

Barbara Szudrowicz\*

## PRZENOSZENIE DŹWIĘKU POWIETRZNEGO MIĘDZY POMIĘSZCZENIAMI DROGAMI POŚREDNIMI

Przenoszenie dźwięku między pomieszczeniami w budynku odbywa się drogą bezpośrednią przez przegrodę rozdzielającą te pomieszczenia oraz drogami pośrednimi, których rodzaj i zakres występowania zależy od konkretnych rozwiązań zastosowanych w budynku, zarówno architektonicznych, jak i materiałowo-konstrukcyjnych. W artykule podano systematykę wszystkich podstawowych dróg transmisji dźwięku, natomiast bliżej zajęto się specyficznym przenoszeniem dźwięku drogą: pomieszczenie – korytarz – pomieszczenie. Przedstawiono teoretyczne podstawy określania izolacyjności akustycznej tej drogi przy uwzględnieniu parametrów akustycznych elementów budowlanych i przestrzeni wchodzących w jej skład oraz omówiono wyniki badań eksperymentalnych w tym zakresie. Wykazano stosunkowo dużą zbieżność wyników bezpośrednich pomiarów oraz uproszczonych obliczeń odnoszących się do jednolitej wskaźników izolacyjności akustycznej.

### 1. Wprowadzenie

Projektowanie izolacyjności od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami w budynku wymaga znajomości zasad rozprzestrzeniania się dźwięku, zarówno w strukturach budowlanych, jak i w przestrzeniach wewnątrz budynku ograniczonych tymi strukturami. Istotne jest przy tym, aby możliwe było określenie izolacyjności akustycznej wszystkich dróg bezpośredniego i pośredniego przenoszenia dźwięku na podstawie parametrów akustycznych elementów i układów budowlanych wykorzystywanych przy wznoszeniu budynku.

Syntezę dotychczasowej wiedzy w tym zakresie przedstawiono w normie EN-12354-1 *Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of products – Part 1: Airborne sound insulation between rooms* (norma ta będzie w niedługim czasie ustanowiona także jako PN EN [2]).

Autorzy normy EN wskazują jednak, że wiele ujętych w normie problemów wymaga prowadzenia dalszych badań i zbierania możliwie szerokich doświadczeń.

Prace podjęte w tym zakresie przez Zakład Akustyki Instytutu Techniki Budowlanej dotyczą wszystkich rodzajów dróg pośredniego przenoszenia dźwięku [4]. W artykule

---

\* dr hab. inż. – prof. ITB

na tle systematyki problemu omówiono analizy i badania empiryczne odnoszące się do fragmentu tego zagadnienia, obejmującego przenoszenie dźwięku powietrznego drogą pośrednią: pomieszczenie – korytarz – pomieszczenie.

## 2. Systematyka dróg przenoszenia dźwięku powietrznego między pomieszczeniami

Przenoszenie dźwięku powietrznego drogą pośrednią: pomieszczenie – korytarz – pomieszczenie przeanalizowano na tle ogólnej systematyki dróg przenoszenia dźwięku między pomieszczeniami.

Całkowite przenoszenie można podzielić na dwie podstawowe grupy:

1. **Przenoszenie bezpośrednie**, które dotyczy transmisji dźwięku przez przegrodę rozdzielającą pomieszczenia oraz przez małe elementy znajdujące się w tej przegrodzie (na przykład przepusty powietrza); przenoszenie bezpośrednie odnosi się wyłącznie do dźwięku padającego na daną przegrodę działową.

2. **Przenoszenie pośrednie** wszystkimi innymi drogami poza drogą bezpośrednią; przenoszenie pośrednie dotyczy dźwięku padającego zarówno na daną przegrodę działową, jak i na przegrody boczne ograniczające pomieszczenie.

Pośrednie przenoszenie dźwięku powietrznego może odbywać się zarówno drogami materiałowymi, jak i powietrznymi. Przenoszenie pośrednie drogami materiałowymi przez przegrody boczne w stosunku do przegrody działowej nosi nazwę **przenoszenia bocznego**. Szczególnym przypadkiem przenoszenia pośredniego przez konstrukcje boczne jest przenoszenie przez podwieszane sufity i podniesione podłogi. Nosi ono nazwę **przenoszenia wzdłużnego** i odbywa się zarówno drogami powietrznymi, jak i materiałowymi.

Pośrednie przenoszenie dźwięku powietrznego drogami powietrznymi następuje w przypadku przenoszenia przez kanały instalacyjne, a także przez przestrzenie przylegające do analizowanych pomieszczeń (np. korytarze, do których przylegają pomieszczenia).

Systematykę dróg przenoszenia dźwięku powietrznego między pomieszczeniami przedstawiono na rysunku 1.

W schemacie tym nie uwzględniono dodatkowego przenoszenia dźwięku przez ewentualne nieszczelności w obrębie przegrody lub na jej obrzeżu, bowiem taki przypadek nie powinien występować w prawidłowo zaprojektowanym i wykonanym obiekcie budowlanym. Jeżeli jednak – ze względu na rodzaj konstrukcji – należy się liczyć z wystąpieniem nieszczelności, to ich wpływ może być uwzględniony w postaci poprawki do bezpośredniej izolacyjności akustycznej przegrody.

Uwzględnienie w projektowaniu wszystkich dróg przenikania dźwięku powietrznego między pomieszczeniami jest możliwe przy zdefiniowaniu współczynnika wypadkowej transmisji dźwięku w postaci [2]:

$$\tau' = \tau_{Dd} + \sum_{e=1}^m \tau_e + \sum_{ij=1}^n \tau_{ij} + \sum_{s=1}^k \tau_s \quad (1)$$

- gdzie:  $\tau'$  – współczynnik całkowitego przenoszenia dźwięku między pomieszczeniami,
- $\tau_{Dd}$  – współczynnik przenoszenia dźwięku przez przegrodę uwzględniający przenoszenie tylko tej części energii akustycznej, która pada na przegrodę w pomieszczeniu nadawczym i jest wypromieniowana przez tę przegrodę do pomieszczenia odbiorczego,
- $\tau_e$  – współczynnik przenoszenia dźwięku przez małe elementy występujące w obrębie przegrody,
- $\tau_{ij}$  – współczynnik przenoszenia dźwięku drogami bocznymi, w których uczestniczą przegrody boczne zarówno pomieszczenia nadawczego, jak i odbiorczego, oraz przegroda działowa;  $ij$  określa rodzaj drogi bocznej, przy czym początek drogi stanowi przegroda  $i$  w pomieszczeniu nadawczym oraz przegroda  $j$  w pomieszczeniu odbiorczym,
- $\tau_s$  – współczynnik przenoszenia dźwięku wszystkimi pozostałymi pośrednimi drogami (poza materiałowymi drogami bocznymi), na przykład przez podwieszane sufity, podniesione podłogi, a także korytarze, do których przylegają pomieszczenia.

W zależności od konkretnej sytuacji, we wzorze (1) oprócz składnika  $\tau_{Dd}$  występują wszystkie lub tylko część pozostałych składników przenoszenia bezpośredniego  $\tau_e$  oraz pośredniego  $\tau_{ij}$  i  $\tau_s$ .

Izolacyjność akustyczna między pomieszczeniami przy uwzględnieniu wszystkich wymienionych dróg przenoszenia dźwięku może być zatem przedstawiona jako:

$$R' = -10 \lg \tau' \quad (2)$$

gdzie  $\tau'$  – współczynnik przenoszenia dźwięku wyrażony wzorem (1).

Przenoszenie bezpośrednie ( $\tau_{Dd} + \sum \tau_e$ ) jest określone przez wartości izolacyjności akustycznej właściwej przegrody działowej  $R_{s,slt}$  oraz znormalizowaną różnicę poziomów ciśnienia akustycznego małych elementów  $D_{n,e}$ .

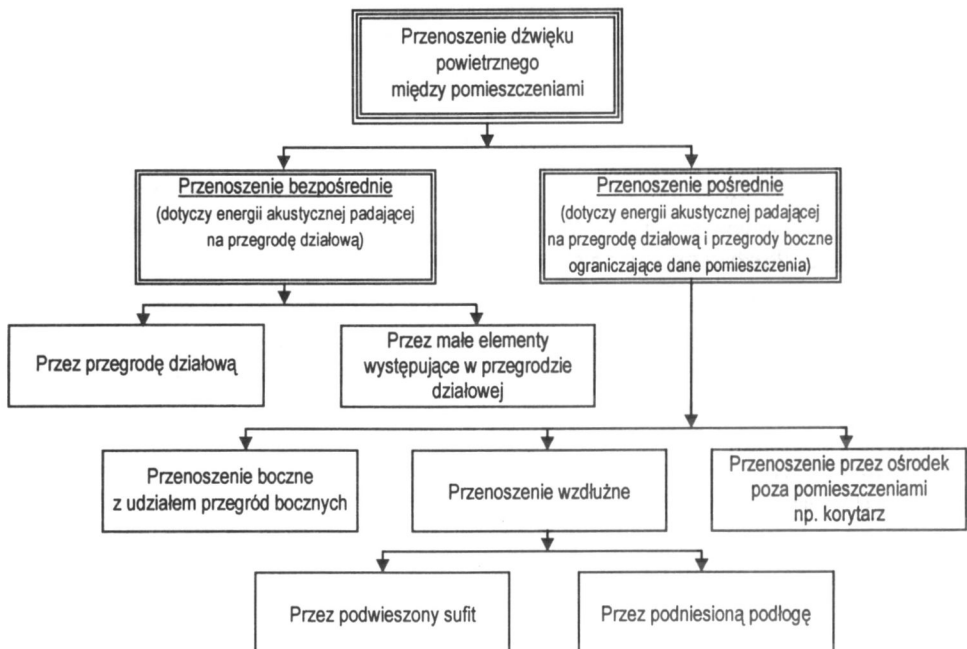
Część przenoszenia pośredniego, obejmująca przeniesienie boczne ( $\sum \tau_{ij}$ ), jest określona za pomocą izolacyjności akustycznej dróg bocznych  $R_{Ff}$ ,  $R_{Df}$  i  $R_{Fd}$ . Wartości te w zależności od rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych ustala się na podstawie badań laboratoryjnych lub obliczeniowo, korzystając z metod podanych w EN 12354-1 [2], [3].

Pozostałe przenoszenie pośrednie, reprezentowane we wzorze (1) przez współczynnik  $\tau_s$ , jest określane na podstawie izolacyjności akustycznej każdej z dróg pośrednich, którą wyraża się za pomocą znormalizowanej różnicy poziomu ciśnienia akustycznego  $D_{n,s}$ .

Wzór (2) można zatem wyrazić w postaci:

$$R' = -10 \lg \left( 10^{-0,1R_{s,slt}} + \sum_{e=1}^m \frac{10}{S_s} 10^{-0,1D_{n,e}} + \sum_{n=1}^n 10^{-0,1R_{ij}} + \sum_{s=1}^k \frac{10}{S_s} 10^{-0,1D_{n,s}} \right) \quad (3)$$

- gdzie:  $R_{s,sit}$  – izolacyjność akustyczna właściwa przegrody działowej przy uwzględnieniu warunków jej zastosowania w budynku (relacje między wartością  $R_{s,sit}$  a wartością  $R_s$  wyznaczoną w warunkach laboratoryjnych są podane w EN-12354-1; w pewnym przybliżeniu można przyjąć  $R_{s,sit} \approx R_s$ ), dB,
- $S_s$  – powierzchnia przegrody rozdzielającej pomieszczenia,  $m^2$ ,
- $D_{n,e}$  – znormalizowana różnica poziomów ciśnienia akustycznego małych elementów (odniesiona do chłonności akustycznej odniesienia  $A_0 = 10 m^2$ ), dB,
- $D_{n,s}$  – znormalizowana różnica poziomów ciśnienia akustycznego konkretnej drogi pośredniego przenoszenia dźwięku (odniesiona do chłonności akustycznej odniesienia  $A_0 = 10 m^2$ ), dB,
- $R_{ij}$  – izolacyjność akustyczna konkretnej materiałowej drogi bocznej  $R_{Ff}$ ,  $R_{Df}$  i  $R_{Fd}$  przy konkretnej krawędzi, dB,
- $m$  – liczba małych elementów wchodzących w skład przegrody działowej,
- $n$  – liczba dróg boczno-przenoszenia dźwięku (przy uwzględnieniu wszystkich dróg bocznych przy wszystkich krawędziach przegrody działowej z przegrodami bocznymi),
- $k$  – liczba występujących w konkretnym przypadku dróg pośredniego przenoszenia dźwięku powietrznego.



Rys. 1. Systematyka przenoszenia dźwięku powietrznego między pomieszczeniami  
 Fig. 1. Fig. 1. Systematics of transmission of airborne sound between the compartments

Zgodnie z systematyką przedstawioną na rysunku 1 ostatni składnik pod logarytmem we wzorze (3) reprezentuje – w zależności od konkretnej sytuacji – przenoszenie dźwięku przez podniesione podłogi, podwieszane sufity oraz drogę: pomieszczenie – korytarz – pomieszczenie. Izolacyjność akustyczną dróg pośrednich, obejmujących wzdużne przenoszenie dźwięku przez podniesione podłogi i podwieszane sufity, wyznacza się na podstawie pomiarów przeprowadzonych na specjalnych stanowiskach badawczych. Izolacyjność tę określa się za pomocą znormalizowanej różnicy poziomów ciśnienia akustycznego  $D_{n,r}$  (w odniesieniu do podniesionych podłóg) i  $D_{n,c}$  (w odniesieniu do podwieszonych sufitów). Do zmierzonych wartości laboratoryjnych wprowadza się korekty wynikające z różnic między wymiarami geometrycznymi próbek w laboratorium a wymiarami rozwiązań występujących w konkretnej sytuacji w budynku. Odpowiednie wzory podano w prPN EN 12354-1.

W niniejszym artykule ograniczono się do omówienia izolacyjności akustycznej jednej z dróg pośredniego przenoszenia dźwięku między pomieszczeniami, która może wystąpić w niektórych przypadkach wzajemnego usytuowania pomieszczeń – omówiono izolacyjność akustyczną drogi: pomieszczenie – korytarz – pomieszczenie. Izolacyjność tej drogi może być określona jedynie obliczeniowo, przy uwzględnieniu wyznaczonych w warunkach laboratoryjnych parametrów akustycznych elementów uczestniczących w transmisji dźwięku przez tę drogę.

### 3. Teoretyczne podstawy określenia izolacyjności akustycznej drogi pośredniego przenikania dźwięku: pomieszczenie – korytarz – pomieszczenie

Schemat rozpatrywanej drogi pośredniego przenoszenia dźwięku przedstawiono na rysunku 2. Znormalizowaną różnicę poziomów ciśnienia akustycznego określającą izolacyjność akustyczną drogi pośredniej  $sh$  (pomieszczenie – korytarz – pomieszczenie) można przedstawić w postaci:

$$D_{n,s} = D_{n,sh} = L_{1(s)} - L_{2(r)} + 10 \lg \frac{A_0}{A_r}, \text{ dB} \quad (4)$$

gdzie:  $D_{n,sh}$  – znormalizowana różnica poziomów ciśnienia akustycznego na drodze: pomieszczenie nadawcze – korytarz – pomieszczenie odbiorcze, dB (zastosowano symbol tej wielkości zgodny z EN-12354-1),

$L_{1(s)}$  – poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu nadawczym ( $s$ ), dB,

$L_{2(r)}$  – poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym ( $r$ ) wynikający z pośredniego przenikania dźwięku drogą: pomieszczenie – korytarz – pomieszczenie, dB,

$A_r$  – równoważne pole powierzchni dźwiękochłonnej pomieszczenia odbiorczego ( $r$ ),  $\text{m}^2$ ,

$A_0$  – równoważne pole powierzchni dźwiękochłonnej odniesienia;  $A_0 = 10 \text{ m}^2$  (chłonność akustyczna odniesienia).

Wzór (4) można przedstawić jako zależność izolacyjności akustycznej elementów tworzących rozpatrywaną drogę pośredniego przenoszenia dźwięku, czyli:

- izolacyjności akustycznej właściwej ściany między pomieszczeniem nadawczym ( $s$ ) a korytarzem ( $h$ ),
- izolacyjności akustycznej właściwej ściany między korytarzem ( $h$ ) a pomieszczeniem odbiorczym ( $r$ ),
- chłonności akustycznej korytarza  $A_h$ .

Śledząc kolejne fazy przenoszenia dźwięku przez rozpatrywaną drogę, mamy więc:

$$L_{2(h)} = L_{1(s)} - R_{hs} + 10 \lg \frac{S_{hs}}{A_h}, \text{ dB} \quad (5)$$

$$L_{2(r)} = L_{2(h)} - R_{hr} + 10 \lg \frac{S_{hr}}{A_r}, \text{ dB} \quad (6)$$

- gdzie:  $R_{hs}, R_{hr}$  – izolacyjność akustyczna właściwa ściany między korytarzem a pomieszczeniem nadawczym ( $R_{hs}$ ) i odbiorczym ( $R_{hr}$ ), dB,  
 $S_{hs}, S_{hr}$  – powierzchnia ściany między korytarzem a pomieszczeniem nadawczym ( $S_{hs}$ ) oraz korytarzem a pomieszczeniem odbiorczym ( $S_{hr}$ ), m<sup>2</sup>,  
 $A_h, A_r$  – równoważne pole powierzchni dźwiękochłonnej korytarza ( $A_h$ ) oraz pomieszczenia odbiorczego ( $A_r$ ), m<sup>2</sup>,  
 $L_{2(h)}$  – poziom ciśnienia akustycznego w korytarzu wynikający z przenikania dźwięku z pomieszczenia nadawczego, dB,  
 $L_{1(s)}, L_{2(r)}$  – jak we wzorze (4).

Podstawiając wzory (5) i (6) do wzoru (4), otrzymujemy:

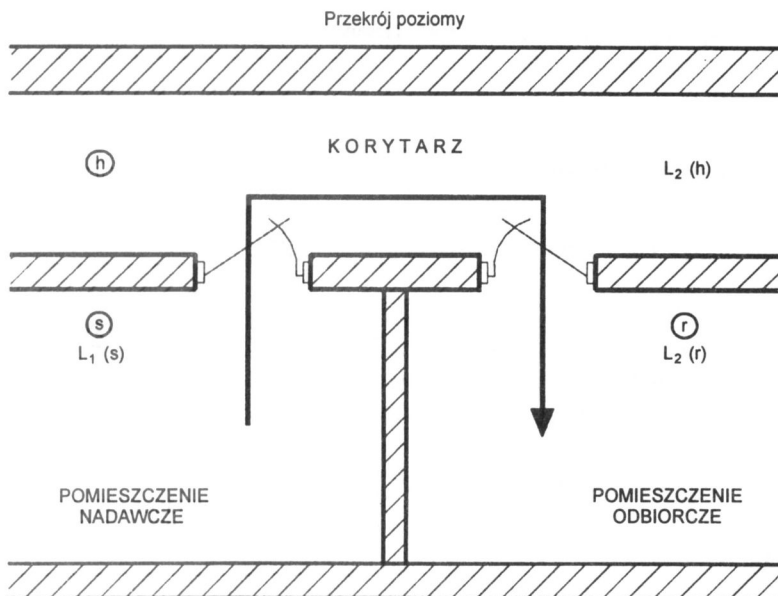
$$D_{n,sh} = R_{hs} + R_{hr} + 10 \lg \frac{A_h A_0}{S_{hs} S_{hr}}, \text{ dB} \quad (7)$$

Ze wzoru (7) wynika, że znormalizowana różnica poziomów ciśnienia akustycznego rozpatrywanej drogi: pomieszczenie nadawcze ( $s$ ) – korytarz ( $h$ ) – pomieszczenie odbiorcze ( $r$ ) jest sumą izolacyjności akustycznych właściwych ścian (łącznie z drzwiami), oddzielających pomieszczenia od korytarza, skorygowaną poprawką uwzględniającą powierzchnie tych ścian oraz chłonność akustyczną korytarza.

Wzór ten wskazuje między innymi na rolę chłonności akustycznej korytarza jako czynnika mogącego zwiększyć izolacyjność akustyczną pośredniej drogi przenikania dźwięku.

W normie EN-12354-1 wzór określający izolacyjność akustyczną omawianej drogi pośredniej ma analogiczną postać, uzupełnioną jedynie o empiryczną poprawkę  $C_{door\ position}$  uwzględniającą wzajemne usytuowanie drzwi. Poprawka ta waha się w przedziale od -2 dB do 0 dB, przy czym przyjmuje się:

- przy drzwiach usytuowanych względem siebie pod kątem 90° w odległości mniejszej niż 1 m:  $C_{door\ position} = -2 \text{ dB}$ ,
- przy drzwiach usytuowanych w większej odległości niż 1 m oraz bez względu na odległość przy drzwiach usytuowanych w jednej linii:  $C_{door\ position} = 0 \text{ dB}$ .



Rys. 2. Schemat przenoszenia dźwięku powietrznego drogą pośrednią: pomieszczenie – korytarz – pomieszczenie  
 Fig 2. Diagram of transmission of airborne sound by indirect way: accommodation – corridor – accommodation

Przy prawidłowym projektowaniu pod względem akustycznym budynku z pomieszczeniami przylegającymi do wspólnego korytarza (typowe układy wielu budynków użyteczności publicznej – szkół, hoteli, budynków biurowych itp.) należałoby przyjąć, że przenoszenie dźwięku między pomieszczeniami rozpatrywaną drogą przez korytarz nie powinno mieć wpływu na izolacyjność akustyczną między pomieszczeniami.

Przy określonym poziomie ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu nadawczym warunek ten można przedstawić w postaci:

$$L_{2(r)} \leq L_2 - 10, \text{ dB} \quad (8)$$

gdzie:  $L_{2(r)}$  – poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym przy przenikaniu dźwięku drogą pośrednią przez korytarz, dB,

$L_2$  – poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym przy przenikaniu dźwięku przez przegrodę działową i wszystkie inne drogi pośredniego przenoszenia dźwięku między pomieszczeniami, poza rozpatrywaną drogą przez korytarz, dB.

Jeżeli wymaganą przybliżoną izolacyjność akustyczną między pomieszczeniem oznaczy się jako  $R'_{wym}$ , to wzór (8) można przedstawić następująco:

$$D_{n,sh} \geq R'_{wym} + 10 \lg \frac{A_0}{S} + 10, \text{ dB} \quad (9)$$

gdzie:  $R'_{wym}$  – wymagana przybliżona izolacyjność akustyczna właściwa między pomieszczeniami, dB,  
 $S$  – powierzchnia przegrody rozdzielającej pomieszczenia, m<sup>2</sup>.

Jeżeli pominie się poprawkę  $C_{door\ position}$ , to wygodniejszą postacią na potrzeby projektowania jest wynik przekształcenia zależności (8):

$$R_{hs} + R_{hr} + 10 \lg \frac{A_h}{S_{hs} S_{hr}} \geq R'_{wym} - 10 \lg S + 10, \text{ dB} \quad (10)$$

Jeżeli izolacyjność ścian między pomieszczeniami a korytarzem jest zależna głównie od izolacyjności akustycznej drzwi (taki przypadek oznacza, że dźwięk przenikający przez część ściany poza drzwiami jest pomijalnie mały w stosunku do dźwięku przenikającego przez drzwi), to warunek (10) można przedstawić w postaci:

$$R_{ds} + R_{dr} + 10 \lg \frac{A_h}{S_{ds} S_{dr}} \geq R'_{wym} - 10 \lg S + 10, \text{ dB} \quad (11)$$

lub przy jednakowych drzwiach z korytarza do obu pomieszczeń:

$$2 R_d + 10 \lg \frac{A_h}{S_d^2} \geq R'_{wym} - 10 \lg S + 10, \text{ dB} \quad (12)$$

gdzie:  $R_{ds}$ ,  $R_{dr}$ ,  $R_d$  – izolacyjność akustyczna właściwa drzwi z korytarza do pomieszczeń,  $R_{ds} = R_{dr} = R_d$ , dB,

$S_{ds}$ ,  $S_{dr}$ ,  $S_d$  – powierzchnia drzwi z korytarza do pomieszczeń, m<sup>2</sup>.

W praktyce najczęściej występuje przypadek, że drzwi z korytarza do pomieszczeń są drzwiami jednoskrzydłowymi, można więc przyjąć, że łącznie z ościeżnicą powierzchnia tych drzwi wynosi  $S_d \approx 2 \text{ m}^2$ .

Wówczas warunek określający minimalną izolacyjność akustyczną drzwi będzie miał postać:

$$R_d \geq 0,5 R'_{wym} - 5 \lg A_h S + 8, \text{ dB} \quad (13)$$

Analizując składniki wzoru (13) łatwo zauważyć, że dla większości przypadków podane w PN-B-02151-3:1999 wymagania w stosunku do izolacyjności akustycznej drzwi z korytarza do pomieszczeń są wystarczające do ograniczenia przenoszenia dźwięku drogą pośrednią przez korytarz w stopniu wynikającym z warunku (8). Problemy mogą się pojawić przy wymaganej dużej izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami (powyżej 50 dB).

Przedstawione zależności (7) oraz (10)–(13) dotyczą sytuacji, gdy we wszystkich pomieszczeniach wchodzących w skład analizowanej drogi pośredniej pole akustyczne można uznać za rozproszone. Największe wątpliwości w tym względzie dotyczą korytarza. Nie jest również jednoznaczne, jak wyznaczać chłonność akustyczną korytarza, zwłaszcza jeśli jest on pomieszczeniem wąskim i długim.



#### 4. Omówienie badań eksperymentalnych izolacyjności akustycznej drogi pośredniego przenikania dźwięku: pomieszczenie – korytarz – pomieszczenie

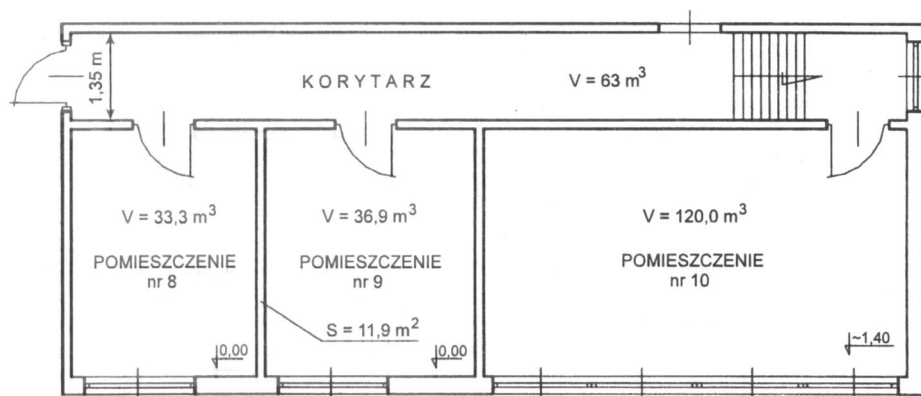
Przeprowadzono badania eksperymentalne [4] drogi pośredniego przenikania hałasu przez korytarz dotyczące zestawu trzech pomieszczeń, których rzuty przedstawiono na rysunku 3 (przyjęto numerację pomieszczeń według rzeczywistej numeracji w obiekcie).

Pomiary odnosiły się do dwóch przypadków:

- a) pomieszczenie nr 8 – korytarz – pomieszczenie nr 9 (pomieszczenia przyległe do siebie),
- b) pomieszczenie nr 10 – korytarz – pomieszczenie nr 8 (pomieszczenia rozdzielone pomieszczeniem pośrednim).

W celu zróżnicowania wpływu izolacyjności akustycznej drzwi badania przeprowadzono przy drzwiach zamkniętych oraz przy drzwiach uchylonych.

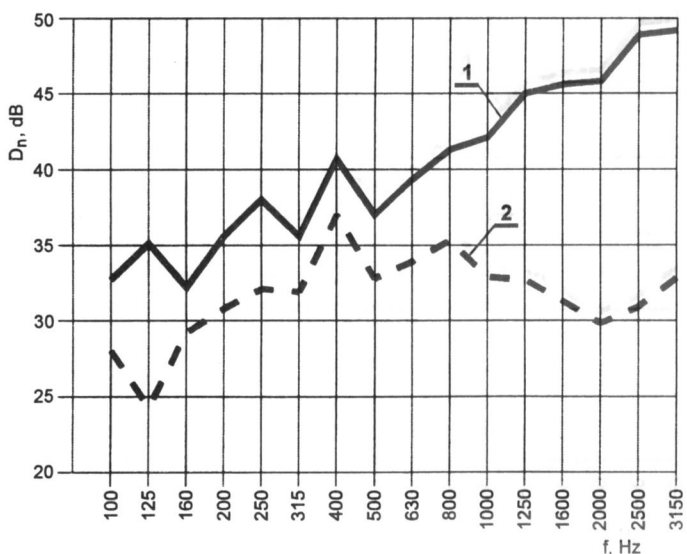
Charakterystyki znormalizowanej różnicy poziomu ciśnienia akustycznego  $D_n$  między omawianymi parami pomieszczeń przedstawiono na rysunkach 4 i 5. Określono je na podstawie pomiarów przeprowadzonych metodą standardową, a zatem na otrzymane wartości miały wpływ wszystkie drogi przenoszenia dźwięku między pomieszczeniami.



Rys. 3. Układ pomieszczeń, w których prowadzono pomiary izolacyjności akustycznej drogi pośredniej: pomieszczenie – korytarz – pomieszczenie

Fig. 3. Arrangement of compartments in which measurements of sound insulation of indirect way of sound transmission: accommodation – corridor – accommodation were carried out

W przypadku pary pomieszczeń przyległych do siebie należy przyjąć, że izolacyjność akustyczna jest wypadkową izolacyjności przegrody działowej, izolacyjności akustycznej materiałowych dróg bocznego przenoszenia dźwięku  $R_{ij}$  oraz bocznego przenoszenia dźwięku drogą pośrednią: pomieszczenie nr 8 – korytarz – pomieszczenie nr 9. W przypadku pary pomieszczeń nieprzyległych do siebie (nr 8 i 10) mamy do czynienia wyłącznie z przenoszeniem dźwięku materiałowymi drogami bocznymi oraz drogą pośrednią przez korytarz.



Rys. 4. Izolacyjność akustyczna (znormalizowana różnica poziomów ciśnienia akustycznego) między przyległymi pomieszczeniami nr 8 i 9: 1 – przy zamkniętych drzwiach z korytarza do pomieszczeń, 2 – przy uchylonych (szerokość szczeliny – 2 cm) drzwiach z korytarza do pomieszczeń  
 Fig. 4. Sound insulation (normalized difference of acoustic sound levels) between adjacent compartments 8 and 9: 1 – with the doors from corridor to accommodation closed, 2 – with the doors from corridor to accommodation slightly open (gap size 2 cm)

Tablica 1. Porównanie zmierzonej izolacyjności akustycznej pomiędzy pomieszczeniami z obliczoną izolacyjnością akustyczną drogi pośredniego przenoszenia dźwięku przez korytarz  
 Table 1. Comparison of measured sound insulation between compartments to calculated acoustic insulation of indirect way of sound transmission through the corridor

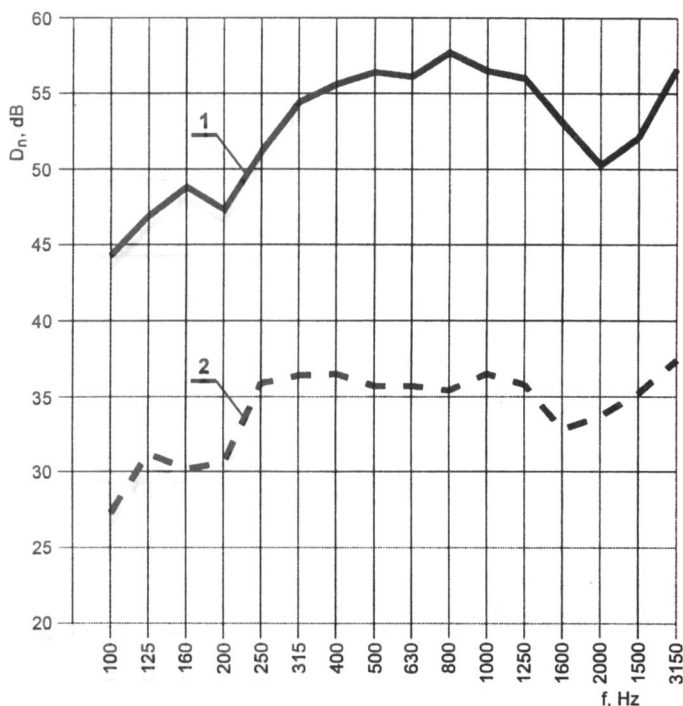
Badany przypadek	Wskaźniki izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami (wartości zmierzone)			Wskaźniki izolacyjności akustycznej drogi pośredniego przenoszenia dźwięku przez korytarz (wartości obliczone*)		
	$D_{n,w}$	$D_{n,A1}$	$D_{n,A2}$	$D_{n,s,w}$	$D_{n,s,A1}$	$D_{n,s,A2}$
Pomieszczenia przyległe nr 8 i 9 – drzwi zamknięte – drzwi uchylone	43	42	40	54	54	53
	33	32	32	31	31	30
Pomieszczenia nieprzyległe nr 8 i 10 – drzwi zamknięte – drzwi uchylone	55	54	53	53	53	52
	36	35	35	34	34	34

\* Wskaźniki wyznaczone na podstawie obliczonych krzywych  $D_{n,s}(f)$  wg wzoru (7); wartości składników wchodzących do wzoru (7) wyznaczone na podstawie pomiarów akustycznych w obiekcie.

W obu przypadkach drzwi do pomieszczeń są usytuowane w jednej linii, a więc zgodnie z zasadami podanymi w EN można przyjąć  $C_{door\ position} = 0$ .

Wyniki standardowych badań izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami potraktowano jako poziom odniesienia do porównania z wynikami obliczeń według wzoru (7). Parametry akustyczne występujące we wzorze (7) określono na podstawie pomiarów *in situ*.

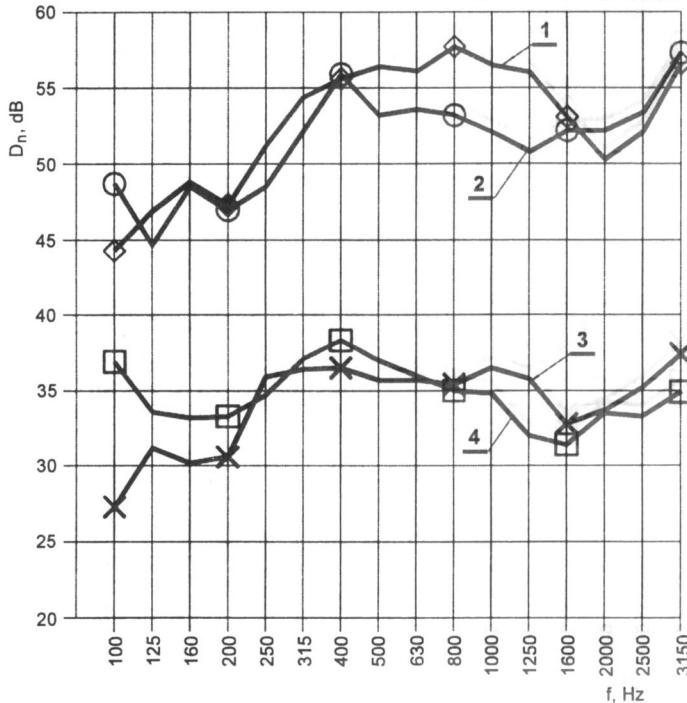
W tabelicy 1 przedstawiono porównanie wartości jednoliczbowych wskaźników zmierzonej znormalizowanej różnicy poziomów ciśnienia akustycznego między pomieszczeniami oraz obliczonej izolacyjności akustycznej drogi pośredniej: pomieszczenie – korytarz – pomieszczenie. Wskaźniki te wyznaczono według PN EN ISO 717-1:1999 na podstawie zmierzonych i obliczonych charakterystyk  $D_n$  w funkcji częstotliwości (przy czym  $D_{n,A1} = D_{n,w} + C$  oraz  $D_{n,A2} = D_{n,w} + C_{tr}$ ). Analogiczne porównanie odnoszące się do charakterystyk w funkcji częstotliwości przedstawiono na rysunku 6 (dla pary pomieszczeń nr 8 i 10, tj. pomieszczeń nie przylegających do siebie).



Rys. 5. Izolacyjność akustyczna (znormalizowana różnica poziomów ciśnienia akustycznego) między nieprzylegającymi do siebie pomieszczeniami nr 8 i 10: 1 – przy zamkniętych drzwiach z korytarza do pomieszczeń, 2 – przy uchylonych (szerokość szczeliny – 2 cm) drzwiach z korytarza do pomieszczeń  
 Fig. 5. Sound insulation (normalized difference of acoustic sound levels) between not adjacent compartments 8 and 10: 1 – with the doors from the corridor to accommodation closed, 2 – with the doors from the corridor to accommodation slightly open (gap size 2 cm)

Dane zamieszczone w tabelicy 1 wskazują, że w przypadkach gdy dominującą drogą przenoszenia dźwięku jest droga: pomieszczenie – korytarz – pomieszczenie, wyniki obliczeń są zbliżone do wyników pomiarów, jednak od 1 dB do 2 dB mniejsze. To zniżenie wartości wskaźników obliczonych w stosunku do zmierzonych wystąpiło we wszystkich badanych sytuacjach i jest trudne do interpretacji.

Pomijając jednak te różnice można przyjąć, że wynik obliczeń według wzoru (7) może być traktowany jako prawidłowe oszacowanie wartości izolacyjności akustycznej pośredniej drogi przenoszenia dźwięku: pomieszczenie – korytarz – pomieszczenie.



Rys. 6. Porównanie zmierzonej izolacyjności akustycznej między nieprzylegającymi do siebie pomieszczeniami 8 i 10 a obliczoną izolacyjnością akustyczną drogi pośredniej: pomieszczenie – korytarz – pomieszczenie: 1 – drzwi z korytarza do pomieszczeń zamknięte, wartości zmierzone, 2 – jw., lecz wartości obliczone, 3 – drzwi z korytarza do pomieszczeń uchylone (2 cm), wartości zmierzone, 4 – jw., lecz wartości obliczone

Fig. 6. Comparison of measured sound insulation between not adjacent compartments 8 and 10 to calculated sound insulation of indirect way accommodation – corridor – accommodation: 1 – doors from corridor closed, values measured, 2 – doors from corridor closed, values calculated, 3 – doors from corridor to accommodation slightly open (gap size 2 cm), values measured, 4 – doors from corridor to accommodation slightly open (gap size 2 cm), values calculated

Dodatkowo przeprowadzono obliczenia izolacyjności akustycznej drogi pośredniego przenikania dźwięku według wzoru (7), lecz w odniesieniu bezpośrednio do wartości jednoliczbowych wskaźników  $D_{ns,w}$ ,  $D_{n,s,A1}$ ,  $D_{n,s,A2}$ . W obliczeniach tych przyjęto chłonność akustyczną korytarza przy  $f = 500$  Hz. Wyniki tych obliczeń z dokładnością do 1 dB pokrywają się z danymi zawartymi w tabelicy 1. Można więc uznać, że dla praktyki projektowej tego rodzaju uproszczenie obliczeń jest możliwe.

## 5. Wnioski

1. Przenoszenie dźwięku drogami pośrednimi może w znacznym stopniu ograniczyć możliwość uzyskania zakładanej izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami.

2. W budynkach o układzie korytarzowym istotną drogą pośredniego przenoszenia dźwięku jest droga: pomieszczenie – korytarz – pomieszczenie. W celu określenia izolacyjności akustycznej tej drogi pośredniej można wykorzystywać wzór (7), zakładając, że daje on wartości szacunkowe. Z dostateczną dla praktyki dokładnością wzór ten można stosować do obliczeń bezpośrednio w odniesieniu do jednoliczbowych wskaźników  $R_{A1}$ ,  $R_{A2}$  i  $R_w$  lub  $D_{n,A1}$ ,  $D_{n,A2}$ ,  $D_{n,w}$ , przyjmując chłonność akustyczną korytarza przy częstotliwości  $f = 500$  Hz.

3. Dotychczasowe wyniki badań wskazują, że wyniki obliczeń dają nieco zaniżone wartości izolacyjności akustycznej drogi pośredniej: pomieszczenie – korytarz – pomieszczenie, co przy projektowaniu może być traktowane jako „współczynnik bezpieczeństwa akustycznego”, zwłaszcza jeżeli weźmie się pod uwagę, że izolacyjność drzwi ulega obniżeniu po pewnym okresie ich eksploatacji (obniżeniu ulega szczelność przyłg).

4. W przypadku pomieszczeń przyległych do wspólnego korytarza izolacyjność akustyczna drzwi powinna być oceniana zarówno ze względu na wymaganą izolacyjność akustyczną między pomieszczeniem a korytarzem, jak też z uwagi na wymaganą izolacyjność akustyczną między pomieszczeniami. Podstawy do takiej oceny daje wzór (13).

5. Zwiększenie izolacyjności akustycznej drogi pośredniego przenikania dźwięku przez korytarz można uzyskać, zwiększając chłonność akustyczną korytarza przez stosowanie w nim odpowiednio dobranych adaptacji dźwiękochłonnych.

6. Niezbędne jest zbieranie dalszych doświadczeń na temat izolacyjności akustycznej drogi pośredniego przenikania dźwięku: pomieszczenie – korytarz – pomieszczenie. Umożliwi to uściślenie wzorów obliczeniowych (na przykład w zakresie sposobu uwzględniania chłonności akustycznej długich korytarzy), a tym samym ułatwi dobór najbardziej efektywnych z punktu widzenia akustycznego rozwiązań.

## Bibliografia

- [1] PN EN ISO 717-1:1999 Akustyka. Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych. Izolacyjność od dźwięków powietrznych
- [2] prPN EN-12354-1 Akustyka budowlana. Określenie izolacyjności akustycznej w budynku na podstawie izolacyjności akustycznej wyrobów budowlanych. Izolacyjność od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami

- [3] Szudrowicz B.: Boczne przenoszenie dźwięków powietrznych przez przegrody budowlane. Prace naukowe Instytutu Techniki Budowlanej. Seria: Rozprawy. ITB, Warszawa 1996
- [4] Metody obliczania izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami przy uwzględnieniu wszystkich występujących dróg niebezpośredniego przenoszenia dźwięku. Temat badawczy ITB, NA-35, główny referent: B. Szudrowicz, 2001 r., maszyn., biblioteka ITB

## INDIRECT WAYS OF AIRBORNE SOUND TRANSMISSION BETWEEN COMPARTMENTS

### Summary

Transmission of sound between adjacent compartments takes place by direct way through partition which divides the compartments and also by indirect ways. Their types and ranges of occurrence depend on the individual architectural and material- construction solutions used in the building. This paper presents the systematics of all basic ways of sound transmission, however closer attention is given to the specific transmission of sound by the way: accommodation – corridor – accommodation. The theoretical basis for assessment the sound insulation of this way, with regard to acoustic parameters of construction elements and spaces which form this way is given. The results of experimental tests in this scope are discussed. Comparably large convergence of direct measuring results to simplified calculations related to single number quantity for airborne sound insulation was shown.

*Praca wpłynęła do Redakcji 14 I 2002*