

mgr inż. Bartłomiej Ziarko<sup>1)</sup>  
ORCID: 0000-0002-8836-5586

# Weryfikacja powykonawcza izolacyjności akustycznej ścian i stropów w budynkach wielorodzinnych

## *Post-construction verification of acoustic insulation of walls and floors in multi-family buildings*

DOI: 10.15199/33.2020.08.05

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono analizę izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych i uderzeniowych wybranych przegród w budynkach wielorodzinnych. Wyniki pomiarów izolacyjności akustycznej porównano z wymaganiami normowymi oraz zaprezentowano rozwiązania umożliwiające spełnienie tych wymagań. Przedstawiono także przykładowy wpływ ocieplenia ściany wewnętrznej na izolacyjność akustyczną.

**Słowa kluczowe:** architektura; akustyka; izolacyjność akustyczna; zabudowa mieszkaniowa.

**Abstract.** The article presents an analysis of acoustic insulation against airborne and impact sounds for selected partitions in multi-family buildings. The results of measurements of acoustic insulation are presented together with their comparison to standard requirements. Solution enabling meeting standard requirements were also presented. The article also presents an example of the impact of the application of internal wall insulation on the acoustic insulation.

**Keywords:** architecture; acoustics; acoustic insulation; housing.

Na komfort akustyczny w budynku wpływa wiele czynników, natomiast jednym z kluczowych jest izolacyjność przegród międzymieszkaniowych (ścian i stropów). Powinny one charakteryzować się odpowiednimi parametrami akustycznymi. W przypadku ścian ocenia się izolacyjność od dźwięków powietrznych, natomiast stropów – izolacyjność od dźwięków powietrznych i izolacyjność od dźwięków uderzeniowych [2]. W artykule przeanalizowane zostały wybrane przegrody w budynku wielomieszkaniowym w kontekście ich izolacyjności w odniesieniu do wymagań normowych obowiązujących podczas budowy.

### Charakterystyka badanych przegród

Analizowane przegrody znajdują się w trzech budynkach mieszkalnych oraz mieszkalno-usługowych wykonanych w tej samej technologii przy użyciu jednakowych materiałów. Budynki mają sześć kondygnacji naziemnych i zaprojektowane zostały w układzie klatkowym, gdzie z każdej klatki schodowej na każdym piętrze jest dostęp od trzech do pięciu mieszkań. W przypadku trzech pierwszych kondygnacji konstrukcję stanowi żelbetowy układ płytowo-tarczowy. Od trzeciej kondygnacji część wewnętrznych ścian konstrukcyjnych wykonano jako murowane z pustaków betonowych wzmocnionych lokalnie słupami żelbetowymi. W przypadku wszystkich kondygnacji ściany zewnętrzne i trzony komunikacyjne wykonano jako żelbetowe. Płyty stropowe poszczególnych kondygnacji oraz płyty spoczników zaprojektowano jako żelbetowe monolityczne. Biegi schodowe są żelbetowe prefabrykowane. Ściany wewnętrzne międzymieszkaniowe zostały wykonane z pustaków betonowych o grubości 17,8 cm, otyn-

kowanych dwustronnie tynkiem gipsowym. Ściany wewnętrzne pomiędzy korytarzem a lokalem mieszkalnym zbudowano też z pustaków betonowych dodatkowo docieplonych od strony korytarza tynkiem termoizolacyjnym o grubości 4 cm oraz wykończono tynkiem gipsowym od strony mieszkania i malowaną gładzią gipsową na korytarzu. Ściany działowe wewnątrzlokalowe to pustaki betonowe o grubości 8 i 12 cm (odpowiednio w przypadku pokoi i łazienek). Do wykonania podłóg pływających wykorzystano warstwy izolacji akustycznej ze styropianu EPS100 o grubości 3 cm i EPS T o grubości 2 cm przykrytych zbrojoną wylewką betonową o grubości 5 cm. Warstwa wierzchnia w pokojach lokali mieszkalnych to panele podłogowe, natomiast w łazienkach i na korytarzach – płytki gresowe. Przegrody w budynku zostały poddane analizie pod względem izolacyjności od dźwięków powietrznych i uderzeniowych. Do analiz pod względem izolacyjności od dźwięków powietrznych wybrano pięć rodzajów przegród:

- 1\_P (ściana murowana o łącznej grubości 23,8 cm pomiędzy korytarzem a lokalem mieszkalnym);
- 2\_P (ściana murowana grubości 19,8 cm pomiędzy lokalami mieszkalnymi);
- 3\_P (ściana murowana działowa grubości 10 cm pomiędzy pokojami w lokalu mieszkalnym);
- 4\_P (ściana murowana działowa grubości 14 cm pomiędzy łazienką a pokojem w lokalu mieszkalnym);
- 5\_P (strop grubości 31 cm pomiędzy dwoma lokalami mieszkalnymi usytuowanymi bezpośrednio pod sobą).

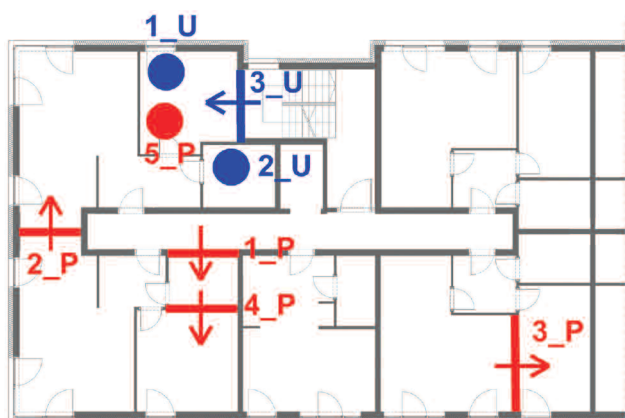
Do analizy pod względem izolacyjności od dźwięków uderzeniowych wybrano trzy rodzaje przegród:

- 1\_U (strop grubości 31 cm pomiędzy pokojami w lokalach mieszkalnych usytuowanych bezpośrednio pod sobą);
- 2\_U (strop grubości 31 cm pomiędzy łazienkami w lokalach mieszkalnych usytuowanych bezpośrednio pod sobą);

<sup>1)</sup> Politechnika Krakowska; Wydział Inżynierii Lądowej; [bziarko@pk.edu.pl](mailto:bziarko@pk.edu.pl)

■ 3\_U (płyta spocznika grubości 20 cm klatki schodowej sąsiadującej bezpośrednio z lokalem mieszkalnym).

Lokalizacja poszczególnych przegród została dobrana tak, aby w przypadku każdego z analizowanych budynków przypadał minimum jeden rodzaj danej przegrody. Przykładową lokalizację analizowanych przegród przedstawiono na rysunku 1. Kolorem czerwonym oznaczono przegrody analizowane pod względem izolacyjności od dźwięków powietrznych, a niebieskim – od dźwięków uderzeniowych. Poziomy kierunek pomiaru został oznaczony strzałką, natomiast pionowy, skierowany ku kondygnacji znajdującej się bezpośrednio niżej, okręgiem.



Rys. 1. Fragment rzutu kondygnacji powtarzalnej wielorodzinnego budynku mieszkalnego z lokalizacją analizowanych przegród

Fig. 1. Part of the plan of repeating storey in a multi-family residential building with the location of analyzed partitions

## Metoda pomiarów

Do pomiarów wykorzystano mierniki poziomu dźwięku klasy 1. Czas pogłosu mierzono, stosując źródło impulsowe (pistolet hukowy). Pomiar izolacyjności od dźwięków powietrznych wykonano zgodnie z zaleceniami podanymi w normie [3]. W przypadku każdej z dwóch pozycji głośnika w pomieszczeniu nadawczym wykonano dwie ręcznie skanowane pozycje mikrofonów w pomieszczeniu odbiorczym z określoną ścieżką dla każdej mierzonej przegrody. Czas uśredniania każdej pozycji mikrofonu wynosił 30 s. Obliczenia izolacyjności od dźwięków powietrznych wykonano zgodnie z wytycznymi [4] ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej  $R'_w$  przy wykorzystaniu odpowiednich widmowych wskaźników adaptacyjnych  $C$  i  $C_{tr}$ . W polskich wymaganiach dotyczących izolacyjności od dźwięków powietrznych w budynkach [5] parametrem używanym do opisu izolacyjności akustycznej przegrody wewnętrznej jest wskaźnik  $R'_{A1}$  związany z widmem  $C$  stosowany, gdy źródło hałasu ma charakter średnio- i wysokoczęstotliwościowy.

$$R'_{A1} = R'_w + C \quad (1)$$

Pomiar izolacyjności od dźwięków uderzeniowych wykonano zgodnie z opisem podanym w normie [6]. Do generowania impulsów testowych wykorzystano stukacz młotkowy. W przypadku każdego z sześciu pozycji stukacza w pomieszczeniu nadawczym wykonano jedną ręcznie skanowaną pozycję

mikrofonu w pomieszczeniu odbiorczym. Czas uśredniania każdej pozycji mikrofonu wynosił 30 s. Obliczenia izolacyjności od dźwięków uderzeniowych prowadzono zgodnie z normą [7]. W celu oceny warunków akustycznych przegrody z uwzględnieniem izolacyjności od dźwięków uderzeniowych oblicza się poziom dźwięku uderzeniowego. Warto zwrócić uwagę, że w przeciwieństwie do izolacyjności od dźwięków powietrznych (gdzie duża wartość wskaźnika  $R'_w$  świadczy o dobrej izolacyjności badanej przegrody), **mała wartość poziomu uderzeniowego w pomieszczeniu odbiorczym będzie świadczyć o bardzo dobrej izolacyjności przegrody**. Z tego względu graniczne wartości podane w wymaganiach [5] są największymi wartościami dozwolonymi. Zasady obliczania parametrów akustycznych przedstawiają wzory na ważony wskaźnik izolacyjności akustycznej ( $R'_w$ ) zgodnie z [3] oraz na znormalizowany poziom dźwięku uderzeniowego ( $L'_n$ ) zgodnie z [6].

$$R'_w = L_1 - L_2 + 10 \log_{10} S/A \quad (2)$$

gdzie:

$L_1$  – średni poziom dźwięku w pomieszczeniu nadawczym [dB];

$L_2$  – średni poziom dźwięku w pomieszczeniu odbiorczym [dB];

$S$  – powierzchnia badanej przegrody [ $m^2$ ];

$A$  – równoważne pole powierzchni dźwiękochłonnej pomieszczenia odbiorczego (chłonność akustyczna) [ $m^2$ ];

$$L'_n = L_i + 10 \log_{10} A/A_0 \quad (3)$$

gdzie:

$L_i$  – poziom uderzeniowy w pomieszczeniu odbiorczym [dB];

$A$  – równoważna powierzchnia pochłaniania [ $m^2$ ];

$A_0 = 10 m^2$  – powierzchnia odniesienia  $A$ .

W przypadku każdego pomiaru parametru akustycznego, poziom hałasu tła został uzyskany przy użyciu tej samej ścieżki ręcznego skanowania i uśredniania czasu wynoszącej 30 s.

## Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów akustycznych izolacyjności od dźwięków powietrznych przedstawiono w tabeli 1, podając wskaźnik ważonej izolacyjności akustycznej właściwej  $R'_w$  oraz wzorcową różnicę poziomów  $D'_{nT,w}$  w przypadku przegród o powierzchni wspólnej mniejszej niż  $10 m^2$ , skorygowane zgodnie z wymaganiami polskich przepisów o współczynnik korekcyjny  $C$  dotyczący izolacyjności od hałasów bytowych, gdzie  $R'_{A1}/D'_{nTA1}$  odpowiada  $R'_w + C/D'_{nT,w} + C$ . Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych przedstawiono w tabeli 2.

Z porównania wyników pomiarów izolacyjności od dźwięków powietrznych widać, że w przypadku 14 z 19 przebadanych przegród zostały spełnione wymagania izolacyjności od dźwięków powietrznych. Rozwiązania materiałowe ścian i stropów okazały się wystarczające i zapewniają odpowiednią ich izolacyjność. Wartości izolacyjności przegród uzyskane podczas badań terenowych są mniejsze o 1 – 5 dB w porównaniu z obliczowanymi i deklarowanymi w przypadku danego rodzaju ściany. Wynika to przede wszystkim z przeniesienia bocznego przez przegrody. Nawet odpowiednio wykonane węzły połączenia ścian powodują niejednokrotnie pogorszenie izolacyjności akustycznej w porównaniu z wynikami laboratoryjnymi [1] i należy to uwzględnić już na etapie projektu oraz doboru materiałów (aby zapewnić zapas izolacyjności danej przegrody).

**Tabela 1. Izolacyjność od dźwięków powietrznych wraz z wymaganiami normy PN-B-02151-3:2015-10**

Table 1. Airborne sound insulation results together with the requirements of the PN-B-02151-3:2015-10 standard

Po-miar	Rodzaj przegrody	Liczba zbadanych przegród	$R'_{A1}$ [dB]/ $D'_{n,T,A1}$ <sup>1)</sup>	Wymaganie wg PN-B-02151-3:2015-10	Spełnienie wymagań przez przegrody [%]
1_P	Ściana korytarz/mieszkanie	5	47 – 51	50	20
2_P	Ściana mieszkanie/mieszkanie	5	51 – 58	50	100
3_P	Ściana wewnątrz-lokalowa, pokój/pokój	3	35 – 38	35	100
4_P <sup>2)</sup>	Ściana wewnątrz-lokalowa, łazienka/pokój	3	42 – 45	38	100
5_P	Strop mieszkanie/mieszkanie	3	56 – 58	51	100

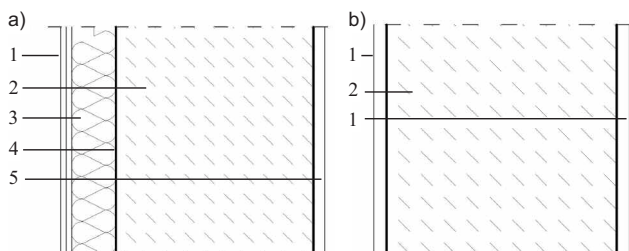
<sup>1)</sup>  $R'_{A1}$  – podana wartość odnosi się do zmierzonego wskaźnika przybliżonej izolacyjności właściwej dla przegród o powierzchni wspólnej  $S > 10 \text{ m}^2$ ;  $D'_{n,T,A1}$  – podana wartość odnosi się do zmierzonej wzorcowej różnicy poziomów dla przegród o powierzchni wspólnej  $S < 10 \text{ m}^2$ ; <sup>2)</sup> pomiar przeprowadzony w kierunku pomieszczenia chronionego

**Tabela 2. Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych wraz z wymaganiami normy PN-B-02151-3:2015-10 [5]**

Table 2. Impact sound insulation results together with the requirements of the PN-B-02151-3:2015-10 standard [5]

Po-miar	Rodzaj przegrody	Liczba zbadanych przegród	$L'_{n,w}$ [dB]	Wymaganie wg PN-B-02151-3:2015-10	Spełnienie wymagań przez przegrody [%]
1_U	Strop mieszkanie/mieszkanie	5	42 – 51	55	100
2_U	Strop łazienka/łazienka	3	51 – 55	55	100
3_U	Strop spocznik/mieszkanie	4	66 – 68	55	0

Interesujący jest fakt, że cztery z pięciu badanych przegród oddzielających korytarz klatki schodowej od lokali mieszkalnych nie spełniły wymagań normowych. Elementem konstrukcyjnym tych ścian jest ten sam bloczek betonowy co w przypadku ścian międzymieszkań (grubości 17,8 cm). Główną różnicą jest zastosowanie na ścianie od strony korytarza tynku termoizolacyjnego grubości 4 cm (w celu poprawy właściwości termicznych mieszkań). Układ dwóch porównywalnych ścian przedstawiono na rysunku 2.

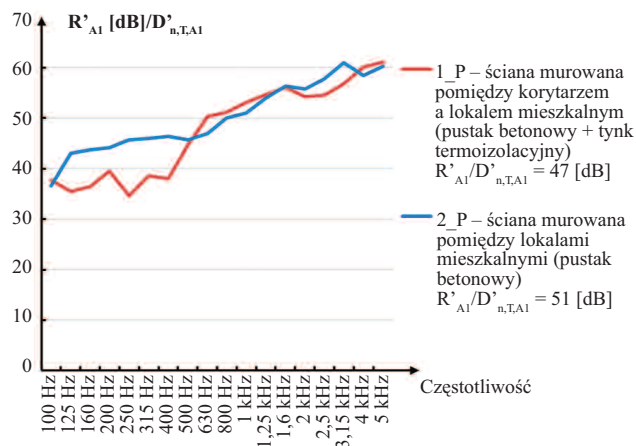


1 – tynk gipsowy (1 cm); 2 – ściana z pustaków betonowych (17,8 cm); 3 – tynk termoizolacyjny (4 cm); 4 – szpachla termoizolacyjna (0,5 cm); 5 – gładź gipsowa, malowana

**Rys. 2. Układy warstw i materiałów w ścianie: a) pomiędzy korytarzem a lokalem mieszkalnym; b) międzymieszkań**

Fig. 2. Layers and materials in the wall: a) between the corridor and the apartment; b) between the apartments

Zastosowanie dodatkowego ocieplenia zmniejszyło otrzymaną izolacyjność akustyczną analizowanej ściany. Na rysunku 3 zestawiono wyniki izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych tych ścian. Ich analiza wskazuje, że zastosowanie dodatkowej termoizolacji nieznacznie zwiększa izolacyjność przegrody w przypadku wysokiej częstotliwości (2500 – 3150 Hz), lecz jednocześnie istotnie zmniejsza w niskiej (100 – 500 Hz). W efekcie powoduje zmniejszenie wskaźnika izolacyjności akustycznej tego typu przegród o 1 – 4 dB i tym samym sprawia, że wszystkie te przegrody nie spełniają wymagań normowych.



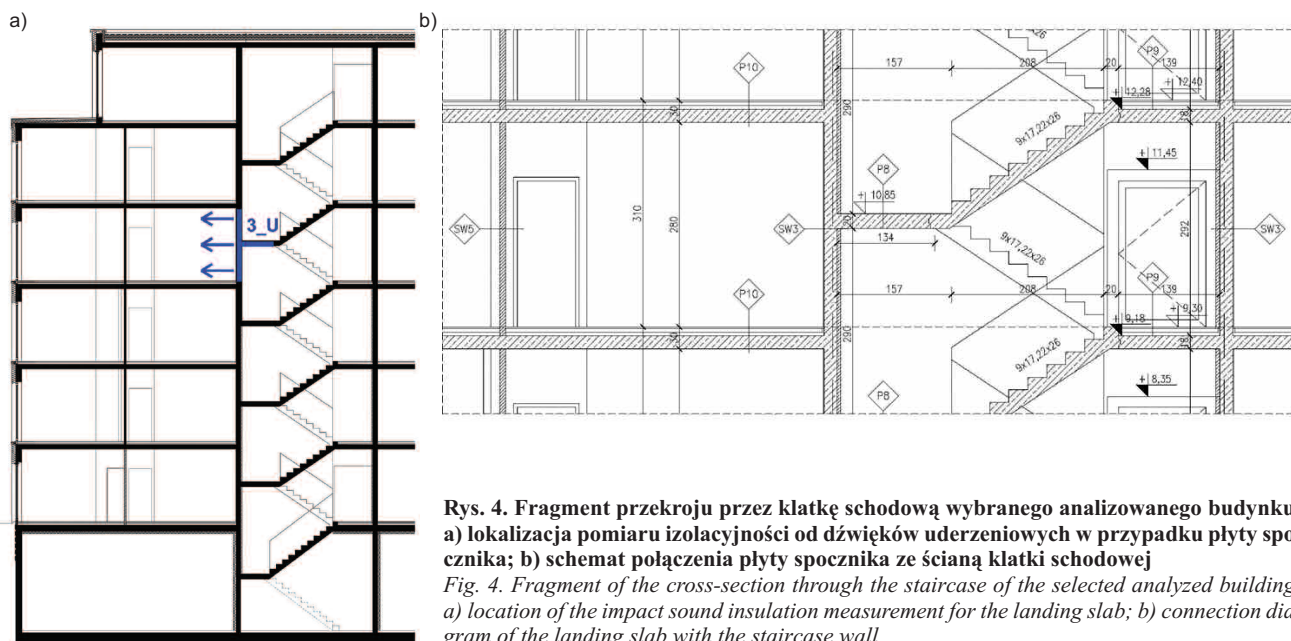
**Rys. 3. Porównanie wyników pomiarów izolacyjności akustycznej dwóch rodzajów przegród: ściany murowanej z pustaków betonowych ocieplonych tynkiem termoizolacyjnym oraz ściany z pustaków betonowych bez dodatkowej termoizolacji**

Fig. 3. Measurements results comparison of acoustic insulation for two types of partitions: a brick wall made of concrete blocks insulated with heat-insulating plaster and a wall made of concrete blocks without additional thermal insulation

Wyniki pomiarów izolacyjności od dźwięków uderzeniowych wskazują spełnienie wymagań normowych przez wszystkie badane stropy międzykondygnacyjne. W przypadku stropów z wykończeniem w postaci paneli podłogowych uzyskano bardzo małą wartość (nawet 42 dB). Warto nadmienić, że ten sam strop z posadzką z płytek gresowych w pomieszczeniach łazienek osiąga izolacyjność 51 – 55 dB. Wartości normowe nie zostały przekroczone. Są to jednak wyniki bliskie lub na granicy dopuszczalności.

Pomiary izolacyjności pomiędzy spocznikiem klatki schodowej a pokojem w lokalu mieszkalnym wykazały, że żadna z badanych przegród nie spełnia wymagań normowych. Wartości poziomu uderzeniowego w pomieszczeniu wynoszą 66 – 68 dB, a więc są bardzo duże. Powodem takich wyników jest konstrukcja spocznika i jego zakotwienie w ścianie budynku. Spocznik został wykonany na budowie jako żelbetowy monolityczny i zakotwiony bezpośrednio w ścianie klatki schodowej bez dylatacji czy elastycznego połączenia. Ściana ta sąsiaduje z pokojem w lokalu mieszkalnym, dlatego wszystkie dźwięki uderzeniowe przenoszą się całkowicie do jego wnętrza. Schemat i lokalizację wybranej analizowanej przegrody przedstawiono na rysunku 4.





**Rys. 4. Fragment przekroju przez klatkę schodową wybranego analizowanego budynku:**  
 a) lokalizacja pomiaru izolacyjności od dźwięków uderzeniowych w przypadku płyty spocznika; b) schemat połączenia płyty spocznika ze ścianą klatki schodowej

*Fig. 4. Fragment of the cross-section through the staircase of the selected analyzed building:*  
 a) location of the impact sound insulation measurement for the landing slab; b) connection diagram of the landing slab with the staircase wall

## Wnioski

Docieplenie ścian murowanych od strony korytarzy ogólnodostępnych było w założeniu zabiegiem mającym poprawić zarówno właściwości termiczne, jak i akustyczne tych przegród. Wpływ dodatkowej warstwy izolacji termicznej na izolacyjność akustyczną nie jest jednoznaczny. Dołożenie warstwy termoizolacji sprawia, że powstaje układ wielowarstwowy. Pojawia się wiele dodatkowych czynników związanych z częstotliwością rezonansową całego układu, właściwościami materiałowymi poszczególnych warstw, jak i technologią oraz jakością ich łączenia, co ma istotny wpływ na izolacyjność akustyczną [8]. Niestety w analizowanym przypadku efekt był odwrotny do zamierzonego i osiągnięto gorsze wartości izolacyjności akustycznej. Zwiększenie izolacyjności prawdopodobnie można byłoby osiągnąć, zamieniając tynk termoizolacyjny na warstwę składającą się z wełny mineralnej o dwóch gęstościach lub o nieregularnym układzie włókien.

Mała izolacyjność od dźwięków uderzeniowych płyty spocznika w analizowanych budynkach wynika z jej zakotwienia bezpośrednio w ścianie sąsiadującej z lokalem mieszkalnym. W związku z tym, że biegi schodów są oddylatowane od płyty podestów, najprostszym oraz najtańszym rozwiązaniem problemu byłoby wykonanie podłogi pływającej na płycie spocznika. Wymagałoby to jednocześnie weryfikacji i korekty wysokości niektórych stopni biegu.

Inne rozwiązania zapewniające zmniejszenie poziomu uderzeniowego w pomieszczeniu odbiorczym wiązałyby się z istotnymi zmianami w konstrukcji budynku. Optymalnym, lecz jednocześnie najbardziej inwazyjnym rozwiązaniem opisanego problemu byłoby zaprojektowanie osobnego, oddylatowanego od reszty budynku trzonu komunikacji pionowej zawierającego klatkę schodową oraz windy. W ten sposób zamknięta zostałaby droga rozchodzenia się dźwięków przez elementy konstrukcyjne klatki schodowej do sąsiednich pomieszczeń. Analogicznym, lecz mniej inwazyjnym rozwiązaniem byłoby oddylatowanie samej płyty spocznika od ścian konstrukcyjnych klatki schodowej.

Jednym z warunków otrzymania komfortowego akustycznie wnętrza jest osiągnięcie przez przegrody zewnętrzne i wewnętrzne bardzo dobrych właściwości izolacyjności zarówno od dźwięków powietrznych, jak i uderzeniowych. Rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe mają decydujący wpływ na parametry przegrody. Już na etapie projektowania należy rozważyć, jaki wpływ na izolacyjność akustyczną będą miały przyjęte rozwiązania. Zdarza się bowiem, że pomimo dobrych intencji wprowadzone dodatkowe elementy mają negatywny wpływ na niektóre parametry, a ich poprawa może okazać się bardzo kosztowna lub nawet niemożliwa.

## Literatura

- [1] Nering Krzysztof. 2019. „Weryfikacja powykonawcza izolacyjności akustycznej lekkich ścian działowych z płyt gipsowo-kartonowych w budynku biurowym w Warszawie”. *Materiały Budowlane* 564 (8): 26 – 28. DOI: 10.15199/33.2019.08.04.
- [2] Nurzyński Jacek. 2017. „Klasyfikacja akustyczna budynków mieszkalnych i ocena jakości akustycznej terenu – nowe propozycje normalizacyjne”. *Izolacje* 2: 30 – 36.
- [3] PN-EN ISO 16283-1:2014-05 Akustyka – Pomiar terenowy izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych. 2014.
- [4] PN-EN ISO 717-1:2013 Akustyka – Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych.
- [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, 2018.
- [6] PN-EN ISO 140-7:2000 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiar terenowy izolacyjności od dźwięków uderzeniowych stropów.
- [7] PN-EN ISO 717-2:2013 Akustyka – Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Część 2: Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych.
- [8] Zębala Kinga, Anna Zastawna-Rumin, Andrzej K. Kłosak, Leszek Dulak. 2012. „Relacje pomiędzy izolacyjnością akustyczną a izolacyjnością termiczną ścian jedno- i wielowarstwowych”. *Czasopismo Techniczne* 2-B: s. 471-481.

## Podziękowania

Autor dziękuje firmie archAKUSTIK za udostępnienie wyników pomiarów.

Przyjęto do druku: 23.07.2020 r.