

Prognozowanie izolacyjności akustycznej przegród wewnętrznych

Na etapie projektu, kiedy budynek istnieje co najwyżej na ekranie monitora, w celu weryfikacji wymagań związanych z ochroną przed hałasem, konieczne jest zastosowanie metod teoretycznych, dotyczących prognozowania izolacyjności akustycznej. W artykule krótko przypomniano podstawowe wymagania w zakresie dźwiękoizolacyjności oraz przedstawiono obowiązujące metody prognozowania izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami w budynku w zakresie dźwięków powietrznych. Przedstawiono także porównanie wyników prognozy z wynikami pomiarów terenowych.

Wymagania

Obowiązek ochrony akustycznej użytkownika budynku wynika z przepisów prawa budowlanego. Ustawa Prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. Dz.U. nr 49, poz. 414 [1] wraz z późniejszymi zmianami w artykule 5.1., stanowi że „Obiekt budowlany jako całość oraz jego poszczególne części, wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi należy, biorąc pod uwagę przewidywany okres użytkowania, projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, zapewniając spełnienie podstawowych wymagań dotyczących obiektów budowlanych określonych w załączniku I do Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) Nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. [3] ustanawiającego zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylającego dyrektywę Rady 89/106/EWG (Dz. Urz. UE L 88 z 04.04.2011, str. 5, ze zm.), dotyczących:

- nośności i stateczności konstrukcji
 - bezpieczeństwa pożarowego
 - higieny, zdrowia i środowiska
 - ochrony przed hałasem
- bezpieczeństwa użytkowania i dostępności obiektów
 - oszczędności energii i izolacyjności cieplnej
- zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych.

Postulat ochrony akustycznej doprecyzowują zapisy Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie Dz.U. z 2002 r., nr 75, poz. 690 [2], wraz z rozporządzeniami zmieniającymi. W dziale IX poświęconym ochronie przed hałasem i drganiami w §323 stwierdza się co następuje: „budynek i urządzenia z nim związane powinny być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby poziom hałasu, na który będą narażeni użytkownicy lub ludzie znajdujący się w ich sąsiedztwie, nie stanowił zagrożenia dla ich zdrowia, a także umożliwiał im pracę, odpoczynek i sen w zadowalających warunkach”. Przed jakim rodzajem hałasu chronić należy użytkownika budynku precyzuje paragraf §323 ust. 2 rozporządzenia:

- zewnętrznym przenikającym do pomieszczenia spoza budynku
- powietrznym i uderzeniowym, wytwarzanym przez użytkowników innych mieszkań, lokali użytkowych lub pomieszczeń o różnych wymaganiach użytkowych
 - pochodzącym od instalacji i urządzeń stanowiących techniczne wyposażenie budynku
 - pogłosowym, powstającym w wyniku odbić fal dźwiękowych od przegród ograniczających dane pomieszczenie.

W dalszej części działu IX w §326 ustęp 2, zapisy określają dla jakich elementów i przegród w budynku należy stosować wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej wyraźnie wskazując na rodzaj dźwięków podlegających ograniczeniu:

- ścian zewnętrznych, stropodachów, ścian wewnętrznych, okien w przegrodach zewnętrznych i wewnętrznych oraz drzwi w przegrodach wewnętrznych – od dźwięków powietrznych
 - stropów i podłóg – od dźwięków powietrznych i uderzeniowych
- podestów i biegów klatek schodowych w obrębie lokali mieszkalnych – od dźwięków uderzeniowych.

W rozporządzeniu [2] niestety nie znajdują się żadne wartości liczbowe, które pozwalałyby zweryfikować jakość akustyczną budynku. Wartości te znajdują się natomiast w normach, które przywołane zostały w załączniku 1. Normy te i wymagania w nich zawarte z racji zacytowania w rozporządzeniu należy traktować jako nieodzowne w celu spełnienia wymagań ustawowych. Aktualny spis norm powołany w rozporządzeniu nie obejmuje najnowszych zmian w powyższym zakresie, a mianowicie normy PN-B-02151-3:2015-10 [5], która zastąpiła wersję z 1999 roku oraz normy PN-B-02151-4:2015-6 [6]. Ze względu na fakt, że w najbliższym czasie należy spodziewać się aktualizacji treści załącznika w artykule przedstawiono wymagania wg normy [5].

Lp.	Przegroda	Rodzaj dźwięków zakłócających	Wskaźnik izolacyjności akustycznej przegrody w budynku	
			Nazwa i symbol	Metoda obliczania wskaźnika
1	Ściana wewnętrzna z wyjątkiem ścian działowych w obrębie mieszkania	powietrzne	wskaźnik oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,1}$	PN-EN ISO 717-1
			wskaźnik oceny wzorcowej różnicy poziomów $D_{nT,A,1}$ ^{a)}	PN-EN ISO 717-1
2	Ściana działowa w obrębie mieszkania	powietrzne	projektowy wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej $R_{A,1,R}$	PN-EN ISO 717-1
3	Strop między pomieszczeniami z wyjątkiem stropów w obrębie mieszkania oraz podesty schodowe	powietrzne	wskaźnik oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,1}$	PN-EN ISO 717-1
		uderzeniowe	wskaźnik ważony przybliżonego poziomu uderzeniowego znormalizowanego przybliżonego $L'_{n,w}$	PN-EN ISO 717-2
4	Stropy w obrębie mieszkania	powietrzne	projektowy wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej $R_{A,1,R}$	PN-EN ISO 717-1
		uderzeniowe	projektowy wskaźnik poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L_{n,w,R}$	PN-EN ISO 717-2
5	Drzwi wewnętrzne	powietrzne	projektowy wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej $R_{A,1,R}$	PN-EN ISO 717-1
6	Dodatkowe ustroje izolacyjne na przegrodach wewnętrznych ^{b)}	powietrzne	–	–
7	Ściana zewnętrzna, stropodach bez okien lub z oknami	powietrzne	wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,2}$	PN-EN ISO 717-1
8	Okna lub drzwi balkonowe w przegrodzie zewnętrznej	powietrzne	wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,2}$	PN-EN ISO 717-1
9	Nawiewniki powietrza zewnętrznego stosowane w przegrodach zewnętrznych ^{b)}	powietrzne	–	–
10	Dodatkowe ustroje izolacyjne na przegrodach zewnętrznych ^{b)}	powietrzne	–	–

^{a)} Wskaźnik oceny wzorcowej różnicy poziomów $D_{nT,A,1}$ należy stosować, gdy powierzchnia przegrody S , wspólna w obu przyległych pomieszczeniach, jest mniejsza od 10 m².

^{b)} Daną konstrukcję lub element przegrody należy oceniać łącznie z przegrodą, z którą jest powiązana.

Tablica 1. Wskaźniki charakteryzujące izolacyjność akustyczną przegród w budynku w dB [5]

W tablicy 1 przedstawiono, zaczerpnięte z normy [5], najistotniejsze z punktu widzenia tematyki opracowania nazwy i symbole związane z wymaganiami w zakresie izolacyjności akustycznej. Należy zwrócić uwagę, że w przypadku stropów i ścian w obrębie mieszkania wymagania dotyczą wartości projektowego wskaźnika oceny ($R_{A,1,R}$, $L_{n,w,R}$), w przeciwieństwie do pozostałych przegród dla których należy określić wartość wskaźnika oceny przybliżonej ($R'_{A,1}$, $R'_{A,2}$, $D_{nT,A,1}$, $D_{nT,A,2}$, $L'_{n,w}$), a więc wartość uwzględniającą przenoszenie pośrednie dźwięku. Nieprzekroczenie wartości granicznych wskaźników (kolumna 4, tablica 1) podanych w normie oznacza spełnienie wymagań w zakresie izolacyjności akustycznej.

Sposób przedstawienia wymagań dotyczących izolacyjności akustycznej przez normę PN-B-02151-3:2015-10 [5] różny jest dla przegród wewnętrznych i zewnętrznych. W przypadku przegród wewnętrznych wymagania przedstawiono w postaci tabel zawierających minimalne wartości wskaźników oceny izolacyjności od dźwięków powietrznych oraz maksymalne wartości wskaźnika ważonego znormalizowanego poziomu uderzeniowego. Wymagania należy przyjmować adekwatnie do rodzaju rozpatrywanego budynku, rodzaju przegrody lub elementu (ściany, stropu, drzwi) oraz funkcji pomieszczeń rozdzielonych przegrodą. W normie przedstawiono wymagania dotyczące dźwiękoizolacyjności przegród wewnętrznych w budynkach mieszkalnych oraz zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej.

Zestawienie budynków dla których ustanowiono wymagania przedstawiono w tabelicy 2.

Lp.	Rodzaj przegrody
1	Budynki mieszkalne
I	Budynki wielorodzinne
II	Budynki jednorodzinne
2	Budynki zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej
I	Hotele
II	Budynki zakwaterowania turystycznego (hotele turystyczne, pensjonaty, domy wycieczkowe)
III	Budynki zbiorowego zamieszkania (domy studenckie, internaty i bursy szkolne, hotele robotnicze, domy dziecka, domy opieki społecznej)
IV	Żłobki i budynki szkolnictwa przedszkolnego
V	Szkoły podstawowe i ponadpodstawowe
VI	Budynki szkół wyższych i placówek badawczych
VII	Budynki szpitalne i zakładów opieki medycznej
VIII	Budynki biurowe
IX	Budynki sądów i prokuratur

Tablica 2. Rodzaje grup budynków, dla których ustanowiono wymagania dotyczące dźwiękoizolacyjności w normie [5]

Dla przegród zewnętrznych zgodnie z zapisami normy [5] wymagania projektant musi ustalić indywidualnie za pomocą wzoru:

$$R'_{A,2} = L_{A,zew} - L_{A,wew} + 10 \lg \left(\frac{S}{A} \right) + 3, \text{ dB} \quad (1)$$

gdzie:

$L_{A,zew}$ - miarodajny poziom hałasu na zewnątrz danej przegrody zewnętrznej, wartość zaokrąglona do pełnej liczby decybeli

$L_{A,wew}$ - poziom odniesienia do obliczania izolacyjności akustycznej przegrody zewnętrznej w dB na podstawie tablicy normy

S - pole rzutu powierzchni przegrody zewnętrznej na płaszczyznę fasady lub dachu widzianej od strony pomieszczenia w m^2

A - chłonność akustyczna pomieszczenia w oktawowym paśmie o częstotliwości $f = 500 \text{ Hz}$ bez wyposażenia pomieszczenia i obecności użytkowników w m^2

3 - poprawka w dB.

Niezależnie od wyniku obliczeń izolacyjność akustyczna przegrody zewnętrznej nie może być mniejsza od wartości poniżej [5]:

- $R'_{A,2} = 25 \text{ dB}$ - hole i pomieszczenia recepcji w hotelach, korytarze i pomieszczenia rekreacyjne w szkołach, sale konsumpcyjne kawiarni i restauracji, sale wystawowe oraz pomieszczenia do zajęć

sportowych i inne pomieszczenia o podobnym przeznaczeniu

■ R'A,2 = 30 dB – pozostałe pomieszczenia.

Wyznaczenie miarodajnego poziomu hałasu $L_{A,zew}$ związane jest z koniecznością wykonania obliczeń, ponieważ wartość ta dotyczy okresu 1 roku i dla tak długiego okresu czasu, pomiar hałasu z oczywistych względów nie jest racjonalnym rozwiązaniem. Pomiar hałasu pozostaje oczywiście nadal bardzo pożądanym narzędziem służącym do kalibracji modelu obliczeniowego. Istnieje również możliwość wyznaczenia wartości $L_{A,zew}$ na podstawie map akustycznych. W tym przypadku jednak należy uwzględnić możliwą zmianę wartości poziomu hałasu na wysokości rozpatrywanej elewacji w stosunku do wysokości 4 m nad poziomem terenu dla której sporządza się mapy hałasu. Obiektywnie stwierdzić należy, że określenie wartości miarodajnego poziomu hałasu na zewnątrz przegrody zewnętrznej wymaga zaangażowania odpowiednich sił i środków oraz nie może się odbyć bez koniecznego w tym zakresie doświadczenia.

Metodyka obliczeń izolacyjności od dźwięków powietrznych

Najlepszym sposobem na określenie parametrów dźwiękoizolacyjnych przegród i elementów w budynku jest wykonanie pomiarów in-situ. Oczywistym minusem tego podejścia jest konieczność posiadania budynku, a co za tym idzie brak możliwości skorzystania z tej metody na etapie projektu. Określenie tych samych parametrów na tym etapie wymaga użycia metod teoretycznych, polegających na przeprowadzeniu odpowiednich obliczeń uwzględniających drogi pośrednie przenoszenia dźwięku. W arkuszu normy PN-EN 12354-1:2002 [7] podane zostały metody wykonania takich obliczeń umożliwiających uzyskanie wyników, dotyczących zarówno wartości w poszczególnych pasmach częstotliwości wg metody dokładnej (wzór 2), jak i jednolicebnowych wartości wskaźników wg metody uproszczonej (wzór 3).

$$\tau' = \tau_d + \sum_{f=1}^n \tau_f + \sum_{e=1}^m \tau_e + \sum_{s=1}^k \tau_s \quad (2)$$

gdzie:

τ – współczynnik przenoszenia dźwięku drogą materiałową lub powietrzną
d, f, e, s – indeksy związane z drogą lub systemem transmisji dźwięku
n, m, k – liczba elementów, systemów biorących udział w przenoszeniu dźwięków.

$$R'_{\overline{w}} = -10 \lg \left[10^{-R_{Dd,w}/10} + \sum_{F=f-1}^n 10^{-R_{Ff,w}/10} + \sum_{f=1}^n 10^{-R_{Df,w}/10} + \sum_{F=1}^n 10^{-R_{Fd,w}/10} \right] \quad (3)$$

gdzie:

$R_{Dd,w}$, $R_{Ff,w}$, $R_{Df,w}$, $R_{Fd,w}$ – ważne wskaźniki izolacyjności dla poszczególnych dróg przenoszenia dźwięku
n – liczba przegród bocznych.

Model uproszczony odnosi się do jednolicebnowego ważonego wskaźnika przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{\overline{w}}$, jednak w myśl normy [7] może być również stosowany do wyznaczenia wskaźnika oceny izolacyjności akustycznej właściwej R'_{A1} lub wskaźnika wzorcowej różnicy poziomów $D_{nT,A1}$.

Obiektywnie ocenić należy, że ze względu na ilość potrzebnych danych oraz pracochłonność obliczeń wykorzystanie tych metod przez projektantów jest problematyczne. W celu uproszczenia metodyki Zakład Akustyki Instytutu Techniki Budowlanej opracował instrukcję pozwalającą w łatwy sposób oszacować prognozowane wartości wskaźników oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej dla szeregu rozwiązań istniejących na rynku [10]. Przedstawiona poniżej „metoda szacunkowa” dotyczy określenia

wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,1}$ poprzez przyjęcie bocznego przenoszenia dźwięku, jako stabelizowanej wartości poprawki K_a wg wzoru:

$$R'_{A,1} = R_{A,1,R} - K_a, \text{ dB} \quad (4)$$

gdzie:

$R_{A,1,R}$ - wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej, projektowy w dB

K_a - poprawka określająca wpływ bocznego przenoszenia dźwięku, na wartość wskaźnika $R'_{A,1}$ w dB.

Wartość wskaźnika $R_{A,1,R}$ należy przyjąć jako skorygowaną wartość wskaźnika $R_{A,1}$ wg poniższej zależności:

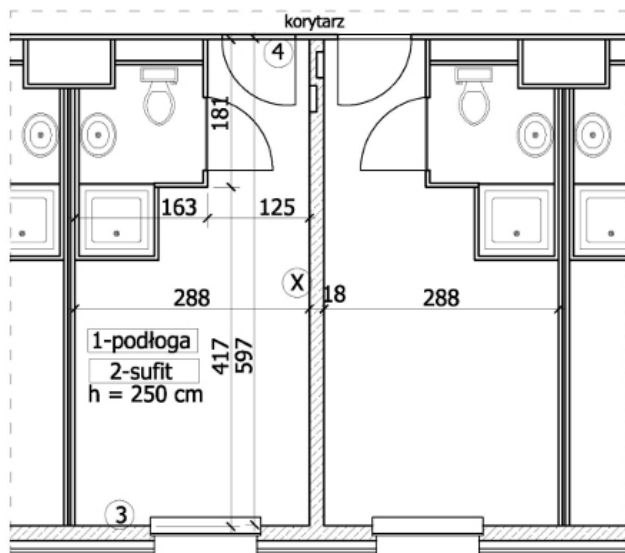
$$R_{A,1,R} = R_{A,1} - 2, \text{ dB} \quad (5)$$

Wartości poprawki K_a przyjąć należy z tablic [10] w zależności od parametrów materiałowych przegrody rozdzielającej i przegród bocznych oraz parametrów geometrycznych pomieszczenia odbiorczego. Wartości wskaźnika $R_{A,1}$ zaleca się przyjmować jako wyznaczone na podstawie badań laboratoryjnych.

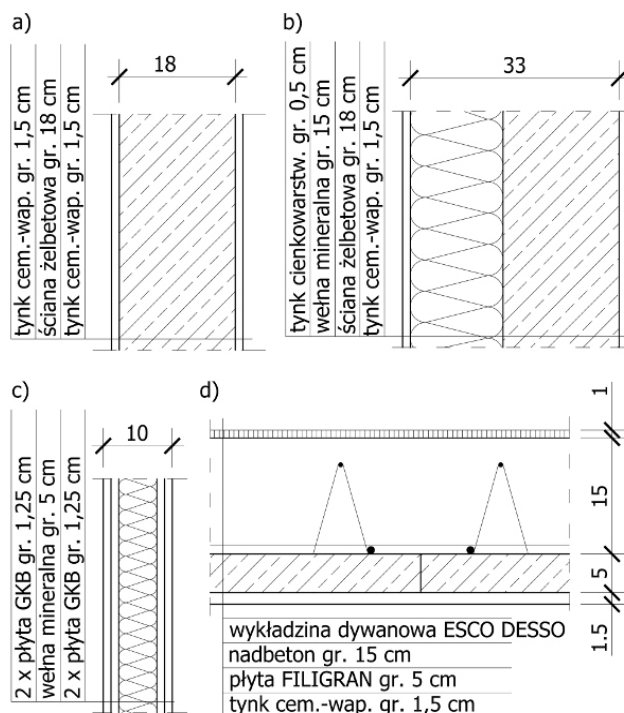
Porównanie wyników obliczeń z wynikami pomiarów na budynku

Pomimo że jak wspomniano wcześniej, wykorzystanie modeli obliczeniowych zawartych w normie PN-EN 12354-1:2002 [7] w codziennych obliczeniach przez projektantów może nastręczyć trudności, poniżej zdecydowano się pokazać porównanie wyników obliczeń wykonanych właśnie za pomocą modelu uproszczonego z normy [7] z wynikami pomiarów terenowych przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej. Porównanie jest o tyle cenne, że zastosowana do obliczeń metoda jest wykorzystywana również w programach obliczeniowych dostępnych na naszym rynku, służących do prognozowania izolacyjności między pomieszczeniami. Stąd wydaje się istotne, aby potencjalny użytkownik był świadomy ich ograniczeń oraz zgodności wyników z rzeczywistymi wartościami, które będą charakteryzowały budynek.

Do porównania wybrano dwa budynki. Pierwszym z nich był hotel (obiekt I), drugim natomiast dom wielorodzinny (obiekt II). Obiekt I wybrano ze względu na występującą drogę pośrednią przenoszenia dźwięku przez korytarz. Izolacyjność drzwi oddzielających korytarz od pokoi niższa o 8 dB od izolacyjności ściany nr 4 wskazywała na istotną rolę tej drogi powietrznej. Obiekt II jest interesujący ze względu na brak ciągłości ścian bocznych nr 3 i 4 po obu stronach ściany rozdzielającej pomieszczenia, występowanie ściany dwuwarstwowej (przedłużenie ścian X i nr 3) oraz konstrukcję przegrody nr 4 stanowiącą obudowę trzonów kominowych i pionu instalacyjnego. Cechy te właściwie wykluczają możliwość zastosowania normowego modelu uproszczonego [7]. Obliczenia jednak wykonano. Zrealizowano je dla dwu wariantów, co pozwoliło ocenić istotność zmiany założeń obliczeniowych na wynik końcowy. Na rysunkach 1-4 przedstawiono rzuty pomieszczeń oraz przegrody uwzględnione w obliczeniach.



Rys. 1. Rzut pokoi hotelowych w obiekcie nr I



Rys. 2. Schematyczne przedstawienie przegród: a) ściana rozdzielająca pomieszczenia oznaczona na rzucie jako X, b) ściana nr 3, c) ściana nr 4, d) strop nr 1 i 2

Celem obliczenia izolacyjności akustycznej właściwej pomiędzy pomieszczeniami przyjęto poniższe założenia i warianty. Dla obiektu nr I (hotel):

- dla połączenia stropów z przegrodą rozdzielającą X przyjęto wskaźnik redukcji drgań jak dla sztywnego złącza krzyżowego
- dla połączenia ścian bocznych z przegrodą rozdzielającą X przyjęto wskaźnik redukcji drgań jak dla sztywnego złącza typu „T”
 - w obliczeniach pominięto zewnętrzną warstwę wełny mineralnej na przegrodzie nr 3
 - nie uwzględniono „osłabienia” ściany rozdzielającej X otworami na skrzynki elektryczne.

Dodatkowo w wariantcie I-A:

- pominięto wpływ pośredniego przenoszenia dźwięku drogą powietrzną przez korytarz.

Dodatkowo w wariantcie I-B:

- uwzględniono wpływ pośredniego przenoszenia dźwięku drogą powietrzną przez korytarz.

Wychodząc z założeń ogólnych (wzór 1) oraz nawiązując do propozycji zawartej w instrukcji [10] dot. metody szacunkowej, uwzględniono wpływ pośredniego przenoszenia dźwięku drogą powietrzną poprzez uzupełnienie wzoru 3 o współczynnik transmisji pośredniej τ_s przyjmując wskaźnik $R_{A,1,R}$ dla obojga drzwi wynoszący 31 dB zgodnie z danymi producenta:

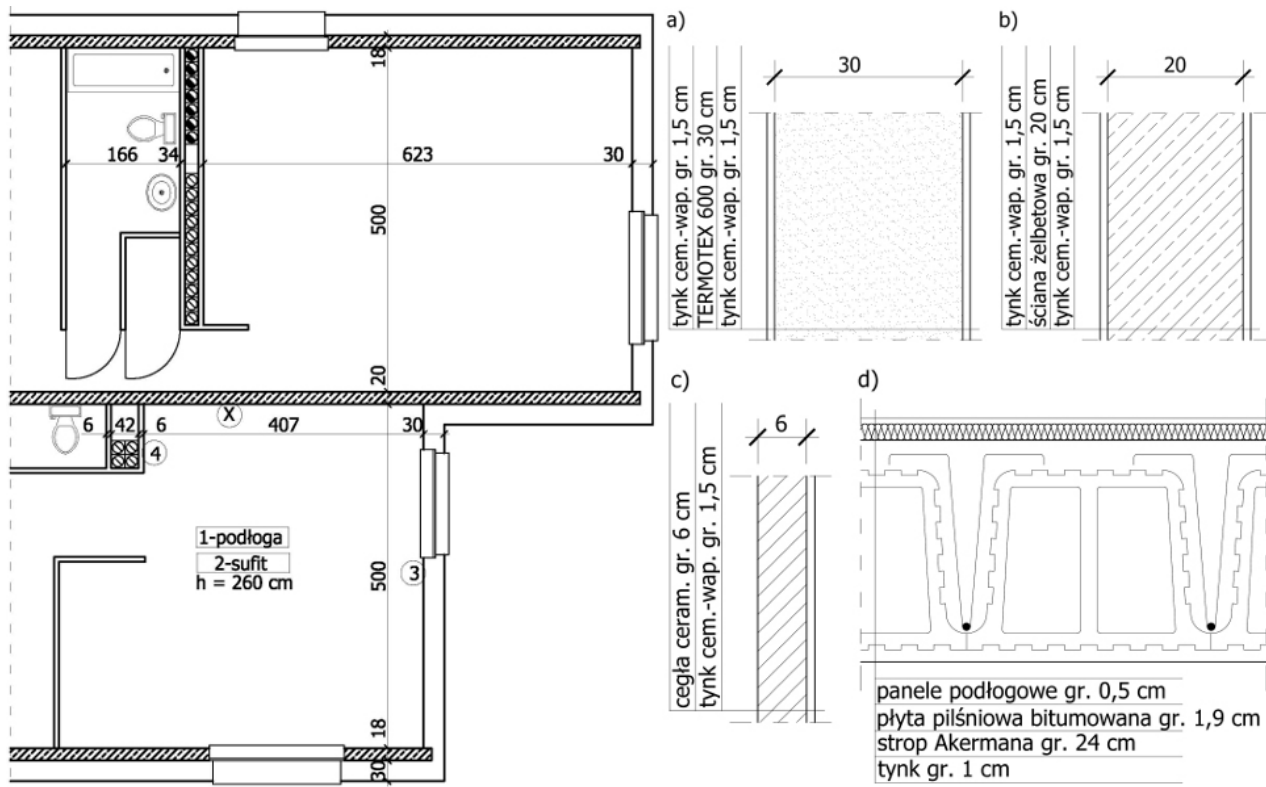
$$\tau_s = \frac{A_0}{S_s} \cdot 10^{-D_{n,s}/10} \quad (6)$$

gdzie:

$D_{n,s}$ – znormalizowana różnica poziomów obliczona zgodnie z załącznikiem F2 normy [7]

A – równoważne pole powierzchni dźwiękochłonne odniesienia w m^2

S_s – powierzchnia przegrody działowej w m^2 .



Rys. 3. Rzut pomieszczeń mieszkalnych w obiekcie nr II

Rys. 4. Schematyczne przedstawienie przegród: a) ściana nr 3, b) ściana rozdzielająca pomieszczenia oznaczona na rzucie jako X, c) ściana nr 4, d) strop nr 1 i 2

Dla obiektu nr II (budynek wielorodzinny):

- dla połączenia stropów z przegrodą rozdzielającą X przyjęto wskaźnik redukcji drgań jak dla sztywnego złącza krzyżowego
- dla połączenia ścian bocznych z przegrodą rozdzielającą X przyjęto wskaźnik redukcji drgań jak dla sztywnego złącza typu „T”
- wartość wskaźnika oceny izolacyjności akustycznej właściwej $RA_{1,R}$ dla stropu Akermana przyjęto ze względu na brak danych jak dla stropu Fert 45
- w przypadku przysunięcia poziomego pomieszczeń, kontynuację ściany rozdzielającej X potraktowano w obliczeniach jak element boczny nr 3, a jej dwuwarstwową budowę pominięto i w obliczeniach przyjęto dane jak dla ściany jednowarstwowej
- w przypadku przysunięcia poziomego pomieszczeń, kontynuację ściany rozdzielającej X potraktowano w obliczeniach jak ścianę boczną nr 4, dla której pominięto dodatkowo wpływ trzonów kominowych
- przyjęto taki sam rodzaj przegrody po obu stronach złącza (połączenia ściany rozdzielającej X ze ścianą boczną nr 3 oraz ze ścianą boczną nr 4).

Dodatkowo w wariantcie II-A:

- po obu stronach złącza ściany X ze ścianą nr 3 i 4 przyjęto dane jak dla ściany nr 3 i 4.

Dodatkowo w wariantcie II-B:

- po obu stronach złącza ściany X ze ścianą nr 3 i 4 przyjęto dane jak dla ściany X.

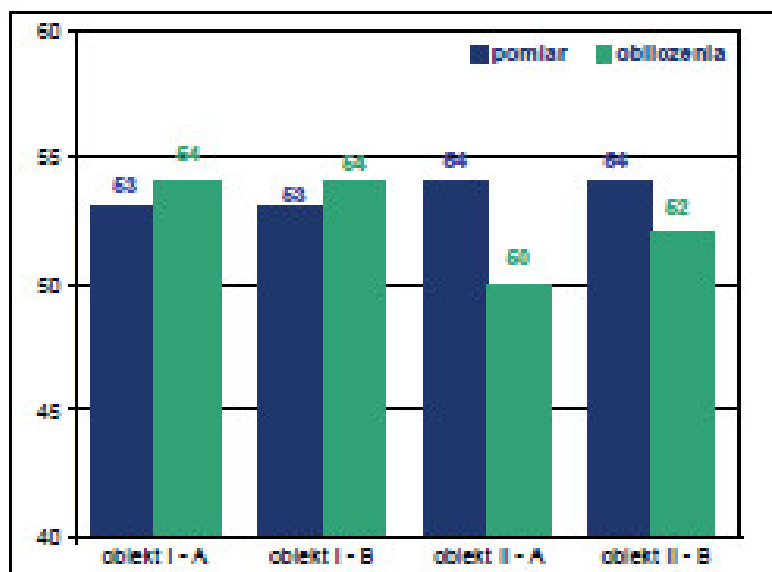
Dane uwzględniające powyższe warianty oraz wyniki obliczeń w postaci wartości wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,1}$ przedstawiono w tablicy 3.

Zawiera ona widok części arkusza kalkulacyjnego, za pomocą którego dokonano obliczeń. Jednoliczbowe wskaźniki oceny izolacyjności akustycznej poszczególnych przegród przyjęto na podstawie instrukcji [8, 9].

Wyniki obliczeń porównane z wynikami pomiarów terenowych przedstawiono na rys. 5.

WARIANT a										WARIANT b											
Dane: $l_0 = 1,00 \text{ m}$ $S_2 = 14,93 \text{ m}^2$										Dane: $l_0 = 1,00 \text{ m}$ $S_2 = 14,93 \text{ m}^2$											
OBIEKT I wariant lb	m' kg/m ²	R_{A1R} dB	$\frac{m'_s}{m'}$ m'	K_{Fr}	K_{Fd}	K_{Dr}	l_r m	$\frac{S_2}{l_0 l_r}$			OBIEKT I wariant lb	m' kg/m ²	R_{A1R} dB	$\frac{m'_s}{m'}$ m'	K_{Fr}	K_{Fd}	K_{Dr}	l_r m	$\frac{S_2}{l_0 l_r}$		
	przegroda rozdzielająca (d=D)	432	55	1,0								przegroda rozdzielająca (d=D)	432	55	1,0						
	przegroda (F=f=1)	480	57	1,0	8,7	8,7	8,7	5,97	4,0			przegroda (F=f=1)	480	57	1,0	8,7	8,7	8,7	5,97	4,0	
	przegroda (F=f=2)	480	57	1,0	8,7	8,7	8,7	5,97	4,0			przegroda (F=f=2)	480	57	1,0	8,7	8,7	8,7	5,97	4,0	
	przegroda (F=f=3)	432	55	1,0	5,7	5,7	5,7	2,50	7,8			przegroda (F=f=3)	432	55	1,0	5,7	5,7	5,7	2,50	7,8	
	przegroda (F=f=4)	34	47	4,6	17,5	8,2	8,2	2,50	7,8			przegroda (F=f=4)	34	47	4,6	17,5	8,2	8,2	2,50	7,8	
$D_{n,hA1} =$ nie uwzględniono OGÓŁEM: $R'_{A1,R} = 53,7 = 54 \text{ dB}$										$D_{n,hA1} = 76,3 = 76 \text{ dB}$ OGÓŁEM: $R'_{A1,R} = 53,7 = 54 \text{ dB}$											
Dane: $l_0 = 1,00 \text{ m}$ $S_2 = 10,58 \text{ m}^2$										Dane: $l_0 = 1,00 \text{ m}$ $S_2 = 10,58 \text{ m}^2$											
OBIEKT II wariant lb	m' kg/m ²	R_{A1R} dB	$\frac{m'_s}{m'}$ m'	K_{Fr}	K_{Fd}	K_{Dr}	l_r m	$\frac{S_2}{l_0 l_r}$			OBIEKT II wariant lb	m' kg/m ²	R_{A1R} dB	$\frac{m'_s}{m'}$ m'	K_{Fr}	K_{Fd}	K_{Dr}	l_r m	$\frac{S_2}{l_0 l_r}$		
	przegroda rozdzielająca (d=D)	432	55	1,0								przegroda rozdzielająca (d=D)	432	55	1,0						
	przegroda (F=f=1)	275	46	1,0	8,7	8,7	8,7	5,97	4,0			przegroda (F=f=1)	275	46	1,0	8,7	8,7	8,7	5,97	4,0	
	przegroda (F=f=2)	275	46	1,0	8,7	8,7	8,7	5,97	4,0			przegroda (F=f=2)	275	46	1,0	8,7	8,7	8,7	5,97	4,0	
	przegroda (F=f=3)	168	48	1,0	5,7	5,7	5,7	2,50	7,8			przegroda (F=f=3)	432	55	1,0	5,7	5,7	5,7	2,50	7,8	
	przegroda (F=f=4)	117	39	4,6	17,5	8,2	8,2	2,50	7,8			przegroda (F=f=4)	432	55	4,6	17,5	8,2	8,2	2,50	7,8	
$D_{n,hA1} =$ brak transmisji OGÓŁEM: $R'_{A1,R} = 50,3 = 50 \text{ dB}$										$D_{n,hA1} =$ brak transmisji OGÓŁEM: $R'_{A1,R} = 51,6 = 52 \text{ dB}$											

Tablica 3. Dane obliczeniowe wraz z wynikami końcowymi dla poszczególnych obiektów



Rys. 5. Wyniki pomiarów terenowych oraz obliczeń teoretycznych izolacyjności akustycznej właściwej pomiędzy pomieszczeniami: obiekt I - hotel (wariant A i B), obiekt II - budynek wielorodzinny (wariant A i B)

W przypadku obiektu I obliczone wartości wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,1}$ wyniosły 54 dB. Jest to wartość tylko o 1 dB wyższa od wartości uzyskanej na drodze pomiarowej ($R'_{A,1} = 53 \text{ dB}$). Zwrócić uwagę należy na fakt, że uwzględnienie pośredniego przenoszenia dźwięku przez korytarz w wariantcie I-B nie miało wpływu na uzyskany wynik, pomimo że izolacyjność akustyczna drzwi oddzielających pokoje od holu była o 8 dB niższa od izolacyjności ściany, w której były zamontowane.

Wynika to z faktu, że ściana oddzielająca pokój od korytarza charakteryzowała się niską dźwiękoizolacyjnością. Spowodowało to intensywną transmisję dźwięków tą drogą boczną. W świetle powyższych faktów transmisja drogą pośrednią przez korytarz nie miała znaczenia na wynik obliczeń. Na brak wpływu drogi pośredniej przez korytarz na wynik końcowy wpłynęła również wysoka dźwiękochłonność korytarza hotelowego (czas pogłosu wyniósł ok. 0,5 sek. dla częstotliwości 500 Hz).

W przypadku obiektu II różnice pomiędzy wynikami teoretycznymi a pomiarami są nieco większe. Wskaźnik oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,1}$ wyniósł 54 dB, natomiast wartość tego samego wskaźnika obliczona w wariancie II-A, za pomocą modelu uproszczonego wyniosła 50 dB. Wynik bliższy wartości pomierzonej uzyskano w wariancie II-B, w którym przegrody boczne przyjęto jako żelbetowe. Dla tak policzonego wariantu wartość wskaźnika $R'_{A,1}$ wyniosła 52 dB. Z punktu widzenia projektanta wynik obliczeń dla obiektu II jest bardziej korzystny, ponieważ daje zapas bezpieczeństwa o wartości 2 dB. Gorszy wynik uzyskany na drodze analitycznej dla obiektu A zaskakuje, ponieważ zgodnie z informacjami zawartymi w normie [7] należy oczekiwać wartości zaniżonych w stosunku do wartości rzeczywistych (z pomiarów in-situ) o 1-2 dB. Nadmienić należy, że zarówno wyniki obliczeń, jak i pomiarów w przypadku budynku I i II spełniał wymagania ustawowe w zakresie izolacyjności od dźwięków powietrznych wynoszące dla obu przypadków $R'_{A,1} \geq 50$ dB.

Podsumowanie

W artykule przypomniano podstawowe informacje dotyczące wymagań z zakresu izolacyjności akustycznej. Przytoczono metodykę obliczeniową w zakresie izolacyjności od dźwięków powietrznych. Głównym celem autora było jednak przedstawienie porównania wyników obliczeń teoretycznych dotyczących izolacyjności od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami z wynikami pomiarów terenowych. W artykule celowo ze względu na obszerność zagadnienia pominięto kwestie dotyczące izolacyjności od dźwięków uderzeniowych. W żaden sposób nie oznacza to jednak, że zakres ten jest mniej ważny od ujętego w artykule i że może być pomijany w ocenie akustycznej budynków.

dr inż. Leszek Dulak
Politechnika Śląska

Literatura

1. Ustawa z 7.07.1994 r. Prawo budowlane (Dz.U. nr 49, poz. 414) z późn. zm.
2. Rozporządzenie MI z 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. nr 75, poz. 690) z późn. zm.
3. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) Nr 305/2011 z 9.03.2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG.
4. PN-B-02151-3:1999 Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych – Wymagania.
5. PN-B-02151-3:2015-10 Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 3: Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród w budynkach i elementów budowlanych.
6. PN-B-02151-4:2015-06 Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach oraz wytyczne prowadzenia badań.
7. PN-EN 12354-1:2002 Akustyka budowlana – Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów – Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych pomiędzy pomieszczeniami.
8. Szudrowicz B., Żuchowicz-Wodnikowska B., Tomczyk P., *Właściwości dźwiękoizolacyjne przegród budowlanych i ich elementów*, Instrukcja ITB, nr 369, Warszawa, 2002.
9. Szudrowicz B., Tomczyk P., *Właściwości dźwiękoizolacyjne ścian, dachów, okien i drzwi oraz nawiewników powietrza zewnętrznego*, Instrukcja ITB, nr 448, Warszawa, 2009.
10. Szudrowicz B., *Metody obliczania izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami w budynku według PN-EN 12354-1:2002 i PN-EN 12354-2:2002*, Instrukcja ITB, nr 406, Warszawa, 2005.