

Marek Niemas*

CIĘŻKI RUCH KOŁOWY I JEGO WPŁYW NA KLIMAT WIBROAKUSTYCZNY W BUDYNKACH MIESZKALNYCH

W artykule scharakteryzowano zjawisko wibroakustyczne, jakim jest przejazd pojazdu ciężkiego w pobliżu budynku. Opiszano sposób oceny tego zjawiska rozdzielnie (drżania i hałas) według ogólnie przyjętych kryteriów normowych. Zaproponowano kompleksowy sposób oceny (pomiaru) drgań i hałasu, przyjmując, że drżania wywołane ciężkim ruchem kołowym są przyczyną zwiększenia poziomu ciśnienia akustycznego w budynkach mieszkalnych na skutek zjawiska promieniowania energii akustycznej przez przegrody budowlane otaczające pomieszczenia mieszkalne, pobudzone do drgań przez przejeżdżające pojazdy (zwłaszcza ciężkie). Podano również metody ochrony budynków mieszkalnych przed drżaniami i hałasem pochodzącymi od ruchu komunikacyjnego.

1. Stan zagadnienia

Przejazd ciężkiego pojazdu o masie rzeczywistej od kilkunastu do kilkudziesięciu ton oprócz wytwarzania hałasu (niepożądanego dźwięku) w wyniku pracy silnika, toczenia się kół po jezdni lub szynach, wylotu spalin, powoduje również wzbudzenie drgań jezdni, podtorza, gruntu. Jest to zjawisko wibroakustyczne, w którym hałas i drżania występują jednocześnie i są fizycznie nierozdzielalne, tzn. czas występowania obydwu zjawisk jest taki sam, mimo że ich źródła są różne.

Drgania wzbudzone przez źródło (w naszym przypadku pojazd ciężki) dochodzą do podłoża, wzbudzając go do drgań rozchodzących się we wszystkich kierunkach (tworząc fale), fale w podłożu dochodzą do obiektu odbierającego drżania „odbiornika” (np. fundamentu budynku) i rozprzestrzeniają się poprzez fundament na cały budynek, powodując jego drżania. Podczas propagacji drgań (zależnej od ośrodka) następuje wiele zjawisk mających wpływ na kształt fali oraz na jej energię. Zalicza się do nich:

- dyssypację energii (stratę energii) spowodowaną absorpcją i tłumieniem drgań w danym ośrodku,
- dyssypację energii (stratę energii) w miejscach kontaktowych spowodowaną zmianami gęstości ośrodka (np. przy przejściu ze źródła do ośrodka propagacji oraz przejściu z ośrodka propagacji na odbiornik),

* dr inż. – adiunkt w Zakładzie Akustyki ITB

- dyssypację energii (stratę energii) spowodowaną przejściem przez naturalne lub sztuczne przeszkody.

Występujące w pomieszczeniach wartości poziomów ciśnienia akustycznego oraz przyspieszeń (lub prędkości drgań) na przegrodach budowlanych ulegają zmniejszeniu w stosunku do wartości źródłowych (generowanych przez przejeżdżający pojazd).

Zmniejszenie poziomu dźwięku na drodze źródło → pomieszczenie zależy od:

- odległości budynku od źródła,
- warunków rozprzestrzeniania się dźwięku na odcinku pomiędzy źródłem a budynkiem,
- konstrukcji budynku, a w szczególności izolacyjności akustycznej ściany zewnętrznej.

Są to zagadnienia stosunkowo dobrze znane (może z wyjątkiem zakresu niskich częstotliwości, które mogą występować podczas przejazdu pojazdów ciężkich) [1], [2].

2. Ocena drgań i hałasu według istniejących aktów prawnych

2.1. Wymagania normowe dotyczące oceny wpływu drgań na budynki, ludzi i urządzenia w budynkach

Ludzie oraz obiekty budowlane mogą być poddawane różnego rodzaju działaniom dynamicznym, które powinny być uwzględnione zarówno w obliczeniach projektowych, jak i w diagnostyce budowli. Uwzględniając bierny sposób odbioru drgań przez ludzi znajdujących się w budynkach oraz bezpośredni (źródła drgań w budynku) i pośredni (drgania przekazywane przez podłoże) sposób przekazywania drgań na budynek można stwierdzić, że zasadniczymi polskimi dokumentami normatywnymi z tego zakresu są:

- PN-85/B-02170 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki,

- PN-88/B-02171 Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach,
- PN-80/B-03040 Fundamenty i konstrukcje wsporcze pod maszyny.

Przedmiotem PN-85/B-02170 jest ocena szkodliwości drgań przekazywanych na budynki traktowane jako całość oraz na urządzenia i aparaturę umieszczoną w budynkach. Drgania przekazywane są na budynki przez podłoże, a źródłami tych drgań są źródła parasejsmiczne. Normę stosuje się przy diagnostyce szkodliwości drgań na istniejące budynki przy znanym lub prognozowanym narażeniu wibracyjnym oraz przy projektowaniu budynków, jeśli przewiduje się, że będą one narażone na drgania przekazywane przez podłoże. W normie pomija się wpływ drgań przekazywanych przez oceniany obiekt na podłoże. Do oceny szkodliwości drgań stosuje się skale wpływów dynamicznych (SWD) określające tzw. strefy wpływów dynamicznych. Skala SWD I odnosi się do budynków zwartych, o małych wymiarach rzutu poziomego, jednej lub dwóch kondygnacjach oraz wysokości nie przekraczającej żadnego z wymiarów rzutu poziomego. SWD Skala II dotyczy budynków kilkukondygnacyjnych (do 5 kondygnacji), o konstrukcji murowanej lub mieszanej, w których $h/b_{\min} \leq 2$ (h – wysokość budynku, b_{\min} – jego najmniejsza szerokość).

Przedmiotem PN-88/B-02171 są metody oceny wpływu drgań na ludzi znajdujących się w budynkach oraz dopuszczalne wartości parametrów tych drgań. Ocenie podlegają

drżania w pasmie od 1 Hz do 80 Hz. Norma określa dopuszczalne wartości parametrów drgań mechanicznych oddziałujących na ludzi, którzy odbierają drżania w sposób bierny, w celu zapewnienia ludziom wymaganego komfortu w różnych warunkach ich przebywania w pomieszczeniach mieszkalnych, biurach, warsztatach pracy oraz w pomieszczeniach o charakterze specjalnym (szpitalach, precyzyjnych laboratoriach).

Przedmiotem PN-80/B-03040 są zasady posadowienia maszyn mogących być źródłami drgań w budynkach na fundamentach lub konstrukcjach wsporczych, zasady wyznaczania obciążeń dynamicznych maszyn oraz wymagania dotyczące ustawiania maszyn na stropach budynków przemysłowych.

2.2. Wymagania normowe dotyczące oceny hałasu oddziałującego na ludzi w budynkach

Zasadniczymi polskimi dokumentami normatywnymi określającymi sposób pomiaru hałasu w mieszkaniach, pochodzącego z zewnętrznych źródeł (m.in. od ruchu komunikacyjnego), są:

- PN-81/N-01306 Hałas. Metody pomiaru. Wymagania ogólne,
- PN-87/B-02156 Metody pomiaru dźwięku *A* w budynkach,
- PN-87/B-02151/02 Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach.

Przedmiotem PN-81/N-01306 są wymagania ogólne w zakresie metod pomiaru parametrów akustycznych charakteryzujących hałas maszyn i urządzeń technologicznych oraz metod pomiaru hałasu w miejscach przebywania ludzi i na stanowiskach pracy wewnątrz i na zewnątrz budynków. Norma ustanawia wielkości mierzone, które są niezbędne do uzyskania wiadomości o hałasie, do oceny tego hałasu i do przedsięwzięcia środków w celu jego zmniejszenia.

Przedmiotem PN-87/B-02156 są metody pomiaru i oceny dźwięku *A* w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania ludzi: w budynkach mieszkalnych, obiektach zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Normę należy stosować przy pomiarach poziomu dźwięku *A* w celu oceny zgodności warunków akustycznych z wymaganiami podanymi w PN-87/B-02151/02.

W normie PN-87/B-02151/02 podano dopuszczalne wartości równoważnego poziomu dźwięku *A* (L_{Aeq}) w pomieszczeniach (przy zamkniętych oknach i drzwiach), w zależności od przeznaczenia pomieszczenia i pory (diennej i nocnej), w której hałas występuje. Zgodnie z tą normą dopuszczalny równoważny poziom dźwięku L_{Aeq} hałasu przenikającego ze wszystkich źródeł zewnętrznych łącznie, określany:

- w przypadku najbardziej niekorzystnych 8 godzin w ciągu dnia (od godz. 6⁰⁰ do 22⁰⁰) nie powinien przekraczać wartości:

$$\begin{aligned}L_{Aeq} &= 40 \text{ dB} - \text{w pokojach,} \\L_{Aeq} &= 45 \text{ dB} - \text{w kuchniach;}\end{aligned}$$

- w przypadku najbardziej niekorzystnej 0,5 godziny w ciągu nocy (od godz. 22⁰⁰ do 6⁰⁰) nie powinien przekraczać wartości:

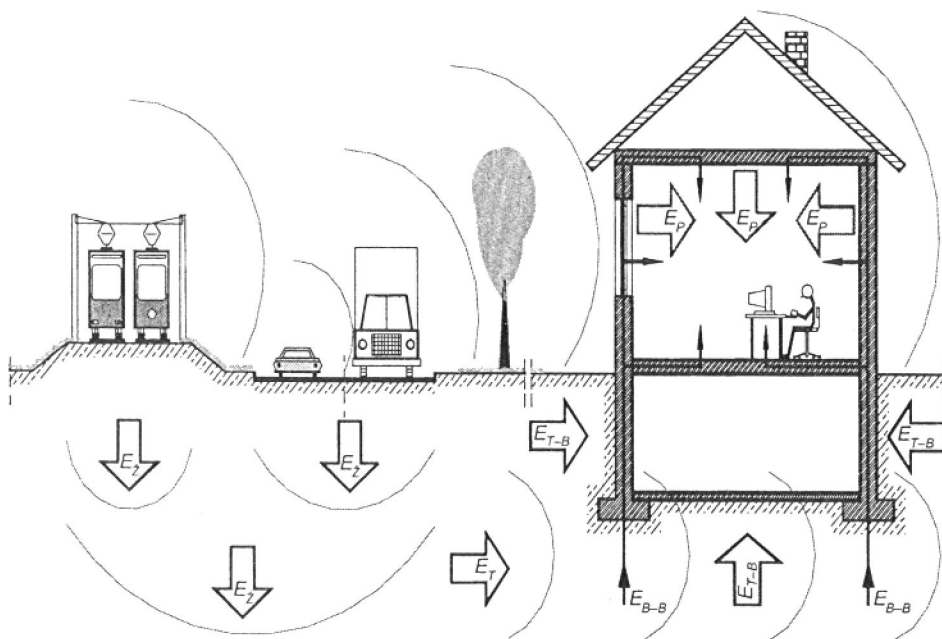
$$\begin{aligned}L_{Aeq} &= 30 \text{ dB} - \text{w pokojach,} \\L_{Aeq} &= 40 \text{ dB} - \text{w kuchniach.}\end{aligned}$$

W stosunku do innych pomieszczeń nie stawiane są żadne wymagania.

Przedstawione tu polskie akty normatywne nie w pełni uwzględniają charakter hałasu pochodzącego od ruchu komunikacyjnego. Dlatego też w Zakładzie Akustyki ITB podjęto prace mające na celu ocenę pomiarową hałasu w mieszkaniach pochodzącego od ruchu komunikacyjnego, zwłaszcza od ciężkiego ruchu kołowego, z uwzględnieniem rzeczywistego charakteru zjawiska (hałas i drgania występujące jednocześnie). Poniżej zostały przedstawione rezultaty tych prac.

3. Kompleksowa ocena zjawiska występowania łącznie hałasu i drgań pochodzących od ciężkiego ruchu kołowego

Zjawisko powstawania w pomieszczeniach mieszkalnych hałasu powodowanego występowaniem drgań na powierzchniach przegród budowlanych ograniczających pomieszczenie (ścian, sufitów, podłóg) jest bardzo złożone (rys. 1).



Rys. 1. Schemat propagacji do budynku drgań wywołanych ruchem komunikacyjnym [3]
Fig. 1. Diagram of the propagation of traffic-induced vibrations to a residential building

Końcowy efekt zjawiska transmisji energii drgań do budynku, czyli **promieniowanie energii akustycznej przez pobudzone do drgań przegrody budowlane ograniczające pomieszczenia mieszkalne – E_p** , jest zależne od czterech zjawisk:

- rozprzestrzeniania się drgań po konstrukcji budynku, E_{B-B} ,
- pobudzenia do drgań konstrukcji budynku poprzez interakcję podłoża i fundamentu budynku, E_{T-B} ,
- propagacji fali w podłożu na drodze źródło \rightarrow budynek, E_T ,

- wzbudzenia podłoża do drgań przez przejeżdżający ciężki pojazd (tramwaj, autobus, itp.), czyli wygenerowania fali drganiowej, E_z .

Czas przejazdu pojazdu wzdłuż rozpatrywanego budynku, mogącego wzbudzić grunt do drgań (autobusu, tramwaju, samochodu ciężarowego, ciągnika siodłowego z naczepą, pociągu naziemnego lub podziemnego), jest to czas rzędu kilku sekund (w zależności od odległości budynku od linii komunikacyjnej), a więc zjawisko to można zaliczyć do zjawisk krótkotrwałych, nieokresowych, o zmiennej częstotliwości występowania. Opracowując metodę pomiarową, przyjęto taki sposób rejestracji i analizy sygnału, aby uwzględnić wszystkie fizyczne aspekty ocenianego zjawiska.

W celu oceny tego zjawiska na drodze pomiarowej konieczna jest znajomość następujących wielkości:

- uśrednionego w czasie i przestrzeni poziomu ciśnienia akustycznego w badanym pomieszczeniu, przyjmując jako czas trwania drgań czas przejazdu pojedynczego pojazdu (tzn. czas, w którym wartości amplitud prędkości drgań były większe niż 0,2 wartości maksymalnej) [3], [4],
- średnich wartości amplitud lub poziomów prędkości drgań na każdej z przegród budowlanych ograniczających badane pomieszczenie (przyjętych dla takiego samego odcinka czasu jak rejestracja poziomu ciśnienia akustycznego),
- wartości funkcji wiążącej poziomy ciśnienia akustycznego oraz prędkości drgań w celu określenia istnienia wzajemnego podobieństwa badanych sygnałów.

Tablica 1. Wartości sumaryczne rzeczywistego poziomu ciśnienia akustycznego $L_{p(1+160)}$ oraz sumarycznego przyrostu poziomu ciśnienia akustycznego ($\Delta L_{p(1+160)}$) (dla transmisji dźwięku drogą materiałową) z zakresu 1÷160 Hz [1, 2, 3]

Table 1. The total values of the real sound pressure level $L_{p(1+160)}$ and the total rise in the sound pressure level $\Delta L_{p(1+160)}$ (transmission of sound by the material path) from range 1÷160 Hz

Lokalizacja budynku (źródło)	$L_{p(1+160)}$, dB	$\Delta L_{p(1+160)}$, dB,
al. Solidarności (tramwaj)	90,8	10,3
ul. Mickiewicza (tramwaj)	78,6	9,1
ul. Nowowiejska (tramwaj)	72	8,6
ul. Wiktorska (autobus)	70,1	6,8
ul. Grochowska (tramwaj)	84,3	3,3
ul. Grochowska (autobus)	82,6	1,7
al. Niepodległości (samochód ciężarowy)	70,3	4,8
ul. Wiktorska (tramwaj)	68,1	4,4
ul. Wiktorska (samochód ciężarowy)	68,5	4,2
al. Niepodległości (autobus)	69,3	3,9
ul. Grochowska (ciągnik siodłowy z naczepą)	88,4	7,6

W Zakładzie Akustyki została opracowana procedura pomiarowo-obliczeniowa będąca częścią rozprawy doktorskiej autora [3].

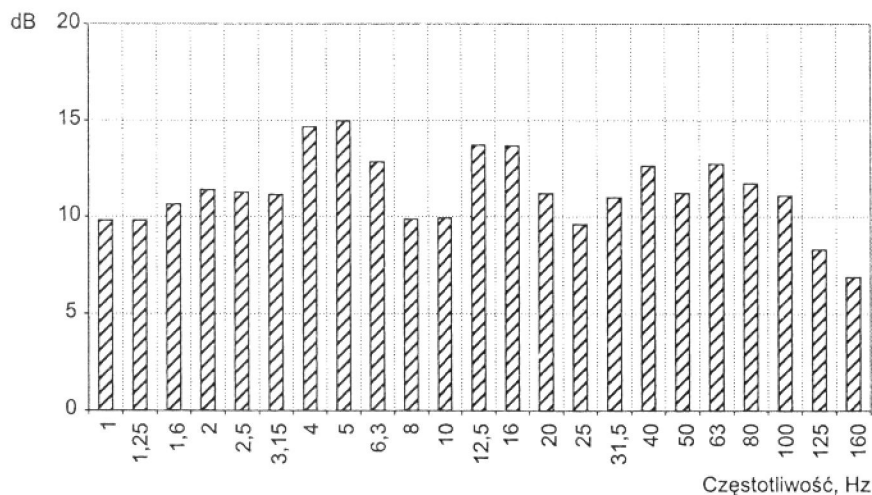
Opracowaną procedurę pomiarową zweryfikowano w laboratorium na modelu pomieszczenia zamkniętego oraz w warunkach rzeczywistych.

W celu szerszego rozpoznania problemu występowania drgań w mieszkaniach na przegrodach budowlanych ograniczających pomieszczenia mieszkalne, towarzyszących przejazdom ciężkich pojazdów, oraz potwierdzenia ich wpływu na poziom ciśnienia akustycznego w badanym pomieszczeniu przeprowadzono równoczesne pomiary prędkości drgań i poziomu ciśnienia akustycznego w kilku budynkach mieszkalnych według opracowanej procedury pomiarowej. Pomieszczenia mieszkalne we wszystkich przypadkach znajdowały się na parterze od strony ulicy (aby zminimalizować wpływ konstrukcji budynku na przenoszenie drgań).

W tablicy 1 przedstawiono rezultaty obliczeń poziomów ciśnienia akustycznego będącego wynikiem występowania drgań na przegrodach ograniczających badane pomieszczenia mieszkalne. Przy obliczeniach wykorzystano funkcję koherencji uwzględniającą wyniki pomiarów poziomu hałasu i drgań w pomieszczeniu oraz poziomu tła akustycznego (w przypadku braku występowania źródeł zakłócających).

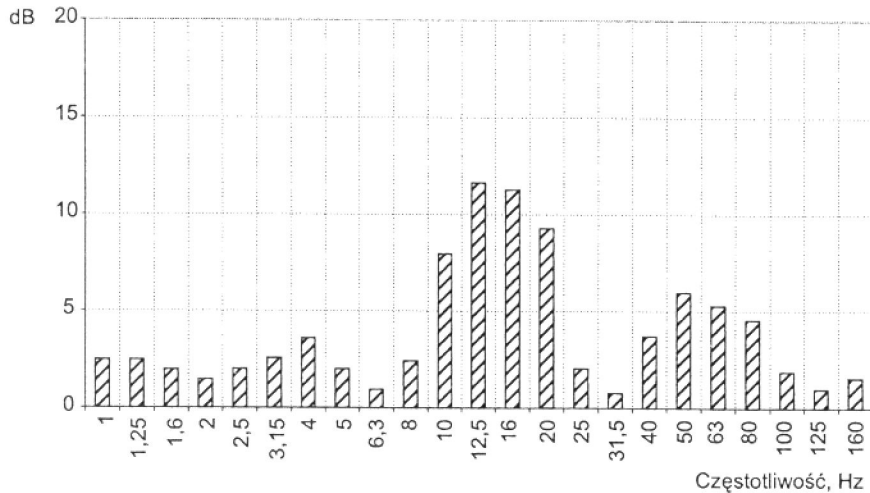
Przykładowe wyniki obliczeń (rys. 1, 2 i 3) pogrupowano według rodzaju pojazdów będących źródłami sygnału wibroakustycznego w badanych pomieszczeniach mieszkalnych.

TRAMWAJE



Rys. 2. Przyrost wartości poziomu ciśnienia akustycznego (wynikający z funkcji koherencji) – pomieszczenie w budynku Muzeum Niepodległości (przejazd tramwaju) [3–6]
Fig. 2. Increase in the value of the sound pressure level (resulting from the coherence function) – room in the building of the Museum of Independence (passing of a tram)

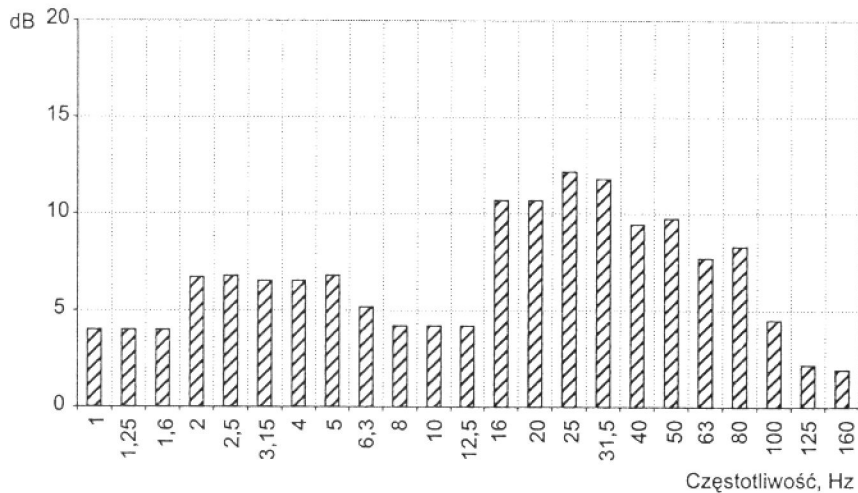
AUTOBUSY



Rys. 3. Przyrost wartości poziomu ciśnienia akustycznego (wynikający z funkcji koherencji) – pomieszczenie w budynku mieszkalnym przy al. Niepodległości w Warszawie (przejazd autobusu MZK) [3–6]

Fig. 3. Increase in the value of the sound pressure level (resulting from the coherence function) – room in residential building at Niepodległości Ave. in Warsaw (passing of MZK bus)

SAMOCZODY CIĘŻAROWE



Rys. 4. Przyrost wartości poziomu ciśnienia akustycznego (wynikający z funkcji koherencji) – pomieszczenie w budynku mieszkalnym przy ul. Grochowskiej w Warszawie (przejazd ciągnika siodłowego z naczepą) [3–6]

Fig. 4. Increase in the value of the sound pressure level (resulting from the coherence function) – room in residential building at Grochowska St. in Warsaw (passing of truck tractor with semi-trailer)

4. Ogólne zasady ochrony przeciwdrganiowej budynków

Jeżeli w wyniku analizy obliczeniowej lub na podstawie bezpośrednich pomiarów dynamicznych wykonywanych na obiekcie odbierającym drgania zostanie stwierdzony niekorzystny wpływ tych drgań na obiekt budowlany lub na ludzi w nim przebywających, wówczas powinny być zastosowane odpowiednie środki techniczne, prowadzące do zmniejszenia skutków drgań. Środki te zależą od bardzo wielu czynników i możliwości technicznych oraz ekonomicznych.

4.1. Ochrona czynna

W przypadku gdy istnieje możliwość obniżenia drgań źródeł, wówczas mamy do czynienia z ochroną czynną. Obejmuje ona wiele rozwiązań, w zależności od rodzaju źródła; i tak poziom drgań można obniżyć:

- w przypadku źródeł komunikacyjnych – między innymi przez poprawę stanu technicznego pojazdów, reorganizację ruchu, czyli zmniejszenie udziału pojazdów ciężkich w potoku pojazdów, zastosowanie podkładek wibroizolacyjnych dla podtorzy tramwajowych lub zmianę torowiska),
- w przypadku źródeł technologicznych – między innymi przez wyważenie elementów wirujących, zastosowanie wibroizolacji czynnej lub biernej, oddylatowanie fundamentów maszyn od konstrukcji budynków).

4.2. Ochrona bierna

Jeżeli nie istnieje możliwość obniżenia drgań źródeł, wówczas mamy do czynienia z ochroną bierną. Obejmuje ona działania na drodze propagacji drgań oraz działania bezpośrednie w budynku odbierającym drgania.

Działania mające na celu ograniczenie propagacji drgań sprowadzają się głównie do wykonania przegród w gruncie pomiędzy źródłem a budynkiem odbierającym drgania. Przegrody te są nazywane ekranami antywibracyjnymi. Ekranu te mają zastosowanie w przypadku powierzchniowych lub przypowierzchniowych źródeł drgań parasejsmicznych i powinny być sytuowane – w przeciwieństwie do ekranów akustycznych – jak najbliżej obiektu podlegającego ochronie. Wymiary i konstrukcje ekranów powinny być dobierane dla każdego przypadku indywidualnie i powinny być sprawdzone analitycznie oraz doświadczalnie.

Zasadniczym celem podczas stosowania ekranów antywibracyjnych jest zmiana właściwości podłoża na drodze propagacji i doprowadzenie do dysypacji energii drganiowej w miejscu kontaktu podłoża z ekranem. Przykładem ekranu antywibracyjnego może być rów, którego głębokość jest zależna od głębokości fundamentu chronionego budynku i jego wymiarów w rzucie. Rów ten może być wypełniony materiałem, w którym prędkość rozchodzenia się fal różni się znacząco od prędkości rozchodzenia się fal w danym podłożu lub może pozostać niewypełniony (ze względów technicznych jest to rzadko stosowane rozwiązanie).

Działania bezpośrednie w budynku odbierającym drgania obejmują [2]:

- odsunięcie budynku od źródła drgań (zazwyczaj na etapie projektowania),
- zmianę warunków posadowienia budynku (zazwyczaj na etapie projektowania),

- zmianę charakterystyki dynamicznej budynku (zwiększenie lub zmniejszenie okresu drgań własnych poprzez zmianę sztywności, zmianę rozpiętości, zmianę podpór oraz zwiększenie masy poprzez zastosowanie tłumików mechanicznych),
- zastosowanie wibroizolacji biernej budynku lub jego elementów (oddzielenie fundamentu budynku lub fragmentu budynku od ośrodka doprowadzającego drgania poprzez zastosowanie wibroizolacji).

5. Zasady ochrony przeciwhałasowej budynków

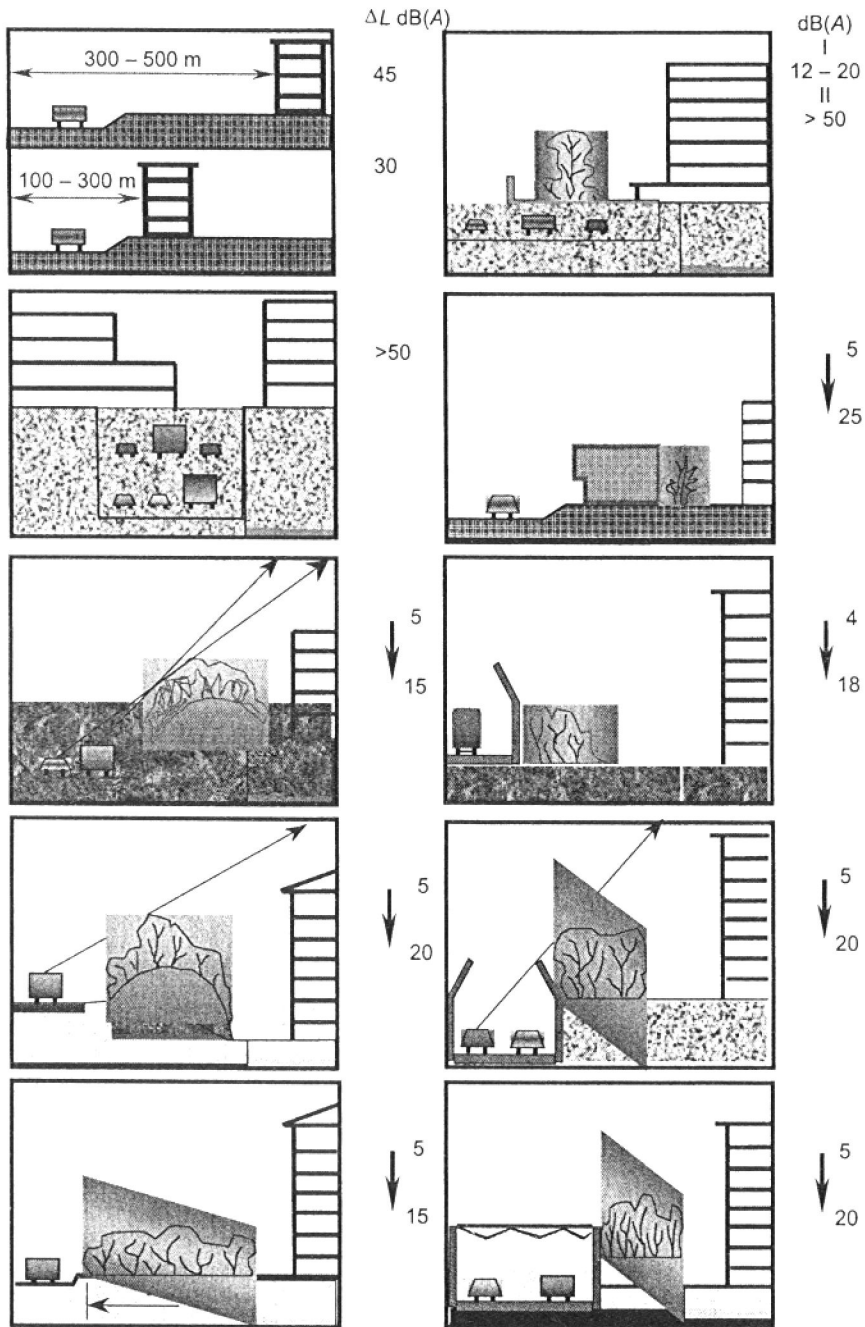
Ważnym elementem ochrony przed hałasem komunikacyjnym są obwodnice. Stosowanie ich prowadzi do eliminacji lub znacznego ograniczenia ruchu komunikacyjnego, a więc i poziomu hałasu na terenach chronionych przed hałasem (w szczególności wywoływanym przez ciężkie pojazdy transportowe (TIR-y)). Czynnikiem ograniczającym hałas może być także organizacja ruchu. Projektowane nowe trasy komunikacyjne powinny mieć prawidłowo zaprojektowane zabezpieczenia, chroniące tereny z zabudową mieszkaniową i inne wymagające ciszy przed hałasem i drganiami.

W odniesieniu do budynków mieszkalnych i innych wymagających ochrony przed hałasem zewnętrznym zestaw środków ochrony jest następujący:

- odpowiednia lokalizacja budynku na działce, uwzględniająca fakt, że elewacje usytuowane pod kątem do źródła hałasu, na przykład trasy komunikacyjnej, są narażone na poziom hałasu mniejszy o (3–5) dB od elewacji równoległych do trasy [7],
- kształtowanie bryły budynku prowadzące do samoekranowania fragmentów budynku, w których będą usytuowane pomieszczenia pełniące funkcje wymagające ciszy,
- usytuowanie pomieszczeń w budynkach uwzględniające zróżnicowany stopień narażenia na hałas poszczególnych elewacji budynku: na przykład w budynku mieszkalnym usytuowanie pokoi sypialnych po stronie mniej narażonej na działanie hałasu,
- stosowanie przegród zewnętrznych o dostosowanej do poziomu hałasów zewnętrznych izolacyjności akustycznej (wymaganie obligatoryjne według PN-B-02151-3:1999),
- stosowanie okien o podwyższonej izolacyjności, pozwalającej na spełnienie warunków izolacyjności akustycznej już istniejących w budynkach ścian zewnętrznych,
- stosowanie ekranów akustycznych przy arteriach komunikacyjnych, po przeanalizowaniu zasadności ich budowy zarówno pod względem akustycznym, jak i ekonomicznym (zasady ekranowania budynków przedstawiono na rysunku 5).

6. Wnioski

Ciężki ruch kołowy występujący na arteriach komunikacyjnych usytuowanych w pobliżu budynków mieszkalnych powoduje uciążliwy hałas i drgania w zakresie niskich częstotliwości (do 200 Hz) w pomieszczeniach mieszkalnych. Dotychczasowy sposób oceny pomiarowej opisany w polskich aktach normatywnych pozwala na ocenę tego zjawiska rozdzielnie w przypadku hałasu i w przypadku drgań.



Rys. 5. Zasady ekranowania budynków zabezpieczającego przed hałasem zewnętrznym [7]
 Fig. 5. Rules of protection of buildings against exterior noise

Opracowana w Zakładzie Akustyki ITB metoda pomiarowo-obliczeniowa, będąca częścią pracy doktorskiej Autora [3], pozwala w sposób kompleksowy ocenić występujący w pomieszczeniach mieszkalnych hałas generowany przez przejeżdżające ciężkie pojazdy, z uwzględnieniem drgań występujących na przegrodach ograniczających pomieszczenia mieszkalne. Na podstawie wykonanych według tej metody jednoczesnych pomiarów hałasu i drgań występujących w pomieszczeniach mieszkalnych można jednoznacznie określić, jaka część poziomów ciśnienia akustycznego jest spowodowana przez drgania generowane podczas przejazdu ciężkich pojazdów.

Metoda ta została zweryfikowana pomiarowo w odniesieniu do budynków masywnych. Istnieje potrzeba rozszerzenia jej stosowania na inne rodzaje konstrukcji budynków, co wymaga dalszych prac pomiarowych w warunkach rzeczywistych.

Zakład Akustyki dysponuje niezbędną aparaturą oraz przygotowaniem merytorycznym i może podjąć się oceny pomiarowej takich przypadków w warunkach rzeczywistych, jeżeli zaistnieje konieczność oszacowania wpływu drgań wzbudzanych przez pojazdy ciężkie na hałas występujący w mieszkaniach narażonych na jednoczesną ekspozycję hałasu i drgań komunikacyjnych. W tym celu została opracowana procedura pomiarowa, która może zostać akredytowana po jej zwalidowaniu w warunkach rzeczywistych.

Bibliografia

- [1] Ciesielski R., Kawecki J., Maciąg E.: Ocena wpływu wibracji na budowle i ludzi w budynkach. ITB, Warszawa 1992
- [2] Ciesielski R., Maciąg E.: Drgania drogowe i ich wpływ na budynki. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1990
- [3] Niemas M.: Ocena wpływu jednoczesnego występowania hałasu i drgań od ruchu komunikacyjnego na warunki akustyczne w budynkach mieszkalnych. Rozprawa doktorska. Promotor: prof. zw. dr hab. inż. Jerzy Sadowski. Warszawa 1999; maszyn., biblioteka ITB
- [4] Niemas M.: Ocena wpływu jednoczesnego występowania hałasu i drgań od ruchu komunikacyjnego na warunki akustyczne w budynkach mieszkalnych. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik*, 1 (109), 1999
- [5] Niemas M., Sadowski J.: Wpływ drgań od ciężkiego ruchu kołowego na poziomy ciśnienia akustycznego w mieszkaniach. Materiały konferencji „Wpływ wibracji na otoczenie”, Janowice, wrzesień 1998
- [6] Niemas M., Sadowski J.: Methods of evaluating the influence of vibrations on sound pressure levels in buildings. Materiały konferencji „Internoise 2000”, Nice 2000
- [7] Sadowski J., Szudrowicz B.: Inżynieria środowiska w kształtowaniu klimatu akustycznego środowiska i jego ochronie przed hałasem i drganiami. I Kongres Inżynierii Środowiska, Lublin 2002

INFLUENCE OF HEAVY TRAFFIC ON VIBROACOUSTIC CLIMATE IN RESIDENTIAL BUILDINGS

Summary

In paper, the vibroacoustic phenomenon of passing heavy vehicle near the building is characterised. Estimation of this phenomenon according to existing Polish Standards

for measuring noise and vibration as a separate phenomenon is described. The complex measurement-calculation method, assuming that vibrations developed by heavy traffic are the reason of increase in level of sound pressure is presented. The methods of buildings protection against noise and vibrations derived from traffic are also described.

Praca wpłynęła do Redakcji 10 III 2004