznego obok mostu.

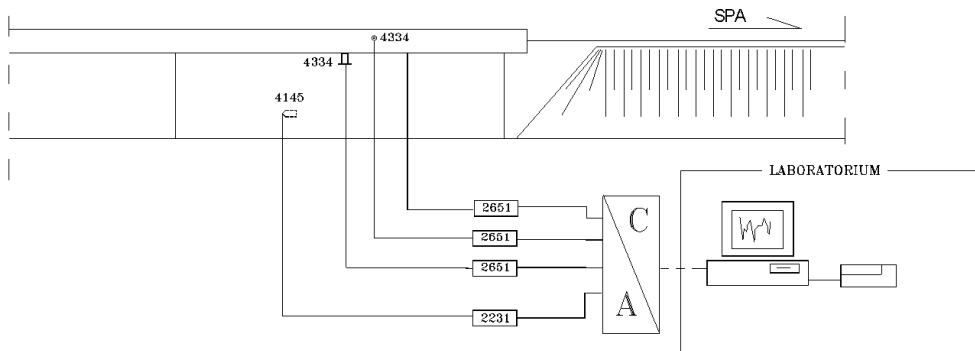
W czasie badań zjawisk wibroakustycznych mikrofon był ustawiony w odległości 7,5 m od skrajnej szyny na moście i 1,2 m nad poziomem terenu (punkt pomiaru nr 3, rys. 4), zaś drgania mierzono na poszczególnych elementach konstrukcji wiaduktu. Badaniami objęto (rys. 6): skrajną płytę pomostu (między dźwigarem i szyną) – PI_V ; środkową płytę pomostu (między szynami) – $P2_V$; środnik dźwigara głównego – D_H ; pas dolny dźwigara głównego – D_V ; środnik poprzecznic – PO_H ; pas poprzecznic – PO_V ; środnik podłużnic – PD_H ; pas podłużnic – PD_V ; płytę chodnika – PC_V i stopkę szyny – S_V .

Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 7.

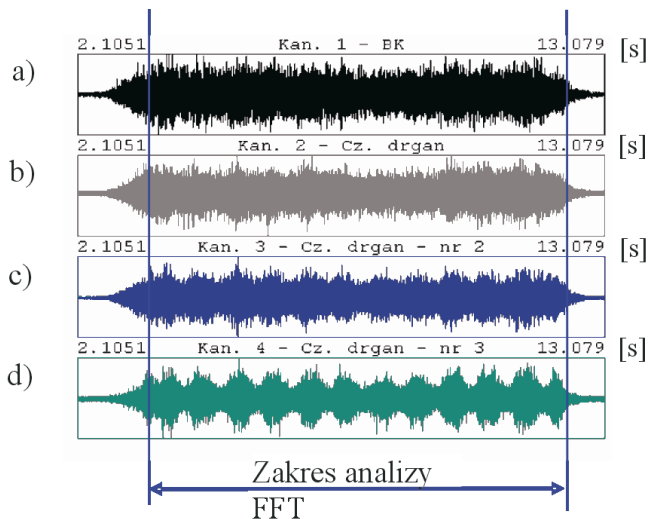
Przykładowe zmiany ciśnienia akustycznego oraz przyspieszeń elementów konstrukcji w funkcji czasu przedstawiono na rysunku 8.



Rys.6. Punkty pomiaru drgań
Fig.6. Locations of measurement vibration points

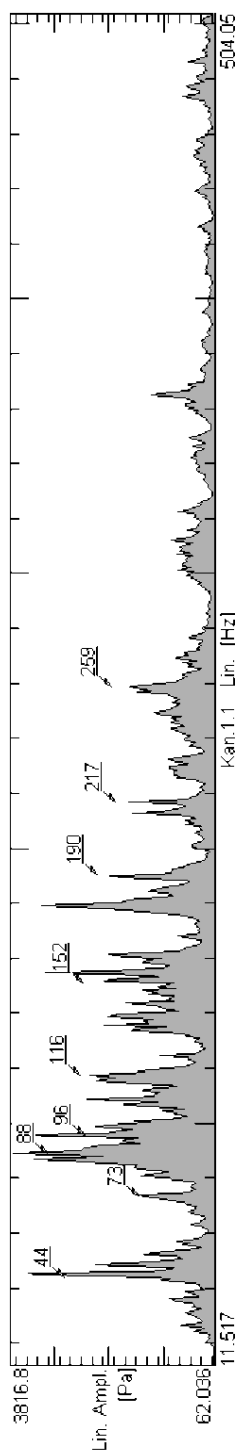


Rys.7. Schemat układu pomiarowego
Fig.7. The scheme of the measuring system



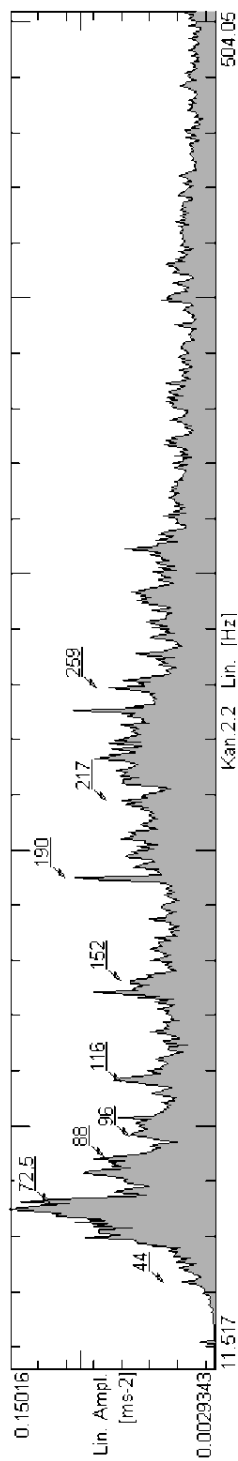
Rys.8. Zmiany ciśnienia akustycznego (a) w pp. nr 3 oraz przyspieszeń elementów konstrukcji: płyty pomostu (b), środznika dźwigara (c) i poprzecznicy (d) w funkcji czasu
Fig.8. Changes of acoustic pressure(a) and accelerations of the construction elements: deck (b), main girder web (c) and cross girder (d) in the time function

Otrzymywane z pomiarów sygnały miały postać analogową. Podstawową czynnością w procesie ich analizy była konwersja sygnału analogowego do postaci cyfrowej, w wyniku czego otrzymuje się ciąg dyskretnych wartości, określonych w kolejnych przedziałach czasu. Kolejny etap analizy to dokonanie transformacji sygnału z dziedziny czasu do dziedziny częstotliwości, przy zastosowaniu szybkiej transformacji Fouriera. Wybrane, charakterystyczne wyniki analiz przedstawiono na rysunkach 9 do 14.



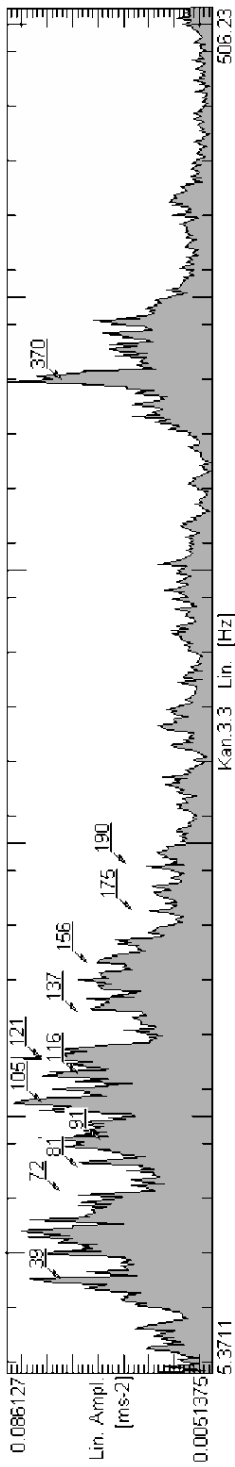
Rys.9. Widmo ciśnienia akustycznego obok mostu - pp. nr 3

Fig.9. The spectrum of the sound pressure near the bridge - measuring point no. 3



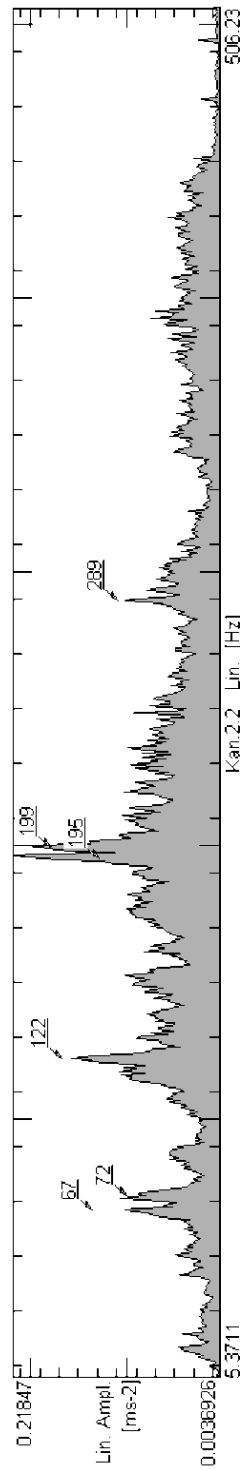
Rys.10. Widmo przyspieszeń płyty pomostu - pp. PI_y

Fig.10. The spectrum of the deck accelerations - measuring point - PI_y



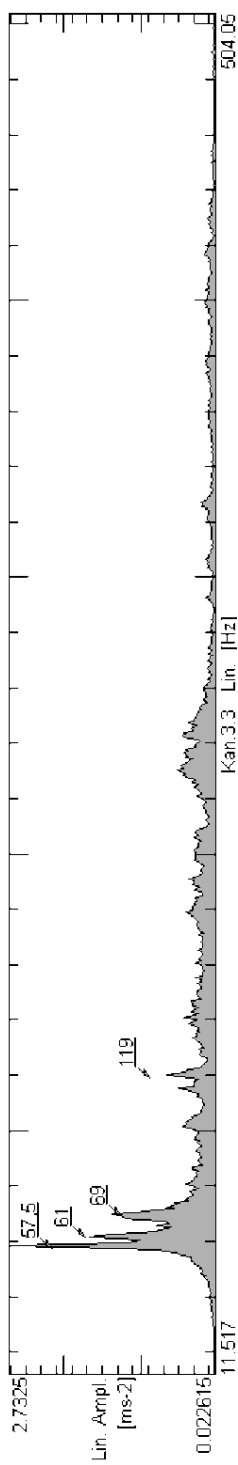
Rys.11. Widmo przyspieszeń środnika dźwigara głównego - pp. D_H

Fig.11. The spectrum of accelerations of the main girder web - measuring point D_H

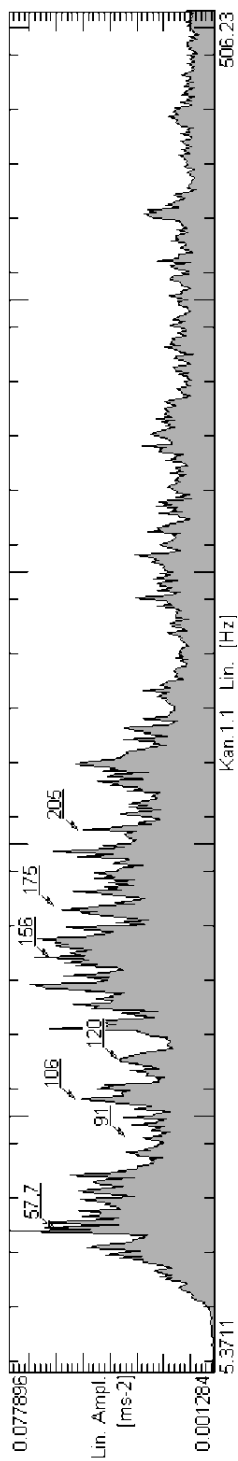


Rys.12. Widmo przyspieszeń pasa dźwigara głównego - pp. D_V

Fig.12. The spectrum of accelerations of the main girder flange - measuring point D_V



Rys.13. Widmo przyspieszeń płyty chodnika - pp. PC_V
 Fig.13. The spectrum of accelerations of the footway plate - measuring point PC_V



Rys.14. Widmo przyspieszeń poprzeczniczy - pp. PO_H
 Fig.14. The spectrum of accelerations of the cross girder (transom) - measuring point. PO_H

Do identyfikacji głównych źródeł hałasu w konstrukcji wiaduktu zastosowano funkcję koherencji, która jest oparta na dwukanałowym pomiarze: sygnału drganiowego i akustycznego. Porównanie wartości funkcji koherencji dla różnych elementów wiaduktu pozwala ustalić główne źródła promieniowania energii akustycznej. Miarą udziału danego elementu drgającego w wypromieniowanym ciśnieniu akustycznym jest kwadrat unormowanej funkcji korelacji wzajemnej, pomiędzy prędkością drgań i ciśnieniem akustycznym. Poddając zmierzone sygnały transformacji Fouriera otrzymujemy charakterystyki w dziedzinie częstotliwości, gdzie kwadratowi unormowanej funkcji korelacji wzajemnej odpowiada wartość unormowanej funkcji koherencji. Funkcję koherencji wyznaczono ze wzoru [8]:

$$\gamma_{xy}^2(f) = \frac{|\overline{G}_{xy}(f)|^2}{\overline{G}_{xx}(f) \cdot \overline{G}_{yy}(f)}, \quad (1)$$

gdzie:

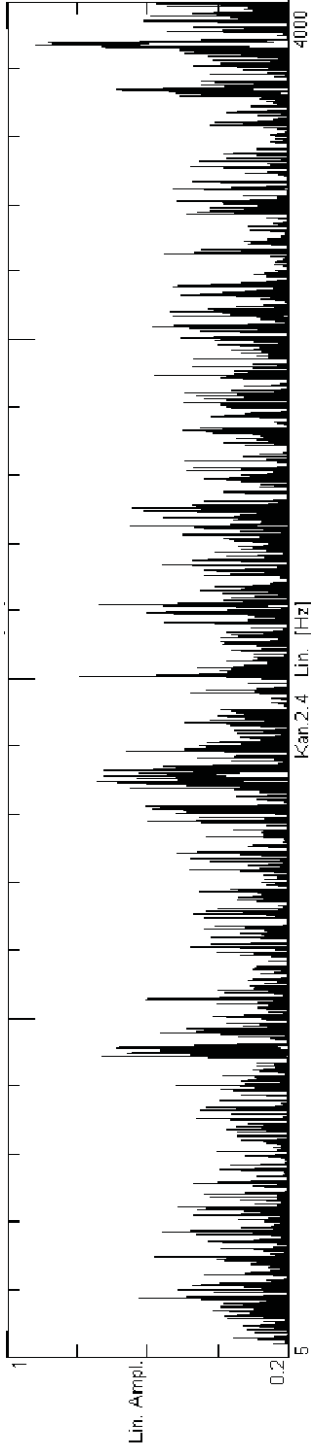
G_{xy} , G_{xx} , G_{yy} – gęstości widmowe wzajemne i własne sygnałów.

Funkcja koherencji ma wartości rzeczywiste i opisuje zależności między sygnałami w dziedzinie częstotliwości. Jeżeli między sygnałami (drganiowym i akustycznym) występuje zależność liniowa i sygnały nie są zakłócone szumami, to funkcja koherencji wynosi 1. W przypadku braku zależności liniowej funkcja jest równa 0. Wartość funkcji koherencji może być obniżona wskutek występowania szumów.

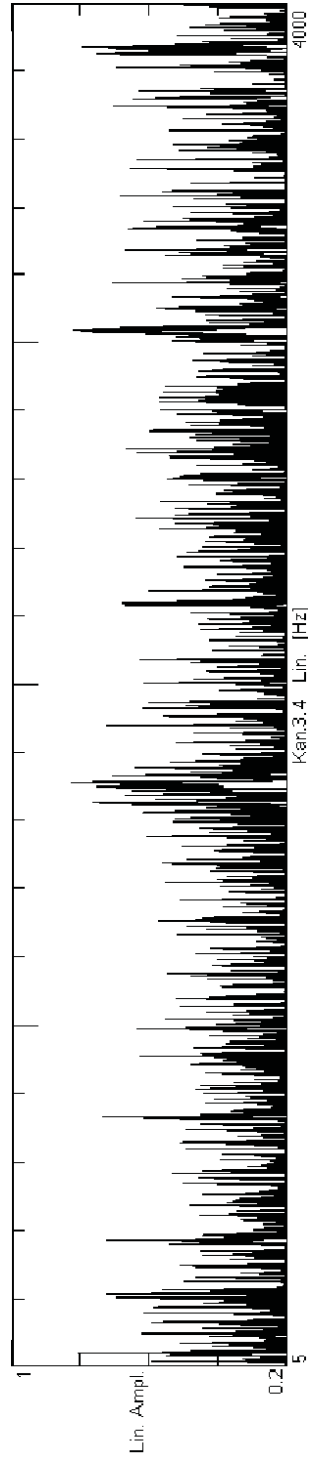
Przyjmując, że drgająca konstrukcja mostu promieniuje energię akustyczną poprzez poszczególne jej elementy (a szczególnie przez elementy wielkopowierzchniowe) można ją przedstawić jako zbiór wielu dyskretnych źródeł emitujących tę energię do środowiska. Ocenę wpływu drgań poszczególnych elementów na wartość ciśnienia akustycznego można przeprowadzić na podstawie funkcji koherencji, wyznaczonych między przyspieszeniami drgań poszczególnych elementów a ciśnieniem akustycznym w wybranym punkcie pola akustycznego. Pomiar i analizy przeprowadzono przynajmniej trzykrotnie w tych samych punktach pomiarowych, lecz przy różnych przejazdach pojazdów szynowych. Wybrane wyniki analiz przedstawiono na rysunkach 15 do 18.

Funkcje przedstawione powyżej pozwalają stwierdzić, że istnieją związki między zjawiskami drganiowymi elementów konstrukcji wiaduktu i zjawiskami akustycznymi w jego otoczeniu. Dla poszczególnych elementów wiaduktu, zawsze otrzymywano porównywalne funkcje koherencji. Podczas przejazdów różnych pociągów zmianie nie ulegały częstotliwości występowania prązków jak i wartości funkcji koherencji. Stąd można wyciągnąć wniosek, że procesy wibroakustyczne określone w czasie normalnej eksploatacji wiaduktu odzwierciedlają przede wszystkim właściwości geometryczne, mechaniczne i akustyczne obiektu, a nie charakter obciążenia użytkowego.

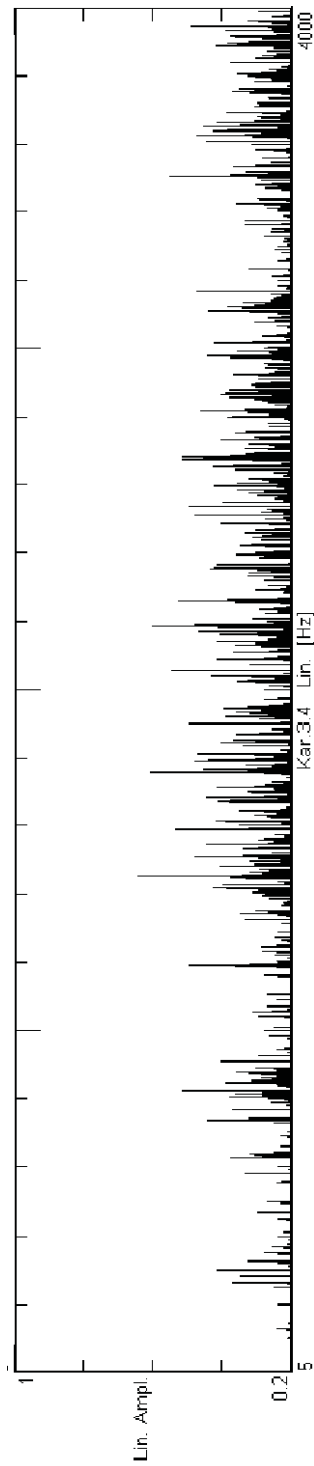
Na podstawie określonych funkcji koherencji można ponadto stwierdzić, że hałas występujący w sąsiedztwie analizowanego wiaduktu jest związany z drganiami układu jezdnego (w całym analizowanym zakresie częstotliwości), a przeważający udział w emisji dźwięku ma płyta pomostu i środnik dźwigara blachownicowego. Dla tych elementów wartość funkcji koherencji jest wyraźnie wyższa niż dla pozostałych.



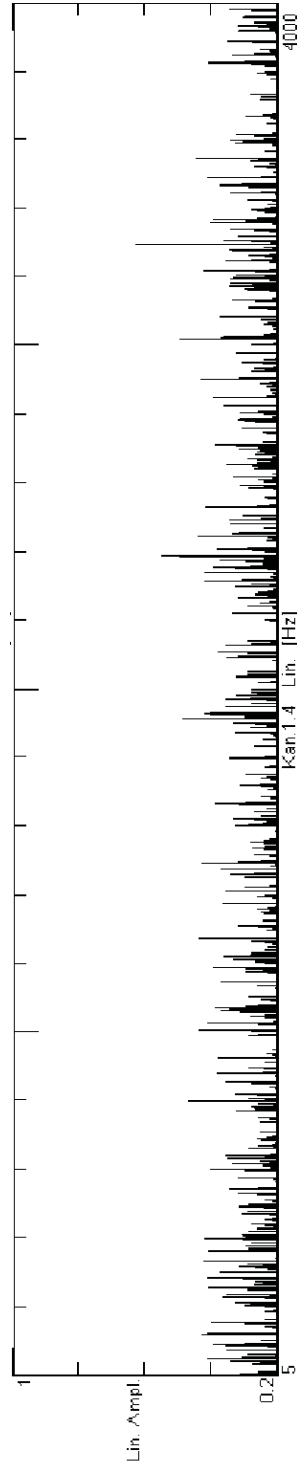
Rys.15. Funkcja koherencji między przyspieszeniami drgań płyty pomostu (P_{I_p}) i ciśnieniem akustycznym w pp. nr 3
 Fig.15. The coherence function between accelerations of the footway plate (P_{I_p}) and the sound pressure in measuring point no. 3



Rys.16. Funkcja koherencji między przyspieszeniami drgań środka dźwigara głównego (D_H) i ciśnieniem akustycznym w pp. nr 3
 Fig.16. The coherence function between accelerations the main girder web (D_H) and the sound pressure in measuring point no. 3



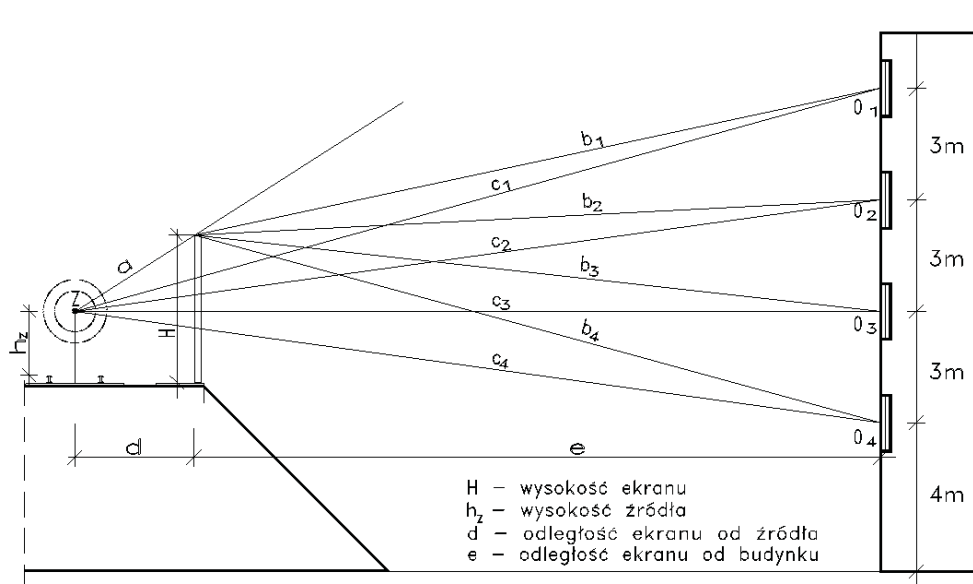
Rys. 17. Funkcja koherencji między przyspieszeniami drgań poprzeczniczy (PO_H) i ciśnieniem akustycznym w pp. nr 3
 Fig. 17. The coherence function between accelerations of the cross girder (PO_H) and the sound pressure in measuring point no. 3



Rys. 18. Funkcja koherencji między przyspieszeniami drgań płyty chodnika (PC_V) i ciśnieniem akustycznym w pp. nr 3
 Fig. 18. The coherence function between accelerations of the footway plate (PC_V) and the sound pressure in measuring point no. 3

5. ŚRODKI OCHRONY ŚRODOWISKA PRZED HAŁASEM

W celu ograniczenia uciążliwości hałasu należy przede wszystkim zastosować ekran akustyczny. Do analiz teoretycznych przyjęto ekran płaski, pionowy - rys. 19.



Rys.19. Pionowy ekran akustyczny
Fig.19. The vertical acoustic screen

Aby wyznaczyć efektywność akustyczną ekranowania, wykorzystano badania Radfearna, Delany'ego i Maekawy [9–10], przy czym głównie oparto się na wynikach Radfearna. Przyjęta metoda umożliwia obliczenia zarówno w przypadku źródła punktowego jak i liniowego. Przeanalizowano kilka wersji usytuowania ekranu. Szczegółowe obliczenia wykonano w dwóch wariantach. Wariant 1 to ekran o wysokości 3 m i umieszczony w odległości 3,8 m od osi toru i w odległości 24,2 m od budynku. Wariant 2 to ekran również o wysokości 3 m, lecz usytuowany w odległości 3,0 m od osi toru i w odległości 25 m od budynku. W obu przypadkach przyjęto wysokość źródła równą 1,5 m.

Efektywność (skuteczność) ekranowania ΔL_E dla czterech różnych punktów odbioru (4 piętra) określono z nomogramu [11] w zależności od liczby Fresnela N :

$$N = \frac{2 \cdot \delta}{\lambda}, \quad (2)$$

gdzie:

δ – różnica dróg promieniowania fali ugiętej na krawędzi ekranu i fali bezpośredniej: $\delta = a + b - c$ [m],

λ – długość fali akustycznej [m].

Wyniki obliczeń przedstawiono w tablicach 1 i 2.

Tablica 1. Wariant ekranu nr 1 (wysokość ekranu - 3 m, wysokość źródła - 1,5 m, odległość od środka toru do ekranu - 3,8 m, odległość ekranu od budynku 24,2 m)
Table 1. The variant of the screen No. 1 (the height of the screen - 3 m, the height of the noise source - 1.5 m, the distance between the railway track centre and the screen - 3.8 m, the distance between the screen and the building 24.2 m)

Punkty odbioru	δ [m]	ΔL_E [dB]
O_1	0,1	9
O_2	0,2	10,6
O_3	0,45	13
O_4	0,7	14,8

Tablica 2. Wariant ekranu nr 2 (wysokość ekranu - 3 m, wysokość źródła - 1,5 m, odległość od środka toru do ekranu - 3,0 m, odległość ekranu od budynku 25,0 m)
Table 2. The variant of the screen No. 2 (the height of the screen - 3 m, the height of the noise source - 1.5 m, the distance between the railway track centre and the screen - 3.0 m, the distance between the screen and the building 25.0 m)

Punkty odbioru	δ [m]	ΔL_E [dB]
O_1	0,2	10,6
O_2	0,23	11
O_3	0,5	13
O_4	0,8	15

Korzystniejszym rozwiązaniem jest umieszczenie ekranu bliżej toru tzn. w odległości 3,0 m od jego osi (wariant 2), jednak umieszczenie ekranu w odległości 3,8 m również zapewni wystarczające obniżenie poziomu hałasu.

Prognozowany maksymalny poziom hałasu w punkcie odbioru nr 1, po zastosowaniu ekranu wg wariantu nr 2 wynosi $L_{eq}=47,1$ dB (dopuszczalny poziom hałasu w środowisku 50 dB). Za wartość wyjściową do obliczeń przyjęto poziom równoważny zmierzony w porze nocnej.

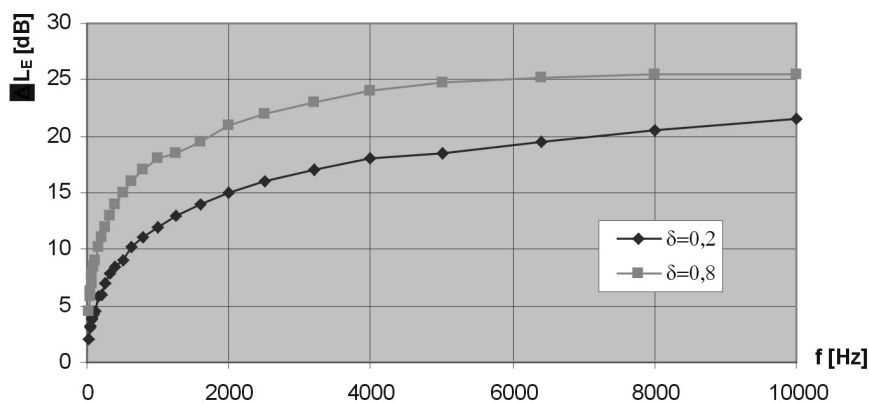
Skuteczność akustyczną ekranowania zaproponowanego ekranu obliczono w poszczególnych tercjowych pasmach częstotliwości (rys. 20). Dla każdego pasma wyznaczono skuteczność ekranowania ΔL_E korzystając z odpowiednich nomogramów i obliczając wartość liczby Fresnela w funkcji częstotliwości z następującej zależności:

$$N = \frac{2f_i \delta}{344}, \quad (3)$$

gdzie:

f_i – częstotliwość i -tego pasma (środkowa) w Hz,

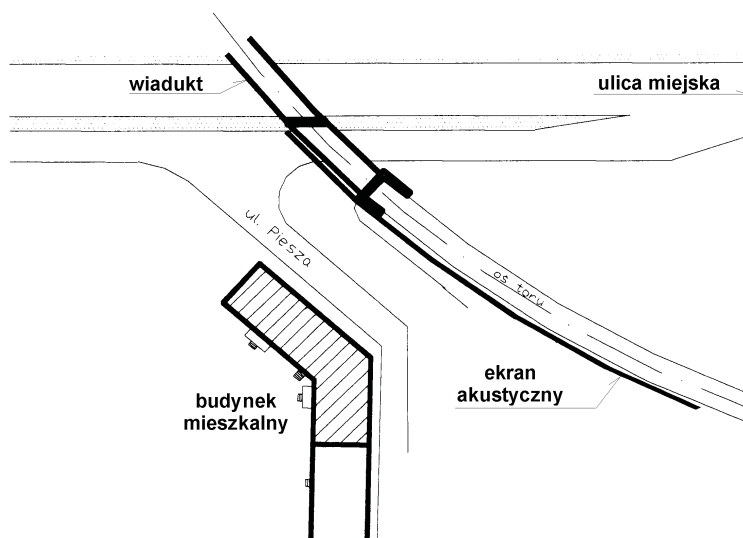
δ – różnica dróg promieniowania fali ugiętej na krawędzi ekranu i fali bezpośredniej (jak we wzorze 2).



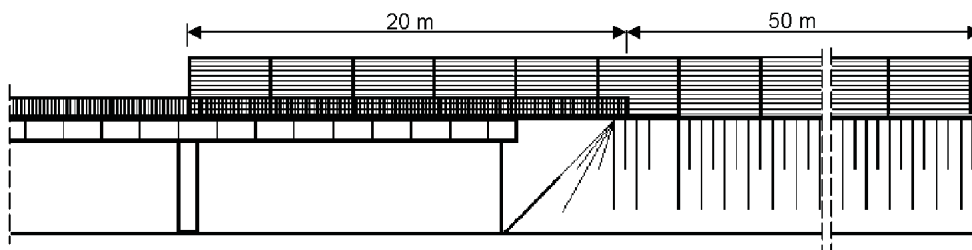
Rys.20. Wykres skuteczności ekranowania ΔL_E [dB] w zależności od częstotliwości środkowej (tercji) w [Hz] (skala liniowa)

Fig.20. The dependence between the efficiency of shielding ΔL_E [dB] and the frequency [Hz] (the lineal scale)

Ekran należy wykonać na długości 50 m przed wiaduktem (rys. 21 i 22). Jest to długość optymalna - wystarczająca dla ograniczenia hałasu w budynku mieszkalnym. Wskazane jest, aby od strony torowiska ekran wykonać z materiału silnie pochłaniającego dźwięki.



Rys.21. Proponowane usytuowanie ekranu akustycznego
Fig.21. The proposal of the location of the acoustic screen



Rys.22. Wiadukt, nasyp kolejowy i ekran akustyczny od strony budynku
 Fig.22. The viaduct, railway embankment and acoustic screen from the side of the block of flats

W celu ograniczenia hałasu pochodzącego od pociągu znajdującego się na wiadukcie należy również wykonać ekran akustyczny. Ze względu na usytuowanie budynku mieszkalnego i wiaduktu oraz ukształtowanie wiaduktu w łuku poziomym ekran należy wykonać na długości pierwszego przęsła. Ekran można umieścić w linii poręczy lub w linii dźwigara mostu po stronie chodnika. Zaleca się zamontowanie ekranu na zewnątrz poręczy, w taki sposób, aby jego dolna krawędź i spód konstrukcji wiaduktu znajdowały się na tym samym poziomie. Wskazane jest zamocowanie ekranu do wiaduktu poprzez elementy wibroizolacyjne w taki sposób, aby zminimalizować przeniesienie drgań. Aby ograniczyć ewentualny, niekorzystny wpływ ekranu na rozkład temperatur w konstrukcji wiaduktu należy wykonać go z materiału przezroczystego np. poliwęglanu.

Ponadto, aby ograniczyć emisję dźwięku powstającą na skutek drgań elementów mostu, należy na całym wiadukcie zastosować wibroizolację w postaci systemów do elastycznego mocowania szyn. Dzięki temu będzie można uniknąć prac związanych np. z tłumieniem drgań płyty pomostu czy środka dźwigara - a tym samym obniżyć koszty. Analizując systemy wibroizolacji należy zwrócić uwagę, aby drgania wywołane toceniem kół były maksymalnie tłumione. Materiał wibroizolacyjny może być użyty jako podlewka lub podkładka i powinien być tak ukształtowany, aby nie było możliwe jego wysuwanie się spod podkładki żebrowej szyny. Grubość materiału tłumiącego powinna wynosić nie mniej jak 30 mm.

6. WNIOSKI

Zastosowana metodyka badań akustycznych i wibroakustycznych pozwoliła na identyfikację głównych źródeł hałasu emitowanego do środowiska. Przeprowadzone badania pozwalają stwierdzić, że hałas w budynku mieszkalnym jest powodowany przez trzy główne źródła:

- I. Hałas generowany przez pociąg przejeżdżający po torze ułożonym na nasypie.
- II. Hałas powodowany przez pociąg przejeżdżający po torze ułożonym na wiadukcie. Przyczyny powstawania hałasu są tu analogiczne jak w źródle I, przy czym należy zaznaczyć, że dźwięki emitowane przez pociągi są częściowo tłumione przez dźwigary wiaduktu, które stanowią rodzaj ekranu akustycznego.

III. Hałas powstający wskutek drgań elementów konstrukcji wiaduktu. Przejazd pociągu wzbudza drgania elementów konstrukcji wiaduktu. Drgania, szczególnie elementów wielkopowierzchniowych (płyty pomostu i dźwigara blachownicowego), powodują emisję niepożądanych dźwięków w zakresie niskich i średnich częstotliwości.

Zaproponowane rozwiązania ograniczające zarówno hałas powstający na wolnym odcinku drogi kolejowej, jak również w bezpośrednim sąsiedztwie wiaduktu umożliwiają wyeliminowanie omawianej uciążliwości. Symulacje zaproponowanych rozwiązań wskazują na ich wystarczającą efektywność.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Knall V.*: Railway noise and vibration: effects and criteria. *Journal of Sound and Vibration*, nr 193, 1996
- [2] *Bovey E.*: Strategies for railway noise. *Journal of Sound and Vibration*, nr 193, 1996
- [3] *Stankiewicz B., Mańko Z.*: Ocena poziomu hałasu komunikacyjnego w aspekcie obiektów mostowych położonych w sąsiedztwie budynków mieszkalnych. I Sympozjum „Diagnostyka i badania mostów”, Opole 2001
- [4] *Janas L., Łakota W., Stojek Z.*: Problemy drgań i hałasu mostów blachownicowych. *Inżynieria i Budownictwo*, nr 3/2000, 159-162
- [5] *Janas L., Łakota W.*: Badania drgań mostu kolejowego dla potrzeb zmniejszenia emisji hałasu. I Sympozjum „Diagnostyka i Badania Mostów”, Opole 2001
- [6] *Janas L., Łakota W.*: Badania zjawisk wibroakustycznych w elementach mostu blachownicowego. *Structural Acoustics and Mechanics for Environmental Protection*, Kraków – Zakopane, 2000
- [7] *Jarominiak A.*: Przeglądy obiektów mostowych. WKŁ, Warszawa 1991
- [8] *Uhl T.*: Komputerowo wspomagana identyfikacja modeli konstrukcji mechanicznych. WNT, Warszawa 1997
- [9] *Engel Z.*: Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. PWN, Warszawa 1993
- [10] *Kucharski R.*: Metody prognozowania hałasu komunikacyjnego. Państwowa Inspekcja Ochrony Środowiska, Warszawa 1996
- [11] *Engel Z., Sadowski J., Stawicka-Wałkowska M., Zaremba S.*: Ekrany akustyczne. Ministerstwo Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa, Kraków 1990

ANALYSIS OF POSIBILITIES OF NOISE REDUCTION IN THE VICINITY OF STEEL BRIDGE AND RAILWAY LINE

Abstract

In the presented paper, the acoustic effects in the vicinity of railway plate girder bridges have been studied. The influence of plate girder bridge on the level of acoustic pressure in the neighbourhood of railway road was investigated, and frequency characteristics of noise generated by the dynamic load under regular operating conditions was measured. The results of the noise analysis performed in narrow and tierce frequency bands were presented for three different measurement configurations. A relationship between the frequency of material and acoustic vibrations was confirmed by the analysis of the coherence function of registered signals. Solutions for reduction of noise in the vicinity of railway bridge are presented.