ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1995

Seria: BUDOWNICTWO z. 81 Nr kol. 1292

Tadeusz ZAKRZEWSKI

KSZTAŁTOWANIE KLIMATU AKUSTYCZNEGO W BUDYNKACH ZA POMOCĄ EKRANOWANIA AKUSTYCZNEGO

Streszczenie. Przedstawiono podstawowe metody kształtowania klimatu akustycznego w budynkach za pomocą rozwiązań urbanistycznych. Opisano stosowane obecnie estymaty kryterialne hałasu niestacjonarnego przy ocenie oddziaływania hałasu na środowisko. Przedstawiono różne metody ekranowania hałasu przez typowe rozwiązania urbanistyczne. Wskazano na znaczny postęp w dziedzinie akustyki urbanistycznej, obserwowany w ostatnich latach w projektowaniu i realizacji rozwiązań urbanistycznych do celów ochrony przeciwdźwiękowej.

THE SHAPING OF ACOUSTIC CLIMATE IN BUILDINGS BY MEANS OF ACOUSTIC SCREENING

Summary. The basic methods of shaping of the acoustic climate in buildings by means of urban solutions have been presented. The now-used criterion estimates of nonstationary noise when assessing the effect of noise on environment have been described. Various methods of noise screening by typical urban solutions have been given. A significant progress in the field of urban acoustics, observed in recent years in the designing and realization of urban solutions for the purpose of sonic protection, has been demonstrated.

AKUSTISCHE KLIMAGESTALTUNG IN GEBÄUDEN MIT HILFE DER AKUSTISCHEN EKRANIZIERUNG

Zusammenfassung. Es waren dargestellt die Grundmetoden der akustischen Klimagestaltung in Gebäuden mit Hilfe der urbanistischen Lösungen. Man beschrieb die jezt genuzten Schätzwerte des kriterischen nichts stationeren Lärms bei der Abschätzung der Reaktion des Lärms auf die Umgebung. Man stellte for verchiedene Metoden der Ekranisierung des Lärms durch typische urbanistische Lösungen. Man wies hin, auf den bedeutenden Vortschritt im dem Definationbereich der urbanistischen Akustik, die in den lezten Jahren beobachtbar realiziert wurde bei den urbanistischen Lösungen damit Schutz des Gegenschall erreicht wird.

1. WSTĘP

Intensywny rozwój techniki oraz urbanizacja dużych obszarów ziemi spowodowały powstanie wielu ujemnych zjawisk środowiskowych oddziałujących na człowieka. Wśród wielu ujemnych zjawisk działających na człowieka i jego otoczenie istotną rolę odgrywają procesy wibroakustyczne. Wynika stąd potrzeba ochrony środowiska przed uciążliwym

wpływem nadmiernego hałasu w celu zapewnienia odpowiednich warunków akustycznych zarówno w miejscu pracy, zamieszkania, wypoczynku, a także w środowisku naturalnym często jeszcze zakłócanym przez działalność człowieka.

Problem ten jest szczególnie ważny zarówno ze względu na powszechne stosowanie dużej ilości hałaśliwych maszyn, pojazdów i urządzeń, jak też stałą tendencję do wykorzystywania w budownictwie lekkich materiałów i cienkich konstrukcji, które nie posiadają często wymaganej izolacyjności akustycznej.

Uwzględniając ten ważny problem ochrony środowiska przed hałasem w latach 1991-1995 w Katedrze Procesów Budowlanych Politechniki Śląskiej przeprowadzono obszerne studium dotyczące postępu badań w zakresie kształtowania klimatu akustycznego w budynkach za pomocą rozwiązań urbanistycznych.

Zebrany materiał studialno-doświadczalny stanowi podstawę do opracowania w przyszłości udoskonalonych zasad projektowania ochrony przeciwdźwiękowej mieszkań i obiektów użyteczności publicznej z uwzględnieniem optymalnych rozwiązań urbanistycznych. W prezentowanym artykule dokonano krótkiej analizy oraz przeglądu dotychczasowego postępu badań w zakresie akustyki urbanistycznej, prezentując niektóre rozwiązania ochrony przeciwdźwiękowej w przestrzeni otwartej lub częściowo zamkniętej. Ograniczono się głównie do oceny wpływu różnych elementów urbanistycznych na stopień ekranowania obiektów akustycznie chronionych.

2. ESTYMATY KRYTERIALNE HAŁASU ŚRODOWISKOWEGO

Podstawą projektowania skutecznej ochrony przeciwdźwiękowej w budownictwie są pomiary parametrów akustycznych określających podstawowe cechy fizyczne dźwięku, jak również obliczenia skuteczności ekranowania przyjętych rozwiązań szczegółowych adaptacji akustycznej.

Wielkościami kryterialnymi hałasu nieustalonego stosowanymi zarówno do obiektywnej i subiektywnej oceny hałasu i jego oddziaływania na środowisko są następujące estymaty:

- Poziom ekwiwalentny hałasu mierzony wg charakterystyki A sonometru jako średni reprezentatywny poziom hałasu nieustalonego określony przez wyrażenia:

$$L = \frac{q}{0{,}3}\log\frac{1}{T}\sum_{i=1}^{n} t_i \cdot 10^{\frac{0{,}3L_{Ai}}{q}} \tag{2.1}$$

lub

$$L_{eq} = \frac{q}{0{,}3}\log\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n} n_i \cdot 10^{\frac{0{,}3L_{Ai}}{q}} \tag{2.2}$$

gdzie: n_i - liczba obserwacji w klasie o poziomie L_{Ai},

t_i - czas pomiaru w klasie o poziomie L_{Ai},

T - czas oddziaływania hałasu,

q - współczynnik zależny od charakteru hałasu;

- Poziom statystyczny hałasu określa się z krzywej skumulowanej gęstości prawdopodobieństwa rozkładu:

$$P(n) = 100 - \sum_{i=1}^{n} p_i \tag{2.3}$$

gdzie: p_i - oznacza gęstość i-tej klasy.

Wartość p_i oblicza się z wyrażenia:

$$p_i = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{T} \cdot 100\% \tag{2.4}$$

gdzie: t_i - czas pojedynczego działania poziomu hałasu w danej klasie;

- Empiryczny wskaźnik oceny hałasu środowiskowego (Noise Pollution Level) stosowany głównie na terenie USA:

$$L_{NP} = L_{50} + (L_{10} - L_{90}) + \frac{(L_{10} - L_{90})^2}{60}, \quad \text{dB(A)} \tag{2.5}$$

gdzie: L_{10}, L_{50}, L_{90} - parametry pozycyjne rozkładu akustycznego hałasu;

- Wskaźnik oceny hałasu TNI (Traffic Noise Index) stosowany w Wielkiej Brytanii:

$$TNI = L_{90} + 4 \cdot (L_{10} - L_{90}) - 30, \quad \text{dB(A)} \tag{2.6}$$

- Wskaźnik oceny hałasu lotniczego NNI (Noise Number Index), stosowany w Anglii:

$$NNI = L_{PN} + 15 \cdot \log N - 80, \quad \text{PNdB} \tag{2.7}$$

$$L_{PN} = 10 \cdot \log \frac{\sum_{i=1}^{N} 10^{0,1L_i}}{N}, \quad \text{PNdB} \tag{2.8}$$

gdzie: L_{PN} - średni maksymalny poziom hałasu, PNdB,

N - liczba przelotów, startów i lądowań,

L_i - maksymalny poziom hałasu dla każdego samolotu, dB(A).

W przypadku hałasu ustalonego wartością kryterialną hałasu jest poziom hałasu mierzony wg charakterystyki A i wyrażany w dB(A).

3. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA STANU AKUSTYCZNEGO ŚRODOWISKA W POLSCE

Badania teoretyczne i eksperymentalne dotyczące hałasu i wibracji są prowadzone w Polsce od wielu lat. W niektórych działach akustyki badania krajowe jeszcze do niedawna wyprze-

dzały badania prowadzone w innych krajach. Stan ten w ostatnich kilku latach uległ znacznemu pogorszeniu, wynikającemu głównie z braku środków finansowych na modernizację zarówno techniki pomiarowej, jak również bazy badawczej w postaci nowoczesnych laboratoriów. Szczegółowa ocena stanu środowiska i jego ochrona przed hałasem i wibracjami do roku 2010 została przedstawiona w Raporcie pt. "Zagrożenie hałasem i wibracjami w Polsce" opracowanym przez Zespół Ekspertów Komitetu Akustyki PAN [1].

W Raporcie Komitetu Akustyki PAN wykazano na podstawie wieloletnich badań, że zagrożenie hałasem i wibracjami jest tak duże, że można je uważać za katastrofalne. Ocenia się, że na hałas i wibracje narażonych jest w różnym stopniu około 40% ludności kraju. Ponad 3,5 mln osób pracuje w hałasie o poziomie A większym od 80 dB, z czego 600 tys. w hałasie o poziomie A większym od 100 dB. Tak duże zagrożenie hałasem i wibracjami pociąga za sobą pewne skutki społeczne i gospodarcze.

Najbardziej uciążliwymi źródłami hałasu w środowisku są środki komunikacji i transportu. Większość pojazdów emituje hałas o poziomie A od 85 dB do 94 dB, przy dopuszczalnych poziomach A w otoczeniu budynków chronionych np. mieszkalnych od 45 do 55 dB. Należy zatem stwierdzić, że bez znacznego obniżenia poziomu hałasu źródłowego emitowanego przez pojazdy, a w szczególności autobusy, samochody ciężarowe i ciągniki, nie może nastąpić znaczna poprawa w aktualnym zagrożeniu środowiska. Duża uciążliwość hałasu występuje również na terenach położonych wzdłuż tras kolejowych oraz wokół lotnisk. Poziomy hałasów kolejowych należą do bardzo dużych i często w przypadku pociągów towarowych przekraczają wartość 100 dB. Również zasięg oddziaływania i poziom hałasów lotniczych jest bardzo duży i w zależności od typu samolotu wynosić może od 100 do 110 dB(A).

4. TŁUMIENIE I EKRANOWANIE HAŁASU PRZEZ ROZWIĄZANIA URBANISTYCZNE

W środowisku zewnętrznym na działanie hałasu narażone są nie tylko budynki mieszkalne, szkoły i inne obiekty położone wzdłuż arterii lub obok zakładów przemysłowych, lecz również tereny wypoczynkowo-lecznicze, a nawet rekreacyjne tereny leśne. Hałasu jako zjawiska nie można całkowicie wyeliminować, jednak przez odpowiednie wzajemne usytuowanie obiektów hałaśliwych i wymagających ciszy, jak również przez zastosowanie zabezpieczeń akustyczno-urbanistycznych można zmniejszyć poziom hałasu we wnętrzach budowlanych [2].

4.1. Tłumienie hałasu przez zieleń

Zieleń tłumi energię dźwiękową i z tego względu pasy zieleni mogą być traktowane jako przegrody przeciwhałasowe. Uwzględniając charakter źródła hałasu (punktowe, liniowe, wiele źródeł punktowych) poziom ciśnienia akustycznego L_x w odległości r_x od źródła można obliczyć dla źródła punktowego na powierzchni ziemi z wyrażenia:

$$L_x = L_o - K \cdot 20\log\frac{r_x}{r_o} - r_x \cdot m \quad , \text{dB} \tag{4.1}$$

gdzie: L_0 - poziom ciśnienia akustycznego w odległości r_0 od źródła hałasu, dB,

r_0 - odległość od źródła hałasu, w której znany jest poziom L_0, m,

r_x - odległość źródła hałasu od punktu, w którym należy obliczyć poziom L_x,

m - współczynnik zależny od wilgotności bezwzględnej powietrza, dB/m,

K - współczynnik tłumienia hałasu przez teren.

Przy stosowaniu zieleni pasmowej najskuteczniejsze działanie ma pierwsze pasmo zieleni o szerokości do 50 m, średnie tłumienie wynosi wówczas 10÷20 dB. Tłumienie hałasu przez zieleń jest tylko wówczas znaczne, gdy występuje ona w szerokich, zwartych i gęstych pasach z gęstym poszyciem.

4.2. Stosowanie ekranów akustycznych

Przez pojęcie ekranu akustycznego rozumie się zwykle przeszkodę ustawioną na drodze fali dźwiękowej bezpośredniej między źródłem hałasu a obszarem odbioru zwanym inaczej obszarem chronionym.

Podstawowym celem ekranu akustycznego jest wytworzenie cienia akustycznego, czyli obszaru, do którego dochodzić będą tylko fale ugięte na krawędziach ekranu. Wielkością określającą skuteczność działania ekranu jest tzw. efektywność akustyczna, którą określa się jako różnice poziomów ciśnienia akustycznego w punkcie obserwacji przed wpro-wadzeniem oraz po wprowadzeniu ekranu. Ekranowanie akustyczne w przestrzeniu otwartej może następować zarówno na przeszkodach sztucznych, jak również naturalnych w postaci elementów urbanistycznych.

Podstawowym parametrem określającym efektywność ekranu jest wysokość dla zadanego położenia względem źródła. Do podstawowych i najczęściej stosowanych zalicza się metodę Rettingera oraz metodę Meakawy [3,4]. W metodzie Rettingera rozróżnia się trzy przypadki usytuowania źródła hałasu, dla których oblicza się wartości wskaźnika w, wykorzystując następujące zależności:

a) dla źródła hałasu i obserwatora znajdujących się na tym samym poziomie (rys. 1a):

$$w = \frac{1{,}41h}{\sqrt{\lambda}}\sqrt{\frac{a+b}{ab}} \tag{4.2}$$

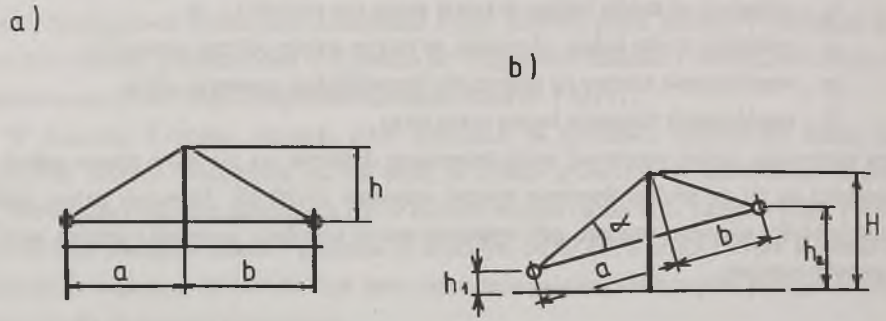
b) dla źródła hałasu i obserwatora na różnych poziomach (rys. 1b):

$$w = \left[H + \frac{b(H-h_1)}{a} - h_2\right]\sqrt{\frac{2a\cos\alpha}{b(a+b)}} \tag{4.3}$$

c) dla źródła znajdującego się w wykopie (rys. 1c):

$$w = \left[\frac{h_1 \cdot b}{a} - h_2\right]\sqrt{\frac{2a\cos\alpha}{b(a+b)}} \tag{4.4}$$

Wielkości występujące w powyższych wzorach zostały zaznaczone na rys. 1.



Rys. 1. Przypadki usytuowania źródła i obserwatora przy wyznaczaniu efektywności ekranowania w metodzie Rettingera
Fig. 1. Cases of situating the source and observer when determining the effectiveness of screening in Rettinger's method

Efektywność ekranowania wyznacza się wówczas z wyrażenia:

$$\Delta L_E = 10 \cdot \log\left[(0{,}5 - x)^2 + (0{,}5 - y)^2\right] - 3 \tag{4.5}$$

gdzie: x, y - funkcje wielkości w, wyznaczone z tablicy całek Fresnela.

W celu uzyskania wartości efektywności ΔL_E, zgodnie z charakterystyką korekcyjną A, długość fali należy przyjąć $\lambda = 0{,}68$ m, co odpowiada częstotliwości 500 Hz.

Efektywność ekranowania zgodnie z metodą Meakawy określa wyrażenie:

$$\Delta L_E = 5 + 20 \cdot \log \frac{\sqrt{2\pi|N|}}{\operatorname{tgh}\sqrt{2\pi|N|}}, \quad \text{dB} \tag{4.6}$$

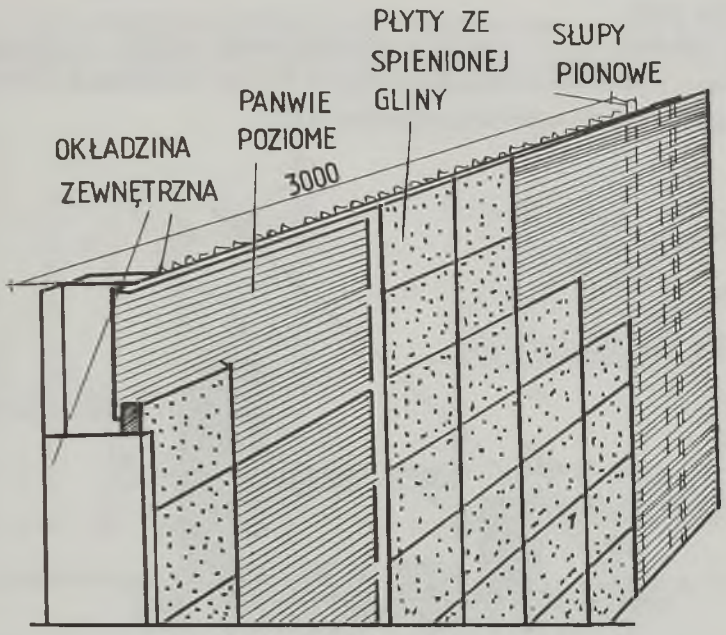
gdzie: N jest liczbą Fresnela określoną wzorem:

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} \tag{4.7}$$

przy czym $\delta = A + B - d$, m.

W przedstawionych metodach obliczeniowych ekran akustyczny jest traktowany jako prostopadłościenna cienka płyta pionowa o nieskończonej długości. Takie założenie jest wystarczające przy obliczeniach przybliżonych. Natomiast przy obliczeniach dokładniejszych należy uwzględnić wpływ wymiarów ekranu oraz właściwości pochłaniających materiałów, z których zbudowany jest ekran [5].

Na rys. 2 przedstawiono typowy ekran dźwiękochłonny, produkowany przez firmę Rockwool.



Rys. 2. Przykład ekranu akustycznego o wysokiej skuteczności ekranowania

Fig. 2. Example of an acoustic screen of high efficiency of screening

Ekran składa się z kaset o długości 4 m i szerokości 0,9 m, wewnątrz których umieszczone zostały impregnowane płyty z wełny mineralnej o wymiarach 40x40 cm. Od strony jezdni czoło ekranu pokryte jest metalową siatką. Ekran charakteryzuje się wysoką izolacyjnością akustyczną, wynoszącą:

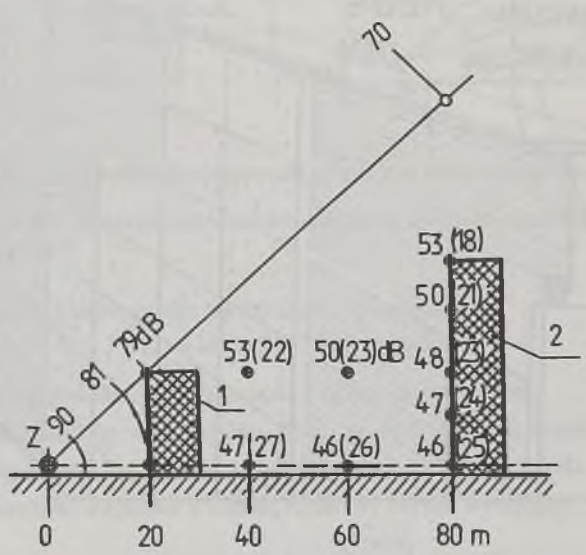
dla 100 Hz - około 20 dB,

dla 1000 Hz - około 50 dB.

4.3. Ekranujące działanie typowych elementów urbanistycznych

Rolę ekranu akustycznego mogą także spełniać:
- budynki niewrażliwe na działanie hałasu,
- ściany wykopu,
- wały ziemne, tunele.

Ustawienie pomiędzy arterią a zabudową mieszkalną innego budynku, nie wymagającego ciszy, zmniejsza poziom hałasów komunikacyjnych w budynku ekranowanym o 5÷15 dB, co potwierdzają wyniki badań krajowych i zagranicznych [6].



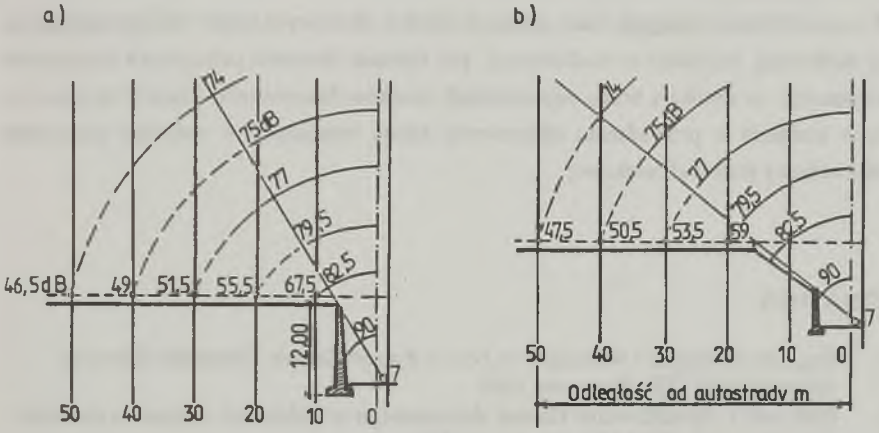
Rys. 3. Wpływ ekranującego działania budynku (1) na poziom hałasu w budynku chronionym (2)

Fig. 3. Influence of the screening effect of a building (1) on the noise level in a protected building (2)

Efekt ekranowania można zwiększyć przez przybliżenie budynku ekranu do jezdni oraz zastosowanie nadwieszonego dachu w jej kierunku. Usytuowanie arterii komunikacyjnej w wykopie znacznie zmniejsza poziom hałasu, który zależy od stopnia zagłębienia w stosunku do powierzchni terenu. Natomiast w przypadku usytuowania arterii na estakadzie wystąpi zjawisko odwrotne, czyli wzrost poziomu i zasięgu hałasu nawet o kilkanaście dB i z punktu widzenia akustyki jest znacznie gorszym rozwiązaniem od usytuowania jezdni w terenie płaskim. Bardzo niekorzystne jest umieszczenie jezdni na estakadzie w przypadku bliskiego sąsiedztwa budynków mieszkalnych, gdyż wówczas na działanie hałasu i drgań narażone są praktycznie mieszkania na wszystkich kondygnacjach, a poziom hałasu jest w nich wyższy nawet o 20÷30 dB od wartości normatywnej.

Interesującym rozwiązaniem proponowanym przez niektórych architektów i akustyków jest propozycja skierowania całego ruchu komunikacyjnego pod ziemię, pod warunkiem poprawnego rozwiązania izolacji przeciwdrganiowej i wytłumienia tuneli. Również korzystne jest sytuowanie jezdni w wykopie głębokości 3 m, przy czym głębokość ta powinna być tym większa, im wykop jest szerszy.

Na rys. 4a, b przedstawiono graficzny obraz rozkładu poziomu ciśnienia akustycznego na zewnątrz wykopu o głębokości 12 m (a) i 6 m (b). Pomiary wykonano dla f = 200 Hz.



Rys. 4a, b. Rozkład poziomu ciśnienia w przypadku ekranującego działania wykopu o głębokości 12 m (a) i 6 m (b)

Fig. 4a, b. Distribution of acoustic pressure in the case of the screening effect of an excavation of the depth 12 m (a) and 6 m (b)

Należy podkreślić, że ochrona przed hałasem jest szczególnie w warunkach układu komunikacji miejskiej problemem bardzo skomplikowanym, wymagającym zastosowania kompleksowych działań w zakresie metod zarówno ochrony czynnej, jak również biernej.

5. KIERUNKI DALSZYCH BADAŃ

We wszystkich dziedzinach akustyki urbanistycznej obserwuje się w ostatnich latach znaczny postęp w zakresie skutecznych rozwiązań urbanistycznych w ochronie osiedli przed hałasem komunikacyjnym i przemysłowym.

Rozwijane są nowe metody pomiarowe, polegające na zastosowaniu rejestracji pośredniej hałasu na specjalnych elementach "pamięci" oraz szybkiej analizy komputerowej opierając się na specjalnie opracowanych programach komputerowych. Metody komputerowe stosowane

są zarówno do analizy zapisu hałasu, jak również do graficznego ustalenia stref przeciwhałasowych. Rozwijane są metody prognozowania hałasu wokół obiektów hałaśliwych, a w szczególności w stosunku do tras komunikacyjnych, z uwzględnieniem tłumiącego działania różnych ele-mentów ekranujących.

Na szeroką skalę prowadzone są badania hałasów komunikacyjnych, kolejowych i lotniczych oraz ekranów urbanistycznych. Również w bardzo szerokim zakresie rozwijane są metody modelowe, za pomocą których bada się właściwości akustyczne zarówno elementów urbanistycznych, ulic, jak również całych dzielnic.

W ostatnich latach występuje dużo ujemnych faktów, do których należy zaliczyć starzenie się bazy badawczej, trudności w modernizacji, jak również budowie potrzebnych laboratoriów akustycznych, co wynika z braku odpowiednich środków finansowych. Stanowi to przyczynę dużych trudności w prowadzeniu efektywnych badań związanych z realizacją skutecznych metod ochrony przeciwdźwiękowej.

LITERATURA

[1] Zagrożenie hałasem i wibracjami w Polsce. Raport Zespołu Ekspertów Komitetu Akustyki PAN, ITB, Warszawa 1992.
[2] Sadowski J.: Kształtowanie klimatu akustycznego w budynkach za pomocą rozwiązań urbanistycznych. Wyd.ITB, Warszawa 1982.
[3] Engel Z., Sadowski J.: Ekrany akustyczne. AGH, Kraków 1990.
[4] Meakawa Z.: Simple Estimation Methods for Noise Reduction by Various Shaped Barriers. Noise Control, 85, Proc. Kraków 1985.
[5] Zakrzewski T.: Model testing of the acoustic screen damping properties under free field conditions. Konferencja OSA'94.
[6] Sadowski J.: Akustyka architektoniczna. PWN, Warszawa 1976.

Recenzent: Prof. dr inż. Jerzy Ranachowski

Wpłynęło do Redakcji 8.05.1995 r.

Abstract

The acoustic climate in dwellings and public utility objects depends, to a great degree, on the accepted urban solutions of the surroundings of the objects protected subject to the effect of traffic and industrial noise. If these are not right, then the assurance of effective sonic protection should be based suitably designed building solutions which leads to construction complexity and significant increase of the costs of buildings.

In recent years, a significant progress in the field of urban and building acoustics has been observed, as well as the designing and realization of urban solutions for the purpose of sonic protection. For these reasons, the methods of designing sonic protection in building engineering making use of urban solutions should be constantly modified and improved on the basis of test results, both domestic and foreign ones.

In the paper, the essential role of theoretical calculations of effectiveness of screening of the objects protected by various kinds of urban elements has been demonstrated, emphasizing at the same time similar character of the theoretical dependences used in the calculations.

The typical solutions of sonic protection in the external environment have been described, pointing at the essential screening role of both natural and artificial barriers.