



BIAŁE MUROWANIE

STOWARZYSZENIE
PRODUCENTÓW
SILIKATÓW

IZOLACYJNOŚĆ OD DŹWIĘKÓW POWIETRZNYCH I DŹWIĘKÓW UDERZENIOWYCH

Regulacje prawne, obliczenia i rozwiązania konstrukcyjne
na przykładzie ścian z silikatów

Leszek Dulak

Wydanie 2

Wydawca:
Stowarzyszenie Producentów Silikatów „Białe murowanie”
ul. Nowy Świat 41a
00-042 Warszawa

ISBN 978-83-950919-2-6
Warszawa 2021

Szanowni Państwo,

w 2016 roku publikacją „**Izolacyjność od dźwięków powietrznych i uderzeniowych. Regulacje prawne, obliczenia i rozwiązania konstrukcyjne na przykładzie ścian z silikatów**”, rozpoczęliśmy cykl wydawniczy poświęcony siedmiu podstawowym wymaganiom, jakie stawia przed budownictwem prawo wspólnotowe. W ciągu pięciu ostatnich lat, między innymi, dzięki działaniom podejmowanym przez Stowarzyszenie Producentów Silikatów „Białe murowanie” i jego członków, zagadnienie akustyki budowlanej bardzo zyskało na znaczeniu, stając się jednym z najistotniejszych kryteriów zarówno podczas projektowania, jak i realizacji inwestycji w budownictwie mieszkaniowym. Biorąc po uwagę znaczenie komfortu akustycznego w budynkach, zwłaszcza tych mieszkalnych, a również to, iż nadal konieczne jest propagowanie wiedzy na temat dobrych rozwiązań akustycznych w budownictwie, zdecydowaliśmy się przygotować drugie i rozszerzone wydanie naszej publikacji.

Wysoka izolacyjność akustyczna, wytrzymałość, odporność ogniowa, akumulacyjność cieplna, to najważniejsze parametry użytkowe silikatów. Bloczki wapienno-piaskowe są również bardzo ekologicznymi materiałami budowlanymi, zaczynając od naturalnego składu, a na procesie produkcji i możliwości recyklingu kończąc. Producenci silikatów nieustannie dążą do polepszania jakości produktów, jak również szukają rozwiązań, które w optymalny sposób pozwolą wykorzystać właściwości produktu, przy jednoczesnym zapewnieniu właścicielom i użytkownikom budynków jak najlepszych warunków użytkowania i komfortu. Opisane w niniejszym opracowaniu zagadnienie akustyki, jest niezwykle istotne dla mieszkańców i użytkowników budynków, ponieważ komfort akustyczny jest niezbędny do tego aby dobrze odpoczywać i efektywnie pracować.

Biorąc pod uwagę kompetencje i doświadczenie zawodowe autora publikacji, dr. inż. Leszka Dulaka, z ogromną przyjemnością i nadzieją na dalszą popularyzację teoretycznej wiedzy i dobrych praktyk w zakresie akustyki budowlanej przekazujemy w Państwa ręce niniejszą publikację.

Życzymy Państwu ciekawej lektury!

Zarząd Stowarzyszenia
Producentów Silikatów
„Białe Murowanie”

Spis treści

1. Wymagania ustawowe dotyczące ochrony przed hałasem.....	3
2. Izolacyjność akustyczna.....	6
2.1. Izolacyjność akustyczna od dźwięków powietrznych.....	6
2.2. Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych.....	9
3. Izolacyjność akustyczna przybliżona, czyli rzeczywiste parametry dźwiękoizolacyjne przegród w budynku.....	11
3.1. Izolacyjność akustyczna przybliżona od dźwięków powietrznych.....	12
4. Szacowanie wskaźników oceny przybliżonej izolacyjności od dźwięków powietrznych i uderzeniowych.....	15
4.1. Prognoza izolacyjności od dźwięków powietrznych.....	15
4.2. Prognoza izolacyjności od dźwięków uderzeniowych.....	20
5. Wymagana izolacyjność akustyczna wg PN-B-02151-3:2015-10 [10].....	22
5.1. Wymagania normowe dotyczące przegród wewnętrznych.....	23
5.2. Wymagania normowe dotyczące przegród zewnętrznych.....	26
6. Dopuszczalny poziom hałasu.....	30
6.1. Dopuszczalny poziom hałasu w środowisku.....	30
6.2. Dopuszczalny poziom hałasu w budynku.....	34
7. Weryfikacja pomiarowa izolacyjności akustycznej.....	37
8. Problemy akustyczne występujące w budownictwie.....	40
8.1. Wpływ sposobu realizacji połączenia ściany z przegrodami bocznymi na izolacyjność akustyczną między pomieszczeniami.....	41
8.2. Wpływ bruzdowania na izolacyjność akustyczną właściwą ściany.....	43
9. Możliwości poprawy izolacyjności akustycznej pomiędzy pomieszczeniami.....	45
10. Budynki mieszkalne o podwyższonym standardzie akustycznym wg PN-B-02151-5:2017-10 [12].....	47
11. Przykłady obliczeniowe.....	49
11.1. Izolacyjność akustyczna przybliżona od dźwięków powietrznych przegród wewnętrznych.....	49
11.2. Izolacyjność akustyczna przybliżona od dźwięków uderzeniowych stropu.....	51
11.3. Wypadkowa izolacyjność akustyczna przybliżona ściany zewnętrznej.....	52
11.4. Porównanie wyników obliczeń izolacyjności akustycznej przybliżonej od dźwięków powietrznych z wynikami badań terenowych.....	53
Literatura.....	55

1. Wymagania ustawowe dotyczące ochrony przed hałasem

Ustawa Prawo Budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. - Dz.U. Nr 49, poz. 414 [1] wraz ze 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. [6] 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 zmianami), dotyczących:*

- a) *nośności i stateczności konstrukcji,*
- b) *bezpieczeństwa pożarowego,*
- c) *higieny, zdrowia i środowiska,*
- d) *bezpieczeństwa użytkowania i dostępności obiektów,*
- e) **ochrony przed hałasem,**
- f) *oszczędności energii i izolacyjności cieplnej,*
- g) *zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych.”*

Jedno z siedmiu wymagań podstawowych dotyczy ochrony przed hałasem. Ogólne zalecenie zawarte w Prawie Budowlanym uszczegółowiono w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie - Dz.U. 2002, nr 75, poz. 690 [3], 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 umożliwił im pracę, odpoczynek i sen w zadowalających warunkach. Zgodnie z paragrafem §323 rozporządzenia, pomieszczenia w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej należy chronić przed hałasem:*

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

§324. Budynek, w którym ze względu na prowadzoną w nim działalność lub sposób eksploatacji mogą powstawać uciążliwe dla otoczenia hałasy lub drgania, należy kształtować i zabezpieczać tak, aby poziom hałasów i drgań przenikających do otoczenia z pomieszczeń tego budynku nie przekraczał wartości dopuszczalnych określonych w odrębnych przepisach dotyczących ochrony środowiska, a także nie powodował przekroczenia dopuszczalnego poziomu hałasu i drgań w pomieszczeniach innych budynków podlegających ochronie przeciwhałasowej i przeciwdrganiowej określonego w Polskich Normach dotyczących dopuszczalnych wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach oraz oceny wpływu drgań na budynki i na ludzi w budynkach.

§325. 1. Budynki mieszkalne, budynki zamieszkania zbiorowego i budynki użyteczności publicznej należy sytuować w miejscach najmniej narażonych na występowanie hałasu i drgań, a jeżeli one występują i ich poziom będą powodować w pomieszczeniach tych budynków przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu i drgań, określonych w Polskich Normach dotyczących dopuszczalnych wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach oraz oceny wpływu drgań na budynki i na ludzi w budynkach, należy stosować skuteczne zabezpieczenia.

2. Budynki z pomieszczeniami wymagającymi ochrony przed zewnętrznym hałasem i drganiami należy chronić przed tymi uciążliwościami poprzez zachowanie odpowiednich odległości od ich źródeł, usytuowanie i ukształtowanie budynku, stosowanie elementów amortyzujących drgania oraz osłaniających i ekranujących przed hałasem, a także racjonalne rozmieszczenie pomieszczeń w budynku oraz zapewnienie izolacyjności akustycznej przegród zewnętrznych określonej w Polskiej Normie dotyczącej wymaganej izolacyjności akustycznej przegród w budynkach oraz izolacyjności akustycznej elementów budowlanych.

§326 1. Poziom hałasu oraz drgań przenikających do pomieszczeń w budynkach mieszkalnych, budynkach zamieszkania zbiorowego i budynkach użyteczności publicznej, z wyłączeniem budynków, dla których jest konieczne spełnienie szczególnych wymagań ochrony przed hałasem, nie może przekraczać wartości dopuszczalnych, określonych w Polskich Normach dotyczących ochrony przed hałasem pomieszczeń w budynkach oraz oceny wpływu drgań na ludzi w budynkach, wyznaczonych zgodnie z Polskimi Normami dotyczącymi metody pomiaru poziomu dźwięku A w pomieszczeniach oraz oceny wpływu drgań na ludzi w budynkach

2. W budynkach, o których mowa w ust. 1, przegrody zewnętrzne i wewnętrzne oraz ich elementy powinny mieć izolacyjność akustyczną nie mniejszą od podanej w Polskiej Normie dotyczącej wymaganej izolacyjności akustycznej przegród w budynkach oraz izolacyjności akustycznej elementów budowlanych, wyznaczonej zgodnie z Polskimi Normami określającymi metody pomiaru izolacyjności akustycznej elementów budowlanych i izolacyjności akustycznej w budynkach. Wymagania odnoszą się do izolacyjności:

- 1) ścian zewnętrznych, stropodachów, ścian wewnętrznych, okien w przegrodach zewnętrznych i wewnętrznych oraz drzwi w przegrodach wewnętrznych — od dźwięków powietrznych,
- 2) stropów i połóg — od dźwięków powietrznych i uderzeniowych,
- 3) podestów i biegów klatek schodowych w obrębie lokali mieszkalnych — od dźwięków uderzeniowych.

3. Prowadzone w budynku przewody i kanały instalacyjne (w tym kanały wentylacyjne) nie mogą powodować pogorszenia izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami poniżej wartości wynikających z wymagań zawartych w Polskiej Normie dotyczącej izolacyjności akustycznej przegród w budynkach oraz izolacyjności akustycznej elementów budowlanych.

4. W budynku mieszkalnym wielorodzinnym:

- 1) izolacja akustyczna stropów międzymieszkaniowych powinna zapewniać zachowanie przez te stropy właściwości akustycznych, o których mowa w ust. 2 pkt 2, bez względu na rodzaj zastosowanej nawierzchni podłogowej,
- 2) należy unikać takich układów funkcjonalnych, przy których pomieszczenia sanitarne jednego mieszkania przylegają do pokoju sąsiedniego mieszkania; jeżeli to wymaganie nie zostanie spełnione, ściana międzymieszkaniowa oddzielająca pokój jednego mieszkania od pomieszczenia sanitarnego i kuchni sąsiedniego mieszkania, do której są mocowane przewody i urządzenia instalacyjne, musi mieć konstrukcję zapewniającą ograniczenie przenoszenia przez ściany dźwięków materiałowych, co w szczególności można uzyskać przy zastosowaniu ściany o masie powierzchniowej nie mniejszej niż 300 kg/m²,
- 3) przy mocowaniu urządzeń i przewodów instalacyjnych wewnątrz mieszkania, stanowiących jego wyposażenie techniczne, należy stosować zabezpieczenia przeciwdrganiowe niezależnie od konstrukcji i usytuowania przegrody, do której są mocowane,
- 4) w uzasadnionych przypadkach dopuszcza się lokalizowanie:
 - a) urządzeń obsługujących inne budynki — w pomieszczeniach technicznych,
 - b) zakładów usługowych wyposażonych w hałaśliwe maszyny i urządzenia,
 - c) zakładów gastronomicznych i innych prowadzących działalność rozrywkową — pod warunkiem zastosowania specjalnych zabezpieczeń przeciwdźwiękowych i przeciwdrganiowych, tak aby w najniekorzystniejszych warunkach ich użytkowania poziomy hałas i drgań przenikających do pomieszczeń chronionych nie przekraczały wartości dopuszczalnych określonych w Polskiej Normie dotyczącej dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach, zmierzonych zgodnie z Polską Normą dotyczącą metody pomiaru poziomu dźwięku w pomieszczeniach, oraz określonych w Polskiej Normie dotyczącej oceny wpływu drgań na ludzi w budynkach.

5. W pomieszczeniach budynków użyteczności publicznej, których funkcja związana jest z odbiorem mowy lub innych pożądaných sygnałów akustycznych, należy stosować takie rozwiązania budowlane oraz dodatkowe adaptacje akustyczne, które zapewnią uzyskanie w pomieszczeniach odpowiednich warunków określonych odrębnymi przepisami. Adaptacje akustyczne należy wykonywać z materiałów o potwierdzonych własnościach pochłaniania dźwięku wyznaczonych zgodnie z Polską Normą określającą metody pomiaru pochłaniania dźwięku przez elementy budowlane.

§ 327. 1. Zabrania się sytuowania przy pomieszczeniach mieszkalnych pomieszczeń technicznych o szczególnej uciążliwości, takich jak szyby i maszynownie dźwigowe lub zsypy śmieciowe. Wymaganie to nie dotyczy przypadków, o których mowa w § 196 ust. 2 oraz w § 197 ust. 2 — przy nadbudowie lub adaptacji strychu na cele mieszkalne.

2. Instalacje i urządzenia, stanowiące techniczne wyposażenie budynku mieszkalnego, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej, nie mogą powodować powstawania nadmiernych hałasów i drgań, utrudniających eksploatację lub uniemożliwiających ochronę użytkowników pomieszczeń przed ich oddziaływaniem.

3. Sposób posadowienia urządzeń, o których mowa w ust. 1, oraz sposób ich połączenia z przewodami i elementami

konstrukcyjnymi budynku, jak również sposób połączenia poszczególnych odcinków przewodów między sobą i z elementami konstrukcyjnymi budynku, powinien zapobiegać powstawaniu i rozchodzeniu się hałasów i drgań do pomieszczeń podlegających ochronie lub do otoczenia budynku.

4. Ściany i stropy oraz inne elementy budowlane pomieszczeń technicznych i garaży w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych i zamieszkania zbiorowego powinny mieć konstrukcję uniemożliwiającą przenikanie z tych pomieszczeń hałasów i drgań do pomieszczeń wymagających ochrony.

Oprócz działu IX zagadnienia dotyczące ochrony przed hałasem i drganiami poruszone zostały w innych paragrafach rozporządzenia:

§96. 1. Pomieszczenie techniczne, w którym są zainstalowane urządzenia emitujące hałasy lub drgania, może być sytuowane w bezpośrednim sąsiedztwie pomieszczeń przeznaczonych na stały pobyt ludzi, pod warunkiem zastosowania rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych, zapewniających ochronę sąsiednich pomieszczeń przed uciążliwym oddziaływaniem tych urządzeń, zgodnie z wymaganiami § 323 ust. 2 pkt 2 i § 327 oraz Polskich Norm dotyczących dopuszczalnych wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach oraz oceny wpływu drgań na budynki i na ludzi w budynkach.

2. Podpory, zamocowania i złącza urządzeń, o których mowa w ust. 1, powinny być wykonane w sposób uniemożliwiający przenoszenie niedopuszczalnego hałasu i drgań na elementy budynku i instalacje.

§180. Instalacja i urządzenia elektryczne, przy zachowaniu przepisów rozporządzenia, przepisów odrębnych dotyczących dostarczania energii, ochrony przeciwpożarowej, ochrony środowiska oraz bezpieczeństwa i higieny pracy, a także wymagań Polskich Norm odnoszących się do tych instalacji i urządzeń powinny zapewniać:

3) ochronę przed emisją drgań i hałasu powyżej dopuszczalnego poziomu oraz przed szkodliwym oddziaływaniem pola elektromagnetycznego.

§196. 1. Szyby dźwigów z napędem elektrycznym w budynku mieszkalnym wielorodzinnym i zamieszkania zbiorowego powinny być oddylatowane od ścian i stropów budynku.

2. W budynkach, o których mowa w ust. 1, dopuszcza się instalowanie dźwigów z napędem elektrycznym bez wykonywania dylatacji szybów dźwigowych, pod warunkiem ich oddzielenia od pomieszczeń mieszkalnych pomieszczeniami nie przeznaczonymi na stały pobyt ludzi oraz zastosowania w nie oddylatowanym szybie dźwigowym zabezpieczeń przed przenoszeniem drgań z prowadnic jezdnych na konstrukcję budynku, tak aby poziomy hałasu i drgań przenikających do pomieszczeń mieszkalnych nie przekraczały wartości określonych w Polskich Normach dotyczących dopuszczalnych wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach oraz oceny wpływu drgań na ludzi w budynkach.

3. Wymaganie, o którym mowa w ust. 1, nie dotyczy dźwigów z napędem hydraulicznym, dźwigów towarowych małych, dźwigów z maszynownią dolną lub boczną oraz dźwigów z wciągarkami bezreduktorowymi, z zastrzeżeniem § 96 ust. 1, w szczególności zastosowania w nieoddylatowanym szybie dźwigowym zabezpieczeń przed przenoszeniem drgań z prowadnic jezdnych na konstrukcji budynku, tak aby poziomy hałasu i drgań przenikających do pomieszczeń mieszkalnych nie przekraczały wartości określonych w Polskich Normach, o których mowa w ust. 2.

§ 197. 1. Zespoły napędowe dźwigu powinny być zamocowane w sposób uniemożliwiający przenoszenie się drgań na konstrukcję budynku.

2. Sytuowanie maszynowni dźwigów obok pokoi mieszkalnych jest zabronione. Nie dotyczy to kondygnacji nadbudowanej lub powstałej w wyniku adaptacji strychu na cele mieszkalne, z zachowaniem warunków określonych w § 96.

§204. 1, ..., 3. Stany graniczne przydatności do użytkowania uważa się za przekroczone, jeżeli wymagania użytkowe dotyczące konstrukcji nie są dotrzymywane. Oznacza to, że w konstrukcji budynku nie mogą wystąpić:

1, ..., 3) drgania dokuczliwe dla ludzi lub powodujące uszkodzenia budynku, jego wyposażenia oraz przechowywanych przedmiotów, a także ograniczające jego użytkowanie zgodnie z przeznaczeniem.

6. W zakresie stanów granicznych przydatności do użytkowania budynków projektowanych na terenach podlegających wpływom eksploatacji górniczej, wymaganie określone w ust. 4 nie dotyczy tych odkształceń, uszkodzeń oraz drgań konstrukcji, które wynikają z oddziaływań powodowanych eksploatacją górniczą.

§205. Na terenach podlegających wpływom eksploatacji górniczej powinny być stosowane zabezpieczenia konstrukcji budynków, odpowiednie do stanu zagrożenia, wynikającego z prognozowanych oddziaływań powodowanych eksploatacją górniczą, przez które rozumie się wymuszone przemieszczenia i odkształcenia oraz drgania podłoża.

Rozporządzenie zawiera wykaz polskich norm powołanych w zakresie ochrony przed hałasem i drganiami. Normy te i wymagania w nich zawarte z racji zacytowania w rozporządzeniu należy traktować jako nieodzowne do realizacji w celu spełnienia wymagań ustawowych:

- PN-B-02170:2016-12 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłóża na budynki [7];
- PN-B-02171:2017-06 Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach [9];
- PN-B-02151-02:1987 Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach - Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach [8];
- PN-B-02151-3:2015-10 Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem w budynkach - Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych - Wymagania [10];
- 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 [11].

Powyższy spis norm powołany w rozporządzeniu nie obejmuje najnowszych zmian w powyższym zakresie, mianowicie norma PN-B-02151-2:2018-01 [8.1] zastąpiła wersję z 1987 roku [8].

Oprócz wyżej wymienionych norm, wprowadzona została zupełnie nowa norma PN-B-02151-5:2017-10 [12], która określa wymagania dotyczące ochrony przed hałasem w budynkach mieszkalnych o podwyższonym standardzie akustycznym.

2. Izolacyjność akustyczna

W celu realizacji ochrony akustycznej zapisanej w warunkach technicznych [3] konieczne jest między innymi spełnienie wymagań dotyczących izolacyjności akustycznej. Ze względu na sposób powstawania dźwięki dzieli się na:

- dźwięki powietrzne – powstają i rozprzestrzeniają się w powietrzu,
- dźwięki materiałowe – rozprzestrzeniają się w ośrodku stałym w wyniku oddziaływania na ten ośrodek dźwięków powietrznych lub drgań mechanicznych,
- dźwięki uderzeniowe – są specyficzną formą dźwięków materiałowych, powstających w wyniku pobudzenia do drgań stropu podczas jego użytkowania.
- W nawiązaniu do tego podziału izolacyjność akustyczną można podzielić na:
- izolacyjność od dźwięków powietrznych - odporność przegrody na przenoszenie dźwięków powietrznych,
- izolacyjność od dźwięków uderzeniowych - odporność przegrody na przenoszenie dźwięków uderzeniowych.

2.1. Izolacyjność akustyczna od dźwięków powietrznych

Miarą izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych jest **izolacyjność akustyczna właściwa R** , którą definiuje się jako dziesięć logarytmów ze stosunku mocy akustycznej padającej na daną przegrodę i mocy akustycznej przeniesionej przez tę przegrodę, co można zapisać wzorem (1):

$$R = 10 \log \frac{W_1}{W_2}, \text{ dB} \quad (1)$$

gdzie: W_1 – moc akustyczna padająca na przegrodę, W ,
 W_2 – moc akustyczna przeniesiona przez przegrodę, W .

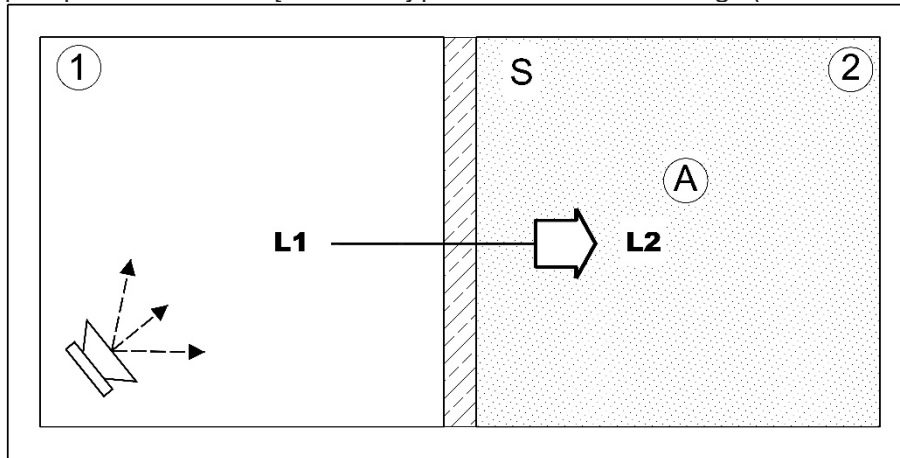
Można zauważyć, że tak zdefiniowana izolacyjność akustyczna od dźwięków powietrznych niezależna jest od powierzchni przegrody.

Jeżeli przegroda budowlana rozdziela dwa pomieszczenia (rys. 1), w których pola akustyczne można uznać za rozproszone i jeżeli przenikanie dźwięku między pomieszczeniami odbywa się tylko przez tę przegrodę, to izolacyjność akustyczną właściwą przegrody wyrazić można za pomocą różnicy poziomów ciśnień akustycznych występujących po obu stronach przegrody, zgodnie ze wzorem (2)

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}, \text{ dB} \quad (2)$$

gdzie: L_1 – poziom średniego ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu nadawczym, dB,
 L_2 – poziom średniego ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym, dB,
 S – pole powierzchni przegrody, m^2

A – równoważne pole powierzchni dźwiękochłonnej pomieszczenia odbiorczego (chłonność akustyczna), m^2 .



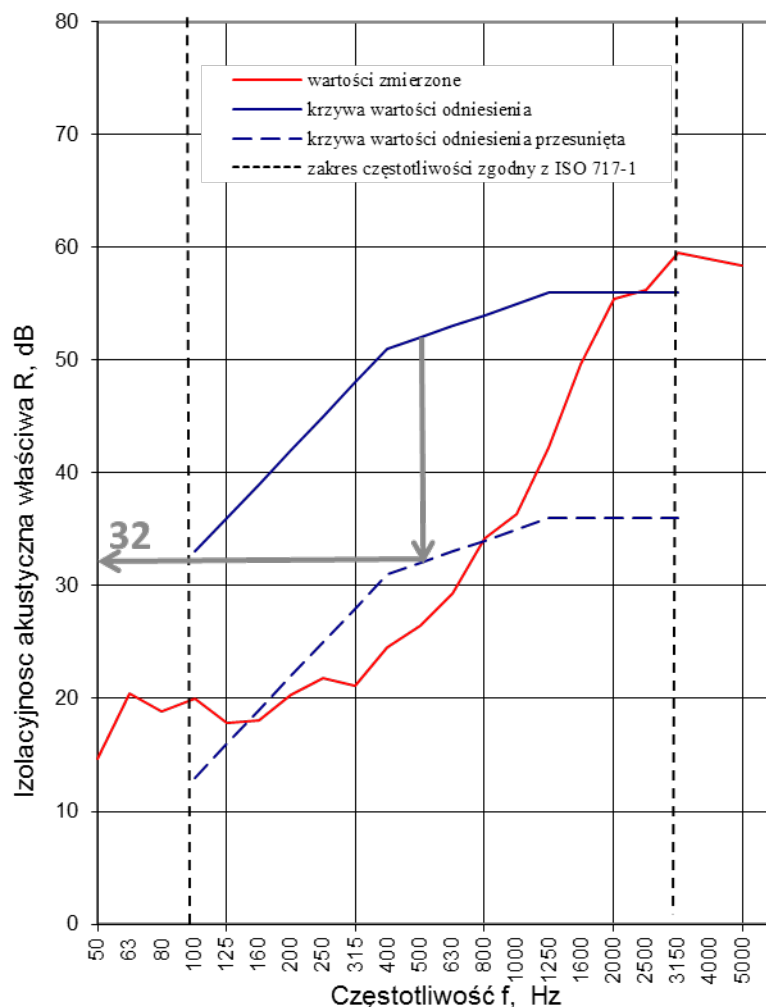
Rys. 1. Schematyczne przedstawienie idei pomiaru izolacyjności akustycznej właściwej (rzut pogłosowych komór sprzężonych: 1 - nadawczej i 2 - odbiorczej, rozdzielonych badaną przegrodą)

Obliczona za pomocą wzoru (2) wartość izolacyjności akustycznej właściwej przegrody przyjmuje różne wartości dla różnych częstotliwości, tworząc w ten sposób zbiór wartości izolacyjności akustycznej w pasmach tercjowych bądź oktawowych. W praktyce inżynierskiej w celu uproszczenia oceny dźwiękoizolacyjności przegród, zamiast korzystać ze zbioru wartości w funkcji częstotliwości, należy posługiwać się jednoliczbowymi wskaźnikami oceny izolacyjności akustycznej. **Izolacyjność akustyczna przegrody może być opisana za pomocą jednoliczbowego ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej R_w oraz widmowych wskaźników adaptacyjnych C i C_{tr} .** Wartości liczbowe wskaźnika ważonego izolacyjności akustycznej dla konkretnej przegrody określa się na podstawie izolacyjności R w funkcji częstotliwości. Uzyskane wartości izolacyjności akustycznej w poszczególnych pasmach porównuje się z odpowiednimi normowymi wartościami odniesienia. Normowe wartości odniesienia od dźwięków powietrznych w pasmach tercjowych i oktawowych przedstawiono w tabelicy 1.

Tabela 1. Wartości normowe odniesienia dla izolacyjności od dźwięków powietrznych w pasmach 1/3 oktawowych i oktawowych [13]

Częstotliwość Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Pasma 1/3 oktawowe	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
Pasma oktawowe		36			45			52			55			56		

Aby wyznaczyć ważony wskaźnik izolacyjności akustycznej, przeprowadzić należy procedurę normową polegającą na odpowiednim dopasowaniu normowej krzywej odniesienia do krzywej określonej na podstawie pomiarów (laboratoryjnych lub terenowych). Krzywą normową odniesienia należy przesuwając skokowo co 1 dB w kierunku krzywej pomiarowej aż do momentu, w którym suma niekorzystnych odchyłek będzie możliwie jak największa, lecz nie przekroczy przy pomiarach w pasmach 1/3 oktawowych (dla 16 pasm) wartości 32,0 dB, natomiast przy pomiarach w pasmach oktawowych (dla 5 pasm) nie przekroczy wartości 10 dB. Za niekorzystne odchylenie dla danej częstotliwości uważa się takie, gdy wynik pomiaru jest mniejszy od wartości normowej odniesienia. Wartość w decybelach krzywej odniesienia dla 500 Hz po przesunięciu jej zgodnie z tą procedurą jest wartością ważonego jednoliczbowego wskaźnika R_w (pomiar laboratoryjny) lub $R'_{w, D_{nT,w}}$ (pomiar terenowy).



Rys. 2. Schematyczne przedstawienie procedury wyznaczenia ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej R_w przykładowej przegrody wg [13]

Tak wyznaczone **jednoliczbowe wskaźniki R_w , R'_w lub $D_{nT,w}$** podlegają dalszej korekcie w celu uwzględnienia różnych widm hałasu. Widmowe wskaźniki adaptacyjne C i C_{tr} , zgodnie z normą PN-EN ISO 717-1:2013 [13], stosuje się, aby uwzględnić charakter dominującego źródła hałasu. Przykładowe źródła hałasu i przyporządkowane im wskaźniki widmowe przedstawiono w tabelicy 2.

Tabela 2. Widmowy wskaźnik adaptacyjny dla różnych rodzajów źródeł hałasu [13]

Rodzaj źródła hałasu	Odpowiedni widmowy wskaźnik adaptacyjny
<ul style="list-style-type: none"> - źródła hałasu bytowego (rozmowa, muzyka, radio, TV) - zabawa dzieci - ruch kolejowy ze średnią i dużą prędkością - ruch na drodze szybkiego ruchu > 80 km/h - samoloty odrzutowe w małej odległości - zakłady przemysłowe emitujące głównie hałas średnio- i wysokoczęstotliwościowy 	C (widmo nr 1)
<ul style="list-style-type: none"> - ruch uliczny miejski - ruch kolejowy z małymi prędkościami - śmigłowce - samoloty odrzutowe, w dużej odległości - muzyka dyskotekowa - zakłady przemysłowe emitujące głównie hałas nisko- i średniczęstotliwościowy 	C_{tr} (widmo nr 2)

Na podstawie jednolitego wskaźnika R_w oraz widmowych wskaźników adaptacyjnych C , C_{tr} wyznacza się wskaźniki oceny izolacyjności akustycznej właściwej $R_{A,1}$ i $R_{A,2}$, które można zapisać jako:

$$\begin{cases} R_{A,1} = R_w + C \\ R_{A,2} = R_w + C_{tr} \end{cases} \quad (3)$$

Wskaźnik $R_{A,1}$ związany z widmem C stosuje się do oceny przypadków oddziaływania na przegrodę hałasów średnio- i wysokoczęstotliwościowych. W praktyce dotyczy to większości przypadków przegród wewnętrznych w budynku. Wskaźnik $R_{A,2}$ związany z widmem C_{tr} , z przewagą niskich częstotliwości stosuje się w praktyce do oceny przegród zewnętrznych (patrz tabela 1).

W analogiczny sposób można przeprowadzić procedurę określenia wartości wskaźników oceny dla R'_w i $D_{Tn,w}$:

$$\begin{cases} R'_{A,1} = R'_w + C \\ R'_{A,2} = R'_w + C_{tr} \\ D_{nT,A,1} = D_{nT,w} + C \\ D_{nT,A,2} = D_{nT,w} + C_{tr} \end{cases} \quad (4)$$

2.2. Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych

Miarą izolacyjności od dźwięków uderzeniowych jest poziom uderzeniowy znormalizowany L_n . Poziom uderzeniowy znormalizowany określa się w warunkach laboratoryjnych i jest on równy poziomowi przeciętnego ciśnienia akustycznego wytworzonego pod stropem przez znormalizowane źródło dźwięku w postaci stukacza młotkowego, powiększonemu o człon korekcyjny związany z pochłanianiem dźwięku

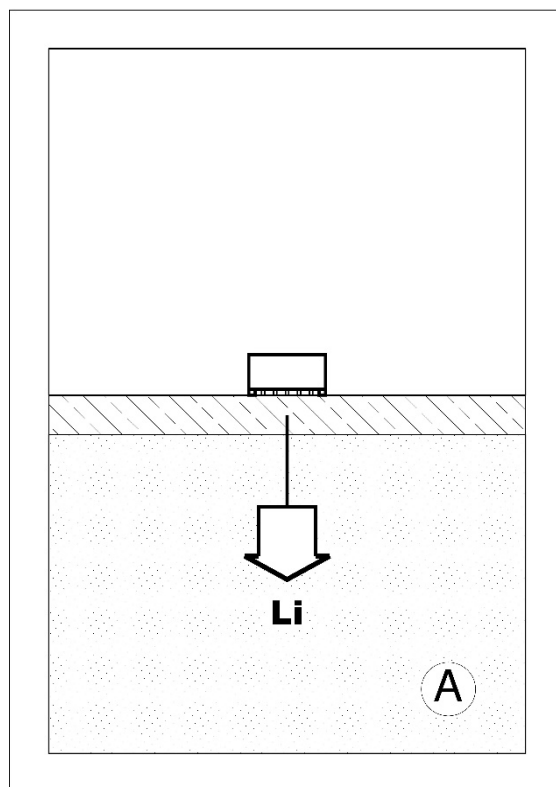
$$L_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_0}, \quad \text{dB} \quad (5)$$

gdzie: L_i – poziom uderzeniowy w pomieszczeniu odbiorczym, dB,

A – chłonność akustyczna pomieszczenia odbiorczego, m^2 ,

A_0 – chłonność akustyczna odniesienia, w przypadku mieszkań przyjmuje się $A_0 = 10 \text{ m}^2$.

Wzór (5) dotyczy sytuacji, gdy nie ma innych dróg przenoszenia dźwięku niż tylko droga bezpośrednia przez strop rozdzielający pomieszczenia. W rzeczywistości z przypadkiem takim mamy do czynienia wyłącznie w trakcie pomiarów w warunkach laboratoryjnych. Obliczona za pomocą wzoru (5) wartość poziomu uderzeniowego znormalizowanego przyjmuje różne wartości dla różnych częstotliwości. W praktyce inżynierskiej w celu uproszczenia oceny dźwiękoizolacyjności przegród, zamiast korzystać ze zbioru wartości w funkcji częstotliwości, należy posługiwać się wskaźnikiem ważonym poziomem uderzeniowego znormalizowanego $L_{n,w}$.



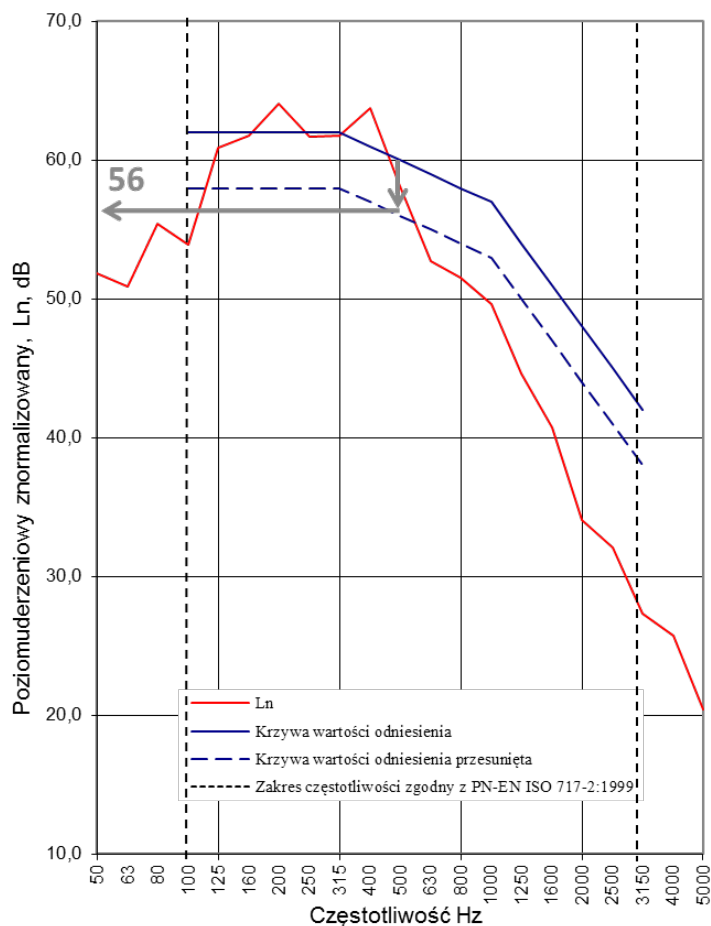
Rys. 3. Schematyczne przedstawienie idei pomiaru poziomu uderzeniowego znormalizowanego. Przekrój przez pogłosowe komory sprzężone: L_i – poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym pod badanym stropem, na którym umieszczono znormalizowane źródło dźwięków uderzeniowych w postaci stukacza młotkowego

Wartości liczbowe wskaźnika ważonego poziomu uderzeniowego dla konkretnej przegrody (najczęściej stropu) określa się na podstawie poziomu uderzeniowego L_n w funkcji częstotliwości. Uzyskane wartości poziomu uderzeniowego w poszczególnych pasmach porównuje się z odpowiednimi normowymi wartościami odniesienia. Normowe wartości odniesienia dla poziomu uderzeniowego w pasmach tercjowych i oktaowych przedstawiono w tabelicy 3.

Tabela 3. Wartości normowe odniesienia dla poziomu uderzeniowego w pasmach 1/3 oktaowych i oktaowych [14]

Częstotliwość Hz	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Pasma 1/3 oktaowe	62	62	62	62	62	62	61	60	59	58	57	54	51	48	45	42
Pasma oktaowe		67			67			65			62			49		

Aby wyznaczyć wskaźnik ważony poziomu uderzeniowego znormalizowanego, przeprowadzić należy procedurę normową polegającą na odpowiednim dopasowaniu normowej krzywej odniesienia do krzywej określonej na podstawie pomiarów (laboratoryjnych lub terenowych). Krzywą normową odniesienia należy przesuwając skokowo co 1 dB w kierunku krzywej pomiarowej aż do momentu, w którym suma niekorzystnych odchyżeń będzie możliwie jak największa, lecz nie przekroczy przy pomiarach w pasmach 1/3 oktaowych (dla 16 pasm) wartości 32,0 dB, natomiast przy pomiarach w pasmach oktaowych (dla 5 pasm) nie przekroczy wartości 10 dB. Za niekorzystne odchylenie dla danej częstotliwości uważa się takie, gdy wynik pomiaru jest większy od wartości normowej odniesienia. Wartość w decybelach krzywej odniesienia dla 500 Hz po przesunięciu jej zgodnie z tą procedurą jest wartością ważonego wskaźnika $L_{n,w}$ (pomiar laboratoryjny) lub $L'_{n,w}$, $L'_{nT,w}$ (pomiar terenowy).



Rys. 4. Schematyczne przedstawienie procedury wyznaczenia wskaźnika ważonego poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L_{n,w}$ przykładowego stropu wg [14]

3. Izolacyjność akustyczna przybliżona, czyli rzeczywiste parametry dźwiękoizolacyjne przegród w budynku

Parametry dźwiękoizolacyjne omówione do tej pory dotyczą sytuacji, gdy jedyną drogą przenoszenia dźwięku jest droga bezpośrednia (przez przegrodę rozdzielającą pomieszczenia). W praktyce z sytuacją taką mamy do czynienia wyłącznie w warunkach laboratoryjnych. W budynkach oprócz drogi bezpośredniej występują drogi pośrednie przenoszenia dźwięku. W takim przypadku mówi się o izolacyjności akustycznej przybliżonej.

W celu zrozumienia wymagań dotyczących izolacyjności akustycznej przybliżonej należy zdefiniować możliwe drogi przenoszenia dźwięku między pomieszczeniami:

- przenoszenie bezpośrednie – spowodowane wyłącznie dźwiękiem padającym na element rozdzielający i bezpośrednio z niego wypromieniowanym (przenoszenie drogą materiałową) lub przenoszonym przez niektóre części przegrody (drogą powietrzną), jak np. przez szczeliny czy przewody wentylacyjne,
- przenoszenie pośrednie – przenoszenie dźwięku z pomieszczenia nadawczego do odbiorczego drogami innymi niż bezpośrednio bez względu na sposób pobudzenia.

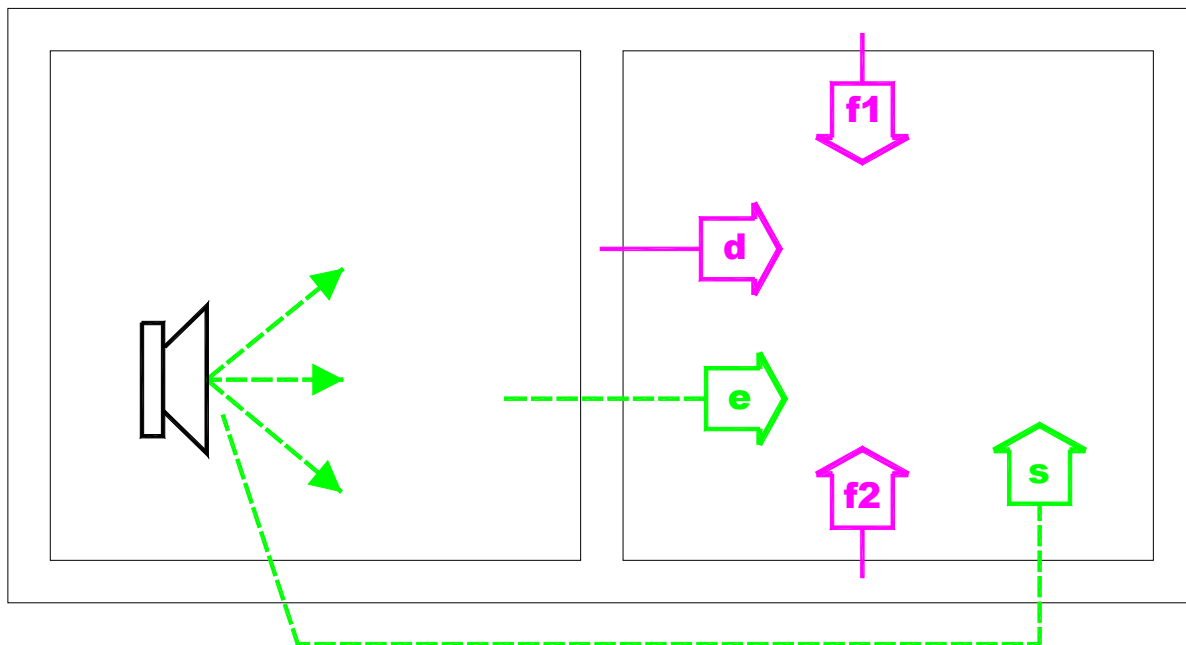
Przenoszenie pośrednie dźwięków podzielić można w następujący sposób:

- przenoszenie boczne - odbywa się wyłącznie drogą materiałową za pośrednictwem przegród bocznych,
- przenoszenie wzdłużne - odbywa się przez sufity podwieszane oraz podłogi podniesione,
- przenoszenie przez system, np. system wentylacyjny, korytarz.

Występowanie poszczególnych dróg przenoszenia dźwięku w danej sytuacji jest uzależnione od rozwiązań konstrukcyjnych i funkcjonalnych w budynku oraz od rodzaju dźwięku (powietrzny lub uderzeniowy).

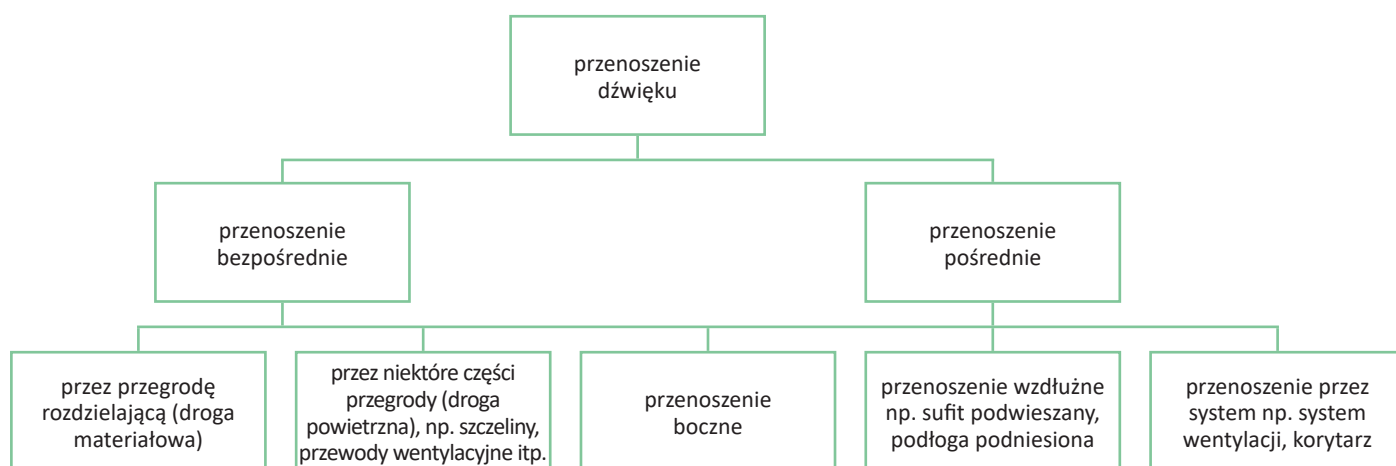
3.1. Izolacyjność akustyczna przybliżona od dźwięków powietrznych

W przypadku przybliżonej izolacyjności od dźwięków powietrznych (dot. sytuacji między pomieszczeniami w budynku określonej dla warunków terenowych) należy uwzględnić wszystkie drogi przenoszenia dźwięku, a nie tylko drogę bezpośrednią. Schemat przenoszenia energii akustycznej całkowitej pomiędzy pomieszczeniami przedstawiono na rysunku 5.



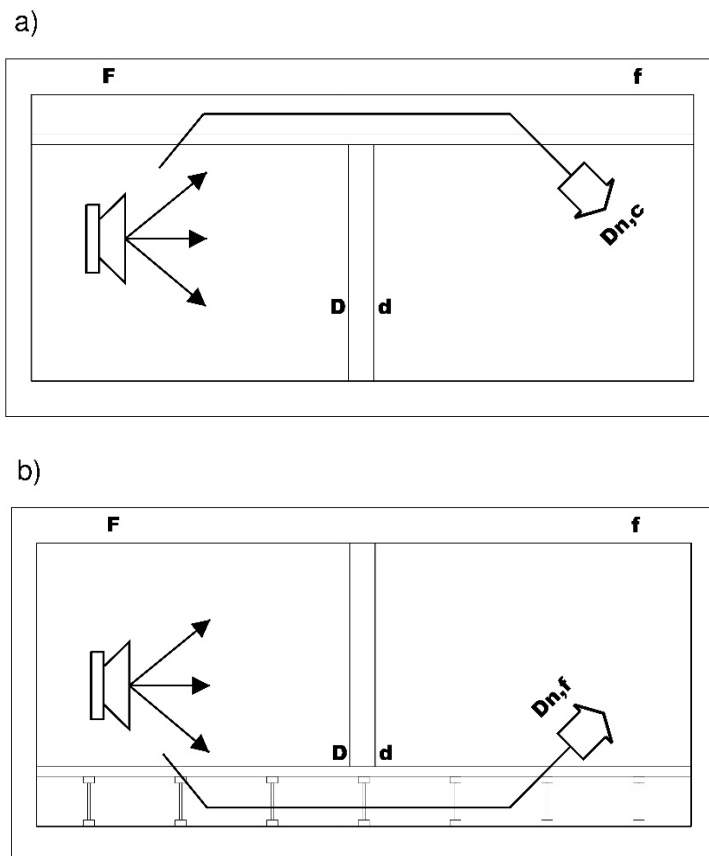
Rys. 5. Schemat przenoszenia energii akustycznej całkowitej między pomieszczeniami; d – przenoszenie bezpośrednio drogami materiałowymi, f1 i f2 – przenoszenie pośrednie przykładowymi drogami materiałowymi, e – przenoszenie bezpośrednio drogą powietrzną, s – przenoszenie pośrednie drogą przez system [15]

Na rysunku 6 przedstawiono schemat dotyczący dróg przenoszenia dźwięku powietrznego mogących wystąpić w budynku.



Rys. 6. Schemat przenoszenia dźwięków powietrznych między pomieszczeniami [15]

Na rysunku 7 pokazano schematycznie mechanizm przenoszenia dźwięków powietrznych drogą pośrednią przez sufit podwieszony oraz podłogę podniesioną. W takiej sytuacji kluczowe dla przybliżonej izolacyjności między pomieszczeniami jest dobranie podłogi i sufitu o odpowiednich parametrach dźwiękoizacyjnych: $D_{n,c}$ – znormalizowana różnica poziomów dla sufitu podwieszonego, $D_{n,f}$ – znormalizowana wzdłużna różnica poziomów dla podłogi podniesionej.



Rys. 7. Schemat przenoszenia dźwięków powietrznych drogą pośrednią przez: a) sufit podwieszony oraz b) podłogę podniesioną [15, 21]

Dla sytuacji, w której występuje przenoszenie pośrednie dźwięku, przybliżoną izolacyjność akustyczną właściwą definiuje się następująco:

$$R' = 10 \log \frac{W_1}{W_2 + W_3}, \quad \text{dB} \quad (6)$$

gdzie: W_1 – moc akustyczna padająca na przegrodę, W,

W_2 – moc akustyczna przenoszona przez przegrodę, W,

W_3 – moc akustyczna przenikająca między pomieszczeniami wszystkimi drogami pośrednimi, W.

Przybliżoną izolacyjność akustyczną właściwą R' oznaczono „primem” w odróżnieniu od izolacyjności akustycznej właściwej przegrody R , dotyczącej sytuacji, w której występuje wyłącznie przenoszenie bezpośrednie dźwięku.

Zakładając, że pola akustyczne w obu pomieszczeniach są dostatecznie rozproszone (taka sytuacja ma miejsce w pomieszczeniach pogłósowych), to wielkość tę można zdefiniować analogicznie do wielkości określonej w warunkach laboratoryjnych jak we wzorze (2):

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}, \quad \text{dB} \quad (7)$$

oznaczenia jak we wzorze (2).

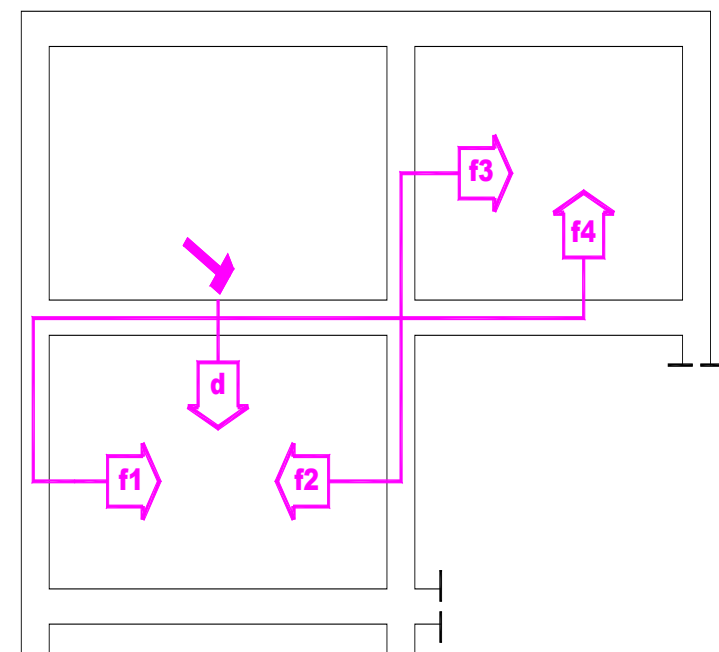
Dla przypadków, gdy konieczna jest ocena dźwiękoizolacyjności przegrody w oderwaniu od jej powierzchni (np. gdy powierzchnia przegrody S , wspólna w obu przyległych pomieszczeniach, jest mniejsza od 10 m^2 [10]), stosowany jest parametr wzorcowej różnicy poziomów, określony za pomocą następującego wzoru:

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \cdot \log \frac{T}{T_0} \quad (8)$$

gdzie T – czas pogłosu w pomieszczeniu odbiorczym, s
 T_0 – czas pogłosu odniesienia; w mieszkaniach $T_0 = 0,5$ s

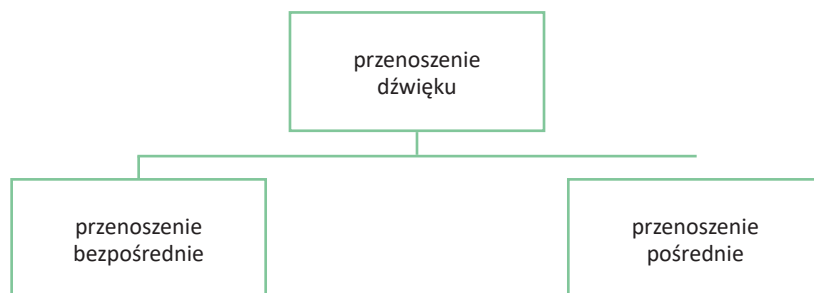
3.2. Izolacyjność akustyczna przybliżona od dźwięków uderzeniowych

W przypadku rozpatrywania przybliżonej izolacyjności akustycznej od dźwięków uderzeniowych (określonej w warunkach terenowych) należy uwzględnić wszystkie drogi przenoszenia dźwięku, a nie tylko drogę bezpośrednią. Schemat przenoszenia dźwięku uderzeniowego pomiędzy pomieszczeniami przedstawiono na rysunku 8.



Rys. 8. Schemat przenoszenia dźwięku uderzeniowego pomiędzy pomieszczeniami znajdującymi się nad sobą, oraz obok siebie: d – przeniesienie bezpośrednie drogami materiałowymi, $f1$ - $f4$ – przeniesienie pośrednie przykładowymi drogami materiałowymi [17]

Na rysunku 9 przedstawiono schemat dotyczący dróg przenoszenia dźwięku uderzeniowego, mogących wystąpić w budynku.



Rys. 9. Schemat przenoszenia dźwięków powietrznych między pomieszczeniami [17]

Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych określoną w warunkach terenowych nazywamy przybliżonym poziomem uderzeniowym znormalizowanym L'_n i oznaczamy znakiem „prim” w odróżnieniu od poziomu uderzeniowego znormalizowanego L_n , dotyczącego sytuacji, w której występuje wyłącznie przeniesienie bezpośrednie dźwięku.

Wielkość tę definiujemy analogicznie do wielkości określonej w warunkach laboratoryjnych jak we wzorze (5)

$$L'_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_0}, \quad \text{dB} \tag{9}$$

Oznaczenia jak we wzorze (5).

4. Szacowanie wskaźników oceny przybliżonej izolacyjności od dźwięków powietrznych i uderzeniowych

Określenia parametrów dźwiękoizolacyjnych przegród i elementów w budynku można wykonać za pomocą metod pomiarowych [23-31]. Określenie tych samych parametrów na etapie projektowania budynku wymaga z oczywistych względów użycia metod teoretycznych polegających na przeprowadzeniu odpowiednich obliczeń uwzględniających drogi pośrednie przenoszenia dźwięku. W kolejnych arkuszach normy PN-EN ISO 12354 [16, 18, 20] podane zostały metody wykonania takich obliczeń umożliwiających uzyskanie wyników dotyczących zarówno wartości w poszczególnych pasmach częstotliwości (wg metody dokładnej), jak i jednoliczbowych wartości wskaźników (wg metody uproszczonej). Obiektywnie ocenić należy, że ze względu na liczbę potrzebnych danych oraz pracochłonność obliczeń wykorzystanie tych metod przez projektantów jest ograniczone w szczególności w zakresie obliczeń dotyczących dźwięków powietrznych. W celu uproszczenia metodyki Zakład Akustyki Instytutu Techniki Budowlanej opracował w 2005 roku instrukcję „Metody obliczania izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami w budynku według PN-EN 12354-1:2002 i PN-EN 12354-2:2002” [37], pozwalającą w łatwy sposób oszacować prognozowane wartości wskaźników oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej dla szeregu rozwiązań istniejących na rynku. Należy zaznaczyć, że instrukcja dotyczy wydania norm PN-EN 12354-1 [15] i PN-EN 12354-2 [17] z 2002 roku. Nowelizacja norm z 2017 roku wprowadza pewne zmiany dotyczące metod obliczeniowych, do których odniesiono się poniżej.

4.1. Prognoza izolacyjności od dźwięków powietrznych

Zmiany w metodyce obliczeniowej w zakresie modelu uproszczonego wprowadzone nowelizacją normy PN-EN ISO 12354-1:2017-10 [16] nie dotyczą „sztywnego złącza krzyżowego” oraz „sztywnego złącza typu T” (czyli złączy w budynku o konstrukcji tradycyjnej murowanej lub monolitycznej). W związku z powyższym dla tego rodzaju budynków wyniki obliczeń zrealizowane zgodnie z instrukcją [37] nie będą odbiegać bardziej od obliczeń wykonanych wg normy PN-EN ISO 12354-1:2017-10 [16] niż wg normy PN-EN 12354-1:2002 [15]. W związku z tym, w przypadku braku możliwości wykonania obliczeń przy wykorzystaniu modelu dokładnego lub uproszczonego z normy PN-EN ISO 12354-1:2017-10 [16], metoda zaproponowana w instrukcji [37] wydaje się być nadal skutecznym narzędziem do prognozowania wartości przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej. Przedstawiona poniżej „metoda szacunkowa” [37] dotyczy określenia wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,1}$ poprzez przyjęcie bocznego przenoszenia dźwięku jako stabelaryzowanej wartości poprawki K_a , wg wzoru:

$$R'_{A,1} = R_{A,1,R} - K_a, \quad dB \quad (10)$$

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

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

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

$$R_{A,1,R} = R_{A,1} - 2, \quad dB \quad (11)$$

Wartości poprawki K_a należy przyjąć z tablic [37] 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.

Prognoza izolacyjności od dźwięków powietrznych na podstawie PN-EN ISO 12354-1:2017-10 [16]

W przypadku braku danych pomiarowych dla ścian wykonanych z żelbetu, betonu zwykłego i betonu komórkowego dopuszcza się korzystanie z wzorów empirycznych „prawa masy” [33] przedstawionych poniżej.

Wartości wskaźników oceny izolacyjności akustycznej właściwej dla ścian z betonu zwykłego 2200-2400 kg/m³ i m'[>]100 kg/m²:

$$R_{A,1,R} = 30,9 \cdot \log m' - 26,1 \quad dB \quad (12)$$

$$R_{A,2,R} = 30,9 \cdot \log m' - 29,6 \quad \text{dB} \quad (13)$$

Wartości wskaźników oceny izolacyjności akustycznej właściwej dla ścian z betonu komórkowego odmiany 300-700 i $m' = 40-70 \text{ kg/m}^2$:

$$R_{A,1,R} = 17,9 \cdot \log m' + 4,4 \quad \text{dB} \quad (14)$$

$$R_{A,2,R} = 10,5 \cdot \log m' + 15 \quad \text{dB} \quad (15)$$

Wartości wskaźników oceny izolacyjności akustycznej właściwej dla ścian z betonu komórkowego odmiany 300-700 i $m' = 71-250 \text{ kg/m}^2$:

$$R_{A,1,R} = 25,5 \cdot \log m' - 9,1 \quad \text{dB} \quad (16)$$

$$R_{A,2,R} = 25,5 \cdot \log m' - 12,6 \quad \text{dB} \quad (17)$$

gdzie: m' – masa powierzchniowa przegrody bez tynku, kg/m^2 .

Dla ścian murowanych z bloków wapienno-piaskowych norma PN-EN ISO 12354-1:2017-10 [16] podaje zależność pozwalającą w sposób „rozsądnie bezpieczny” oszacować wartość projektową wskaźnika oceny izolacyjności akustycznej właściwej $R_{A,1,R}$ dla ścian, w których objętość otworów nie przekracza 15% objętości całkowitej.

$$R_W = 37,5 \cdot \log \left(\frac{m'}{m_0} \right) - 42 \quad \text{dB} \quad (18)$$

$$R_{A,1,R} = R_W + C - 2 \quad \text{dB} \quad (19)$$

gdzie: m' – masa powierzchniowa przegrody z tynkiem, kg/m^2 ;

m_0 – referencyjna masa powierzchniowa przegrody $m_0 = 1 \text{ kg/m}^2$;

C – norma zaleca przyjmować wartość -1 dB lub -2 dB (dla wyższej masy)*.

*W świetle wyników badań laboratoryjnych ścian z silikatów zrealizowanych na rynku krajowym przyjęcie wartości $C = -1 \text{ dB}$ będzie właściwe dla ok. 77% przebadanych elementów i nie zależy od masy ściany. Dla ok. 23% ścian z silikatów właściwe będzie przyjęcie wartości wskaźnika $C = -2 \text{ dB}$.

W tabelicy 4 przedstawiono porównanie uśrednionych wartości wskaźnika $R_{A,1,R}$ dla ścian z bloków wapienno-piaskowych uzyskanych w wyniku pomiarów laboratoryjnych z wartościami obliczeniowymi, otrzymanymi z wykorzystaniem powyższych wzorów. Obliczenia przeprowadzono dla uśrednionej masy powierzchniowej ścian z tynkiem [16]. Średnia dotyczy przegród poddanych badaniom laboratoryjnym.

Tablica 4. Porównanie uśrednionych wartości wskaźnika $R_{A,1,R}$ dla ścian z bloków wapienno-piaskowych uzyskanych na drodze pomiarów laboratoryjnych oraz na podstawie wzorów (18) i (19)

Grubość ściany bez tynku* [cm]	Pomiar $R_{A,1,R}$ [dB]	Oszacowanie $R_{A,1,R}$ [dB]	Różnica [dB]
12	46	41	-5
18	48	46	-2
24	52	51	-1
25	53	51	-2

* ściany z elementów **drążonych** – spoiny poziome 10 mm z zaprawy murarskiej lub 2 mm z zaprawy cienkowarstwowej, spoiny pionowe w systemie wpust-wypust niewypełnione

Grubość ściany bez tynku* [cm]	Pomiar $R_{A,1,R}$ [dB]	Oszacowanie $R_{A,1,R}$ [dB]	Różnica [dB]
12	46	44	-2
18	52	50	-2
24	55	54	-1
25	57	57	0

* ściany z elementów **pełnych** – spoiny poziome i pionowe 2 mm z zaprawy cienkowarstwowej lub 10 mm z zaprawy murarskiej

Na podstawie powyższego porównania stwierdzić należy, że określanie wartości wskaźnika $R_{A,1,R}$ na podstawie wzoru (18) i (19) prowadzi do niedoszacowania jego wartości, np. w przypadku ścian o najmniejszej grubości nawet o 5 dB. Tak więc, pomimo że, jak to określa norma [16], jest to „rozsądnie bezpieczny” sposób na oszacowanie wskaźnika, to na pewno nie jest optymalny.

Prognoza izolacyjności od dźwięków powietrznych na podstawie poradnika nr 369 [33]

W tabelicy 5 przedstawiono porównanie wartości wskaźnika $R_{A,1,R}$ oszacowanego za pomocą wzoru (12) opracowanego przez Zakład Akustyki ITB dla ścian z betonu zwykłego. Obliczenia przeprowadzono dla uśrednionej **masy powierzchniowej ściany bez tynku** [33]. Średnia dotyczy przegród poddanych badaniom laboratoryjnym. Powyższe porównanie wskazuje, że oszacowane za pomocą wzoru (12) wartości wskaźnika w lepszym stopniu odzwierciedlają rzeczywiste (wyznaczone w laboratorium) własności dźwiękoizolacyjne ścian wykonanych z bloków wapienno-piaskowych.

Tabela 5. Porównanie uśrednionych wartości wskaźnika $R_{A,1,R}$ dla ścian z bloków wapienno-piaskowych uzyskanych na drodze pomiarów laboratoryjnych oraz na podstawie wzoru (12)

Grubość ściany bez tynku* [cm]	Pomiar $R_{A,1,R}$ [dB]	Oszacowanie $R_{A,1,R}$ [dB]	Różnica [dB]
12	46	48	-3
18	48	48	0
24	53	53	0
25	53	52	-1

* ściany z elementów **drażonych** – spoiny poziome 10 mm z zaprawy murarskiej lub 2 mm z zaprawy cienkowarstwowej, spoiny pionowe w systemie wpust-wypust niewypełnione

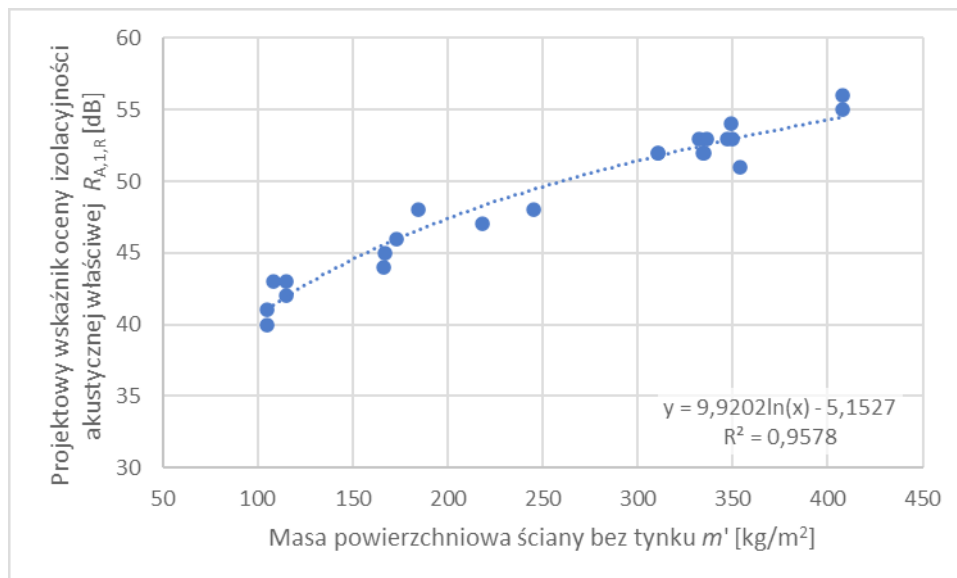
Grubość ściany bez tynku* [cm]	Pomiar $R_{A,1,R}$ [dB]	Oszacowanie $R_{A,1,R}$ [dB]	Różnica [dB]
12	46	46	0
18	52	51	-1
24	55	55	0
25	57	57	0

* ściany z elementów **pełnych** – spoiny poziome i pionowe 2 mm z zaprawy cienkowarstwowej lub 10 mm z zaprawy murarskiej.

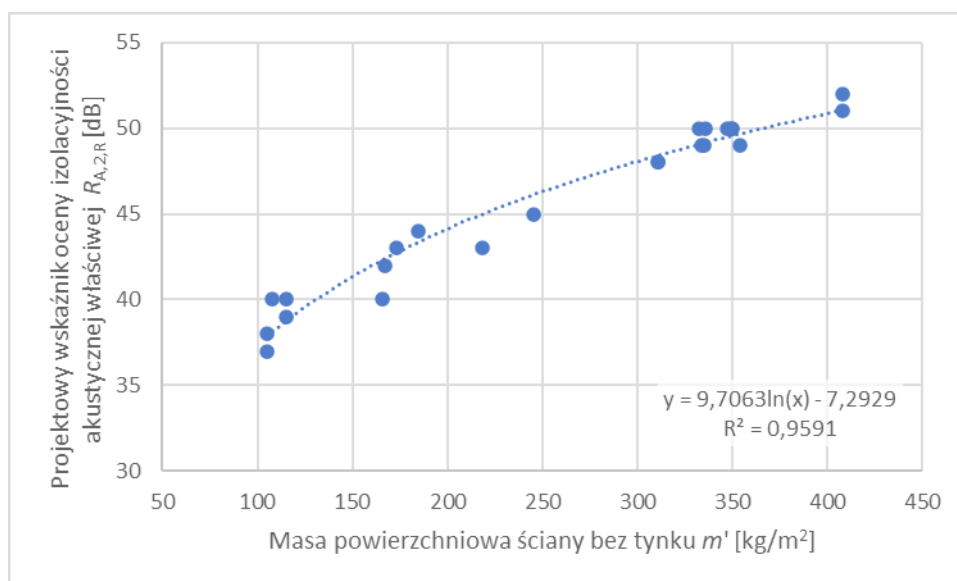
Prognoza izolacyjności od dźwięków powietrznych na podstawie wzorów obliczeniowych opracowanych z wykorzystaniem wyników badań laboratoryjnych bloków wapienno-piaskowych dostępnych na rynku krajowym

Biorąc pod uwagę to, że znacząca część dostępnych na rynku krajowym bloków silikatowych posiada potwierdzone badaniami laboratoryjnymi parametry dźwiękoizolacyjne, poniżej przedstawiono wzory (20)-(23) dotyczące prognozowanej wartości wskaźników $R_{A,1,R}$ i $R_{A,2,R}$ określonych na podstawie tychże wyników laboratoryjnych. Wzory

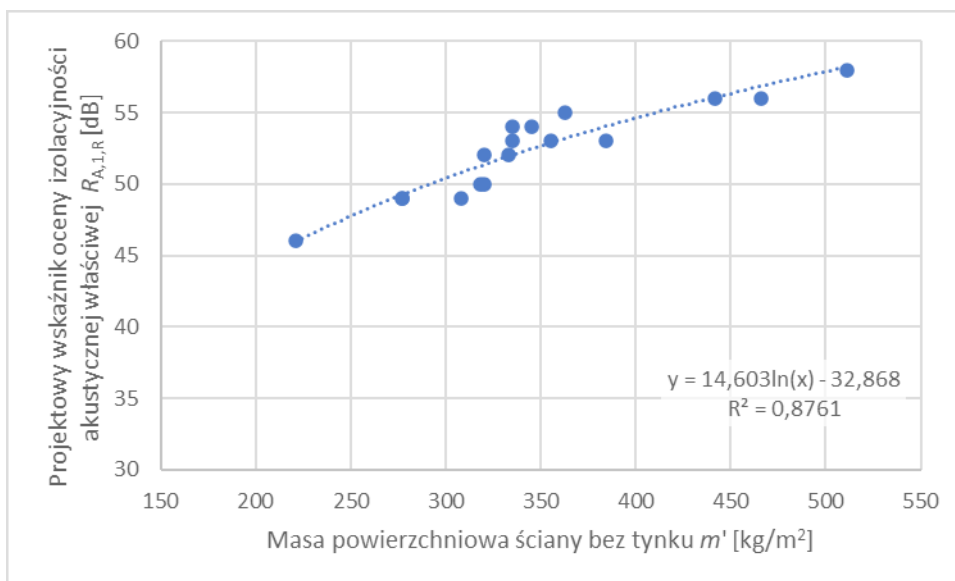
określone zostały metodą regresji. Należy zwrócić uwagę, że w przeciwieństwie do przedstawionych wcześniej wzorów we wzorach (20) do (23) występuje logarytm naturalny o podstawie. Na rysunkach 10-13 przedstawiono wartości wskaźników w funkcji masy powierzchniowej oraz na ich podstawie równanie linii trendu.



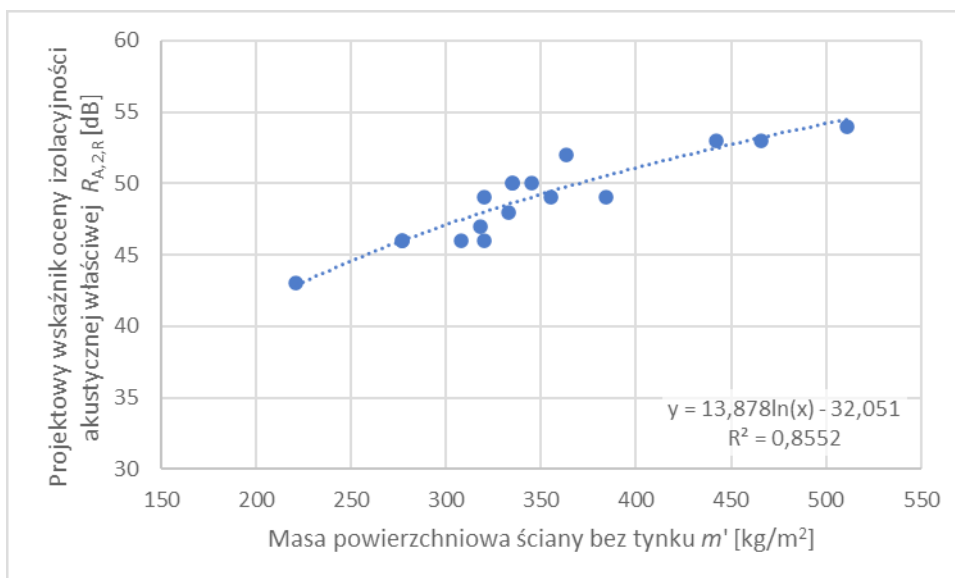
Rys. 10. Wartości wskaźnika $R_{A,1,R}$ w funkcji masy powierzchniowej ściany wykonanej z bloków wapienno-piaskowych **drażonych** wraz z równaniem linii trendu oraz współczynnikiem determinacji



Rys. 11. Wartości wskaźnika $R_{A,2,R}$ w funkcji masy powierzchniowej ściany wykonanej z bloków wapienno-piaskowych **drażonych** wraz z równaniem linii trendu oraz współczynnikiem determinacji



Rys. 12. Wartości wskaźnika $R_{A,1,R}$ w funkcji masy powierzchniowej ściany wykonanej z bloków wapienno-piaskowych **pełnych** wraz z równaniem linii trendu oraz współczynnikiem determinacji



Rys. 13. Wartości wskaźnika $R_{A,2,R}$ w funkcji masy powierzchniowej ściany wykonanej z bloków wapienno-piaskowych **pełnych** wraz z równaniem linii trendu oraz współczynnikiem determinacji

Wzory dotyczące wartości wskaźników oceny izolacyjności akustycznej właściwej dla ścian z bloków wapienno-piaskowych **drążonych** ($m' > 100 \text{ kg/m}^2$):

$$R_{A,1,R} = 9,92 \cdot \ln(m') - 5,15 \quad \text{dB} \quad (20)$$

$$R_{A,2,R} = 9,71 \cdot \ln(m') - 7,29 \quad \text{dB} \quad (21)$$

Wzory dotyczące wartości wskaźników oceny izolacyjności akustycznej właściwej dla ścian z bloków wapienno-piaskowych **pełnych** ($m' > 150 \text{ kg/m}^2$):

$$R_{A,1,R} = 14,60 \cdot \ln(m') - 32,87 \quad \text{dB} \quad (22)$$

$$R_{A,2,R} = 13,88 \cdot \ln(m') - 32,05 \quad \text{dB} \quad (23)$$

gdzie: m' – masa powierzchniowa przegrody bez tynku, kg/m^2 .

W tabelicy 6 przedstawiono porównanie wartości wskaźnika $R_{A,1,R}$ oszacowanego za pomocą wzorów (20) i (22). Obliczenia przeprowadzono dla uśrednionej **masy powierzchniowej ściany bez tynku**. Średnia dotyczy przegród poddanych badaniom laboratoryjnym. Na podstawie przedstawionego porównania można stwierdzić, że średnia z oszacowanych za pomocą wzorów (20) i (21) wartości wskaźnika nie odbiega o więcej niż 1 dB od średniej z wartości wyznaczonych w laboratorium dla danej grupy ścian o tej samej grubości.

Tabela 6. Porównanie uśrednionych wartości wskaźnika $R_{A,1,R}$ dla ścian z bloków wapienno-piaskowych uzyskanych na drodze pomiarów laboratoryjnych oraz na podstawie wzorów (20) i (21)

Grubość ściany bez tynku* [cm]	Pomiar $R_{A,1,R}$ [dB]	Oszacowanie $R_{A,1,R}$ [dB]	Różnica [dB]
12	46	46	0
18	48	49	1
24	53	53	0
25	53	53	0

* ściany z elementów **drażonych** – spoiny poziome 10 mm z zaprawy murarskiej lub 2 mm z zaprawy cienkowarstwowej, spoiny pionowe w systemie wpust-wypust niewypełnione

Grubość ściany bez tynku* [cm]	Pomiar $R_{A,1,R}$ [dB]	Oszacowanie $R_{A,1,R}$ [dB]	Różnica [dB]
12	46	46	0
18	52	51	-1
24	55	55	0
25	57	58	1

* ściany z elementów **pełnych** – spoiny poziome i pionowe 2 mm z zaprawy cienkowarstwowej lub 10 mm z zaprawy murarskiej

Należy w tym miejscu wyraźnie zaznaczyć, że stosowanie wzorów empirycznych (12)-(23) w praktyce projektowej dla ścian z bloków silikatowych nie jest zalecane, a najlepszym sposobem określenia wartości wskaźnika $R_{A,1,R}$ jest skorzystanie z wyników badań laboratoryjnych, które są dostępne dla znakomitej większości produktów z tej grupy, oferowanych na rynku krajowym.

4.2. Prognoza izolacyjności od dźwięków uderzeniowych

Podobnie jak w przypadku dźwięków powietrznych, również w przypadku dźwięków uderzeniowych nowelizacja normy PN-EN ISO 12354-2:2017-10 [18] wprowadza zmiany w metodyce obliczeniowej w zakresie modelu uproszczonego. W tym przypadku jednak zmiany są znacznie szersze. Nowelizacja zmienia radykalnie sposób realizacji obliczeń wykonywanych wg „modelu uproszczonego”. Jego użycie wymaga nie tylko dokładnych informacji dotyczących parametrów dźwiękoizolacyjnych stropu i pozostałych przegród bocznych, ale także gruntownej wiedzy z zakresu akustyki budowlanej (najlepiej popartej doświadczeniem w zakresie pomiarów dźwiękoizolacyjności). W świetle powyższych zmian „metoda uproszczona” wg PN-EN 12354-2:2002 [17] pomimo jej niskiej dokładności (± 4 dB dla pomieszczeń sąsiadujących w pionie) wydaje się być nadal dla wielu projektantów jedynym realnym narzędziem do szacowania przybliżonego poziomu uderzeniowego znormalizowanego.

Przedstawiona poniżej „metoda uproszczona” [17] dotyczy określenia wskaźnika ważonego przybliżonego poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L'_{n,w}$ poprzez przyjęcie bocznego przenoszenia dźwięku jako stabelaryzowanej wartości poprawki K oraz zmniejszenia poziomu uderzeniowego przez podłogę znajdującą się na stropie wg wzoru:

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_W + K, \quad dB \quad (24)$$

gdzie: $L_{n,w,eq}$ – równoważny ważony wskaźnik poziomu uderzeniowego znormalizowanego dla stropu bez dodatkowych warstw, dB,
 ΔL_w – ważony wskaźnik zmniejszenia poziomu uderzeniowego przez podłogę, dB,
 K – poprawka uwzględniająca przenoszenie dźwięków uderzeniowych przez jednorodne elementy boczne, dB (tabl. 7).

Wartości wskaźnika $L_{n,w,eq}$ zaleca się przyjmować jako wyznaczone na podstawie badań laboratoryjnych. W przypadku braku danych pomiarowych dla stropów masywnych jednorodnych dopuszcza się korzystanie z wzorów empirycznych „prawa masy” [17].

Średnią masę powierzchniową przegród bocznych, od której zależy wartość poprawki K , należy obliczać z wyrażenia:

$$m_{b,cr} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n S_{bi}} \sum_{i=1}^n (m_{bi} \cdot S_{bi}), \quad \text{kg/m}^2 \quad (25)$$

gdzie: m_{bi} – masa powierzchniowa i -tej przegrody bocznej, kg/m^2 ,
 S_{bi} – powierzchnia i -tej przegrody bocznej (po odliczeniu powierzchni otworów drzwiowych lub okiennych w przegrodzie), m^2 ,
 n – liczba uwzględnionych przegród bocznych.

W tabelicy 7 przedstawiono wartości poprawki K uwzględniającej przenoszenie dźwięków uderzeniowych przez jednorodne elementy boczne [17]

Tabela 7. Poprawka K dotycząca przenoszenia bocznego dźwięku uderzeniowego, dB [17]

Średnia masa powierzchniowa elementu rozdzielnego (stropu) kg/m^2	Średnia masa powierzchniowa jednorodnych elementów bocznych pokrytych dodatkowymi warstwami, kg/m^2								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
100	1	0	0	0	0	0	0	0	0
150	1	1	0	0	0	0	0	0	0
200	2	1	1	0	0	0	0	0	0
250	2	1	1	1	0	0	0	0	0
300	3	2	1	1	1	0	0	0	0
350	3	2	1	1	1	1	0	0	0
400	4	2	2	1	1	1	1	0	0
450	4	3	2	1	1	1	1	1	0
500	4	3	2	2	1	1	1	1	1
600	5	4	3	2	2	1	1	1	1
700	5	4	3	3	2	2	1	1	1
800	6	4	4	3	2	2	2	1	1
900	6	5	4	3	3	2	2	2	2

5. Wymagana izolacyjność akustyczna wg PN-B-02151-3:2015-10 [10]

W tablicy 8 przedstawiono, zaczerpnięte z normy [10], najistotniejsze z punktu widzenia opracowania nazwy i symbole związane z wymaganiami w zakresie izolacyjności akustycznej. Bardzo istotne jest przyjęcie odpowiednich kryteriów oceny w zależności od rodzaju przegrody lub elementu budowlanego. Należy zwrócić uwagę na to, że w przypadku ścian i stropów w obrębie mieszkania oraz drzwi wymagania dotyczą wartości projektowego wskaźnika oceny ($R_{A,1,R}$, $L'_{n,w}$) w przeciwieństwie do pozostałych przegród, dla których należy określić wartość wskaźnika oceny przybliżonej ($R'_{A,1}$, $D_{nT,A,1}$, $R'_{A,2}$, $D_{nT,A,1}$, $L'_{n,w}$), a więc wartość uwzględniającą przenoszenie pośrednie dźwięku. Nieprzekroczenie wartości granicznych wskaźników (kolumna 4, tablica 8) podanych w normie oznacza spełnienie wymagań w zakresie izolacyjności akustycznej.

$$R'_{A,1} \geq \min R'_{A,1} \tag{26}$$

$$R'_{A,2} \geq \min R'_{A,2} \tag{27}$$

$$L'_{n,w} \leq \max L'_{n,w} \tag{28}$$

$$R_{A,1,R} \geq \min R_{A,1,R} \tag{29}$$

$$D_{nT,A,1} \geq \min D_{nT,A,1} \tag{30}$$

Tablica 8. Wskaźniki charakteryzujące izolacyjność akustyczną przegrody w budynku i elementów budowlanych, dB [10]

Lp.	Przegroda	Rodzaj dźwięków zakłócających	Wskaźnik izolacyjności akustycznej przegrody w budynku		Wskaźnik izolacyjności akustycznej elementów budowlanych przeznaczonych do zastosowania w budynku jako przegroda	
			nazwa i symbol	Metoda obliczania wskaźnika	nazwa i symbol	Metoda obliczania wskaźnika
1	2	3	4	5	6	7
1	ściana wewnętrzna z wyjątkiem ścian działowych w obrębie mieszkania	powietrzne	wskaźnik oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,1}$, wskaźnik oceny wzorcowej różnicy poziomów $D_{nT,A,1}$ ^{a)}	PN-EN ISO 717-1 PN-EN ISO 717-1	wskaźnik ważony izolacyjności od dźwięków powietrznych i widmowe wskaźniki adaptacyjne $R_w(C$ i $C_{tr})$ lub wskaźnik oceny izolacyjności od dźwięków powietrznych $R_{A,1}$	PN-EN ISO 717-1 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	wskaźnik ważony izolacyjności od dźwięków powietrznych i widmowe wskaźniki adaptacyjne $R_w(C$ i $C_{tr})$ lub wskaźnik oceny izolacyjności od dźwięków powietrznych $R_{A,1}$	PN-EN ISO 717-1 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 $R'_{A,1}$, wskaźnik oceny wzorcowej różnicy poziomów $D_{nT,A,1}$ ^{a)}	PN-EN ISO 717-1 PN-EN ISO 717-1	wskaźnik ważony izolacyjności od dźwięków powietrznych i widmowe wskaźniki adaptacyjne $R_w(C$ i $C_{tr})$ lub wskaźnik oceny izolacyjności od dźwięków powietrznych $R_{A,1}$	PN-EN ISO 717-1 PN-EN ISO 717-1
		uderzeniowe	wskaźnik ważony przybliżonego poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L'_{n,w}$	PN-EN ISO 717-2	wskaźnik ważony poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L_{n,w}$	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	wskaźnik ważony izolacyjności od dźwięków powietrznych i widmowe wskaźniki adaptacyjne $R_w(C i C_{tr})$ lub wskaźnik oceny izolacyjności od dźwięków powietrznych $R_{A,1}$	PN-EN ISO 717-1 PN-EN ISO 717-1
		uderzeniowe	projektowy wskaźnik poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L_{n,w,R}$	PN-EN ISO 717-2	wskaźnik ważony poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L_{n,w}$	PN-EN ISO 717-2
5	drzwi wewnętrzne	powietrzne	projektowy wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej $R_{A,1,R}$	PN-EN ISO 717-1	wskaźnik ważony izolacyjności od dźwięków powietrznych i widmowe wskaźniki adaptacyjne $R_w(C i C_{tr})$ lub wskaźnik oceny izolacyjności od dźwięków powietrznych $R_{A,1}$	PN-EN ISO 717-1 PN-EN ISO 717-1
6	dodatkowe ustroje izolacyjne na przegrodach wewnętrznych ^{b)}	powietrzne	-	-	wskaźnik ważony poprawy izolacyjności od dźwięków powietrznych i widmowe wskaźniki adaptacyjne $\Delta R_w(C i C_{tr})$ oraz wskaźnik oceny poprawy izolacyjności od dźwięków powietrznych $\Delta R_{A,1}$	PN-EN ISO 717-1 PN-EN ISO 717-1
7	ściana zewnętrzna, stropodach bez okien lub z oknami	powietrzne	wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,2}$	PN-EN ISO 717-1	wskaźnik ważony izolacyjności od dźwięków powietrznych i widmowe wskaźniki adaptacyjne $R_w(C i C_{tr})$ lub wskaźnik oceny izolacyjności od dźwięków powietrznych $R_{A,2}$ ^{c)}	PN-EN ISO 717-1 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	wskaźnik ważony izolacyjności od dźwięków powietrznych i widmowe wskaźniki adaptacyjne $R_w(C i C_{tr})$ lub wskaźnik oceny izolacyjności od dźwięków powietrznych $R_{A,2}$ ^{c)}	PN-EN ISO 717-1 PN-EN ISO 717-1
9	nawiewniki powietrza zewnętrznego stosowane w przegrodach zewnętrznych ^{b)}	powietrzne	-	-	wskaźnik ważony elementarnej znormalizowanej różnicy poziomów i widmowe wskaźniki adaptacyjne $D_{n,e,w}(C i C_{tr})$ oraz wskaźnik oceny elementarnej znormalizowanej różnicy poziomów $D_{n,e,A,2}$ ^{c)}	PN-EN ISO 717-1 PN-EN ISO 717-1
10	dodatkowe ustroje izolacyjne na przegrodach zewnętrznych ^{b)}	powietrzne	-	-	wskaźnik ważony poprawy izolacyjności od dźwięków powietrznych i widmowe wskaźniki adaptacyjne $\Delta R_w(C i C_{tr})$ oraz wskaźnik oceny poprawy izolacyjności od dźwięków powietrznych $\Delta R_{A,2}$ ^{c)}	PN-EN ISO 717-1 PN-EN ISO 717-1

^{a)} Wskaźnik oceny wzorcowej różnicy poziomów $D_{n,T,A,1}$ należy stosować, gdy powierzchnia przegrody S , wspólna w obu przyległych pomieszczeniach, jest mniejsza od 10 m^2 .

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

^{c)} Jeżeli hałas zewnętrzny pochodzi od źródła, dla którego przyjmuje się widmowy wskaźnik adaptacyjny C , to zgodnie z PN-EN ISO 717-1, zamiast wskaźnika oceny uwzględniającego widmowy wskaźnik adaptacyjny C_{tr} należy stosować wskaźnik oceny uwzględniający widmowy wskaźnik adaptacyjny C .

5.1. Wymagania normowe dotyczące przegród wewnętrznych

W tablicy 9 podano wymagania dotyczące minimalnych wartości wskaźników izolacyjności od dźwięków powietrznych przegród wewnętrznych w budynkach mieszkalnych, w tablicy 10 przedstawiono z kolei dla tych samych budynków maksymalne wartości wskaźnika ważonego znormalizowanego poziomu uderzeniowego.

Tablica 9. Izolacyjność od dźwięków powietrznych przegród wewnętrznych w budynkach mieszkalnych [10]

Lp.	Rodzaj przegrody	Rodzaj wskaźnika	Wartość wskaźnika, dB
1	2	3	4
I	Budynki wielorodzinne		
I.1	Strop między mieszkaniami	$R'_{A,1}$ ^{a)}	≥ 51 ^{b)}
I.2	Ściana między mieszkaniami	$R'_{A,1}$	≥ 50
I.3	Ściany i drzwi między klatką schodową i/lub korytarzem komunikacji ogólnej a dowolnym pomieszczeniem w mieszkaniu		
I.3.1	- ściana pełna bez drzwi	$R'_{A,1}$	≥ 50
I.3.2	- ściana z drzwiami, gdy w mieszkaniu znajduje się przedpokój oddzielony drzwiami od pozostałej części mieszkania	$R'_{A,1}$	≥ 30
I.3.3	- ściana z drzwiami, w sytuacjach innych niż 1.3.2	$R'_{A,1}$	≥ 38
I.3.4	- drzwi wejściowe do mieszkania w ścianie wg 1.3.2	$R_{A,1,R}$	≥ 30
I.3.5	- drzwi wejściowe do mieszkania w ścianie wg 1.3.3	$R_{A,1,R}$	≥ 35
I.4	Ściana lub strop między mieszkaniem a garażem, pomieszczeniem technicznym, handlowym, usługowym, pomieszczeniem klubu, kawiarni, restauracji, w których nie jest prowadzona działalność rozrywkowa z udziałem muzyki i/lub tańca	$R'_{A,1}$	≥ 58 ^{c)}
I.5	Ściana lub strop między mieszkaniem a: - salą klubową, kawiarnianą, restauracyjną, w których prowadzona jest działalność z udziałem muzyki i/lub tańca - pomieszczeniem, w którym zainstalowane urządzenia lub rodzaj wykonywanej pracy czy prowadzonych zajęć ruchowych są źródłem zakłóceń akustycznych w postaci dźwięków powietrznych i materiałowych ^{d) e)}	$R'_{A,1}$	≥ 65 ^{c)}
I.6	W budynku wielofunkcyjnym - strop oddzielający część mieszkalną od części biurowej	$R'_{A,1}$	≥ 58 ^{c)}
I.7	Przegrody wewnętrzne w obrębie mieszkania		
I.7.1	- ściana bez drzwi oddzielająca pokój od pomieszczenia sanitarnego	$R_{A,1,R}$	≥ 38
I.7.2	- ściana bez drzwi oddzielająca poszczególne pomieszczenia w mieszkaniu, z wyjątkiem ścian wg I.7.1	$R_{A,1,R}$	≥ 35
I.7.3	- strop w mieszkaniu wielopiętrowym (dwupiętrowym)	$R_{A,1,R}$	≥ 45
II	Budynki jednorodzinne		
II.1	Ściany między budynkami przy zabudowie bliźniaczej i szeregowej bez względu na rodzaj pomieszczeń przylegających z obu stron ściany	$R'_{A,1}$ ^{a)}	≥ 52
II.2	Ściany i stropy wewnętrzne w obrębie budynku bez względu na rodzaj zabudowy	$R_{A,1,R}$	jak w I.7.1 do I.7.3

a) Dotyczy wskaźnika wspólnej powierzchni przegrody dzielącej pomieszczenia; jeżeli wspólna powierzchnia przegrody S jest mniejsza niż 10 m², wymaganie dotyczy wskaźnika oceny wzorcowej różnicy poziomów $D_{nT,A,1}$

b) Stropy między pomieszczeniami sanitarnymi mogą mieć wartość $R'_{A,1}$ mniejszą o 2 dB.

c) Równocześnie należy spełnić wymaganie wg PN-B-02151-2 dotyczące dopuszczalnego poziomu hałasu przenikającego do pomieszczenia chronionego z pomieszczeń ze źródłami hałasu

d) Na przykład: kluby fitness, siłownie, szkoły tańca, rozdzielnie paczek w urzędach pocztowych itp.

e) Nie zaleca się lokalizacji tego rodzaju pomieszczeń w budynkach mieszkalnych.

Tablica 10. Dopuszczalny poziom dźwięków uderzeniowych przenikających do pomieszczeń chronionych w budynkach mieszkalnych [10]

Lp.	Rodzaj przegrody	Rodzaj wskaźnika	Wartość wskaźnika dB
1	2	3	4
I	Budynki wielorodzinne		
	Poziom dźwięków uderzeniowych przenikających między mieszkaniami ^{a) b) c)}	$L'_{n,w}$	≤ 55
	Poziom dźwięków uderzeniowych przenikających do mieszkania z pomieszczeń komunikacji ogólnej: korytarzy, holi, podestów ^{c)}	$L'_{n,w}$	≤ 55
	Poziom dźwięków uderzeniowych przenikających do mieszkania z garażu, z pomieszczenia technicznego budynku, pomieszczenia handlowego, usługowego ^{d)} , z sali klubowej kawiarnianej, restauracyjnej, w których nie prowadzi się działalności z udziałem muzyki i/lub tańca ^{c)}	$L'_{n,w}$	≤ 48 ^{e)}
	Poziom dźwięków uderzeniowych przenikających do mieszkania: - z sali klubowej, kawiarnianej, restauracyjnej, w których prowadzona jest działalność z udziałem muzyki i/lub tańca, - z pomieszczenia, w którym zainstalowane urządzenia lub rodzaj wykonywanej pracy czy prowadzonych zajęć są źródłem zakłóceń akustycznych w postaci dźwięków powietrznych i materiałowych ^{c) f) g)}	$L'_{n,w}$	≤ 38 ^{e)}
	Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych stropu w obrębie mieszkania	$L_{n,w,R}$	≤ 58
II	Budynki jednorodzinne		
1	2	3	4
	Poziom dźwięków uderzeniowych przenikających między budynkami przy zabudowie bliźniaczej lub szeregowej (do pomieszczeń mieszkalnych jednego budynku z przyległego budynku: ze stropów, wewnętrznych klatek schodowych, z podestów, biegów schodowych, z pomieszczeń technicznych itp.)	L'_{nw}	≤ 53
	Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych stropu (wraz z podłogą) w obrębie budynku jednorodzinnego wielopiętrowego.	$L_{n,w,R}$	≤ 58
<p>a) Dopuszczalny ważony wskaźnik przybliżonego znormalizowanego poziomu uderzeniowego, $L'_{n,w}$ odnosi się do wszystkich pomieszczeń mieszkania z wyjątkiem pomieszczeń sanitarnych. W pomieszczeniach sanitarnych wskaźnik ten może być o 2 dB większy.</p> <p>b) W przypadku stropów w pomieszczeniach sanitarnych wymaganie dotyczące przenoszenia dźwięku uderzeniowego do pokoju „obcego mieszkania”.</p> <p>c) Wymaganie dotyczy wszystkich kierunków rozprzestrzeniania dźwięku w budynkach. W przypadku mieszkań wielopiętrowych dotyczy także przenoszenia dźwięków z wewnętrznych stropów i wewnętrznych klatek schodowych.</p> <p>d) Jeżeli w pomieszczeniu usługowym prowadzone są takie czynności, jak: przetaczanie wózków, rzucanie ciężkimi przedmiotami, uderzenia w twarde podłoże, to należy przyjąć wymagania wg I.4.</p> <p>e) Równocześnie należy spełnić wymaganie wg PN-B-02151-2 dotyczące dopuszczalnego poziomu hałasu przenikającego do pomieszczenia chronionego z pomieszczeń ze źródłami hałasu.</p> <p>f) Na przykład: kluby fitness, siłownie, szkoły tańca, rozdzielnie paczek w urzędach pocztowych itp.</p> <p>g) Nie zaleca się lokalizacji tego rodzaju pomieszczeń w budynkach mieszkalnych.</p>			

W analogiczny sposób jak w tablicach 9 i 10, w normie przedstawiono wymagania dotyczące dźwiękoizolacyjności przegród wewnętrznych w budynkach zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Zestawienie budynków niemieszkalnych, dla których ustanowiono wymagania, przedstawiono w tablicy 11.

Tablica 11. Rodzaje grup budynków niemieskalnych, dla których ustanowiono wymagania dotyczące dźwiękoizolacyjności w normie [10]

Lp	Rodzaj budynku
1	2
I	Hotele
II	Budynki zakwaterowania turystycznego (hotele turystyczne, pensjonaty, domy wypoczynkowe)
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

5.2. Wymagania normowe dotyczące przegród zewnętrznych

W celu sprawdzenia wymagań dotyczących izolacyjności akustycznej właściwej przegrody zewnętrznej konieczne jest określenie przez projektanta wymagań. Wymagania określić należy na podstawie poziomu hałasu na zewnątrz projektowanego budynku, parametrów pogłosowych pomieszczenia oddzielonego analizowaną ścianą od środowiska zewnętrznego oraz założonego poziomu odniesienia (określającego, jaki poziom hałasu dopuszczamy w pomieszczeniu przy uwzględnieniu miarodajnego poziomu hałasu zewnętrznego). Wymagania należy sprawdzić oddzielnie dla pory dnia i pory nocy, a następnie jako wymaganą wartość izolacyjności akustycznej należy przyjąć tę wartość wskaźnika $R'_{A,2}$, która jest większa.

Niezależnie od wyniku obliczeń izolacyjność akustyczna przegrody zewnętrznej nie może być mniejsza od wartości podanej poniżej:

- $R'_{A,2} = 25$ 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.

Wymaganą przybliżoną izolacyjność akustyczną wypadkową przegrody zewnętrznej należy obliczać z wzoru:

$$R'_{A,2} = L_{A,zew} - L_{A,wew} + 10 \lg \left(\frac{S}{A} \right) + 3, dB \quad (31)$$

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, dB,

S – pole rzutu powierzchni przegrody zewnętrznej na płaszczyznę fasady lub dachu widzianej od strony pomieszczenia, m²,

A – chłonność akustyczna pomieszczenia w oktawowym paśmie o częstotliwości $f = 500$ Hz bez wyposażenia pomieszczenia i obecności użytkowników, m²,

3 – poprawka przyjętą ze względu na brak możliwości ścisłego określenia miarodajnego poziomu charakteryzującego hałas zewnętrzny, na który narażony będzie budynek w dłuższej perspektywie czasu.

Przy czym:

$$A = \frac{0.16 \cdot V}{T}, m^2 \quad (32)$$

gdzie: V - objętość pomieszczenia, m^3 ,

T - przewidywany czas pogłosu w pomieszczeniu w oktawowym paśmie o częstotliwości $f = 500$ Hz w sekundach należy przyjmować wzorcowemu czasowi pogłosu $T = 0,5$ s z wyjątkiem pomieszczeń, dla których w PN-B-02151-4 [11] określono wymagania.

Wymaganą izolacyjność akustyczną przegród zewnętrznych uzależnia się od miarodajnego poziomu hałasu zewnętrznego występującego w odległości 2 m od fasady budynku na wysokości rozpatrywanego fragmentu przegrody zewnętrznej. Miarodajny poziom hałasu zewnętrznego należy wyznaczyć odrębnie dla pory dnia i pory nocy:

- $L_{A,zew,D}$ od 6:00 do 22:00,
- $L_{A,zew,N}$ od 22:00 do 6:00.
- W zależności od typu źródła hałasu zewnętrznego uwzględnia się zależnie od potrzeb:
- długookresowy równoważny poziom dźwięku A hałasu zewnętrznego $L_{Aeq,zew,D}$ odnoszący się do pory dnia,
- długookresowy równoważny poziom dźwięku A hałasu zewnętrznego $L_{Aeq,zew,N}$ odnoszący się do pory nocy,
- długookresowy średni maksymalny poziom dźwięku A $L_{Amax,zew,N}$ odnoszący się do pory nocy.

Przy wyznaczaniu miarodajnego poziomu hałasu zewnętrznego można korzystać z map hałasu, jeżeli dla danego terenu takie mapy istnieją. Można wykorzystać wówczas metodykę przedstawioną w załączniku E normy [10], wprowadzając równocześnie poprawkę związaną z ewentualną koniecznością wyznaczenia poziomu hałasu na wysokości powyżej 4 m. n. p. t. oraz perspektywą zmian poziomu hałasu związaną z miejscowym planem lub studium zagospodarowania przestrzennego oraz prognozą zmian natężenia ruchu drogowego, kolejowego lub lotniczego. Zgodnie z metodyką z załącznika E, wartość $L_{A,zew,D}$ oblicza się na podstawie wskaźnika L_{DWN} , natomiast $L_{A,zew,N}$ przyjmuje się co do wartości równy wskaźnikowi L_N . Wskaźniki L_{DWN} oraz L_N opisano w rozdziale 6.1.

Jeżeli dla terenu związanego z zamierzeniem inwestycyjnym brak jest map hałasu, wówczas wartość poziomu $L_{A,zew,D}$ i $L_{A,zew,N}$ należy wyznaczyć na podstawie obliczeń. W takim przypadku wskazana jest kalibracja modelu obliczeniowego poprzez porównanie z wartościami uzyskanymi podczas terenowych pomiarów hałasu. Wyniki takiej analizy powinny uwzględniać zmienność hałasu w okresie 1 roku.

Sposób wyznaczania wartości poziomu $L_{A,zew,D}$ i $L_{A,zew,N}$ uzależniony jest od rodzaju źródeł hałasu, jakie powinny zostać uwzględnione w analizie.

- Miarodajny poziom hałasu zewnętrznego od komunikacji drogowej i szynowej wyznacza się dla 16 godzin dnia $L_{A,zew,D}$ i dla 8 godzin nocy $L_{A,zew,N}$ (z uwzględnieniem wszystkich dni i nocy w roku).
- Miarodajny poziom hałasu zewnętrznego dla lotnisk z łączną liczbą operacji lotniczych powyżej 3000/rok wyznacza się dla 16 godzin dnia $L_{A,zew,D}$ i dla 8 godzin nocy $L_{A,zew,N}$ oraz dodatkowo długookresowy miarodajny poziom dźwięku A $L_{A,max,zew,N}$ określony dla średniej liczby N pojedynczych operacji lotniczych występujących w ciągu 8 godzin nocy, jeżeli ich średnia liczba w ciągu nocy wynosi min. 3 oraz powodują na danym terenie hałas o poziomie co najmniej $L_{A,max,F} = 70$ dB (z uwzględnieniem wszystkich dni i nocy w roku).
- Miarodajny poziom hałasu zewnętrznego dla pozostałych lotnisk i lądowisk cywilnych oraz lotnisk i lądowisk wojskowych wyznacza się dla 16 godzin dnia $L_{A,zew,D}$ i dla 8 godzin nocy $L_{A,zew,N}$ oraz dodatkowo długookresowy miarodajny poziom dźwięku A $L_{A,max,zew,N}$ określony dla średniej liczby N pojedynczych operacji lotniczych występujących w ciągu 8 godzin nocy, jeżeli ich średnia liczba w ciągu nocy wynosi min. 3 oraz powodują na danym terenie hałas o poziomie co najmniej $L_{A,max,F} = 70$ dB (z uwzględnieniem odrębnie wszystkich dni i nocy w kolejnych trzech miesiącach roku o największej liczbie operacji lotniczych).
- Miarodajny poziom hałasu zewnętrznego od pozostałych źródeł hałasu (np. hałasu przemysłowego) wyznacza się dla 8 kolejnych najniekorzystniejszych godzin dnia $L_{A,zew,D}$ i dla 1 najniekorzystniejszej godziny nocy $L_{A,zew,N}$ (z uwzględnieniem wszystkich dni i nocy w roku).

Jeżeli na danym terenie mamy do czynienia z hałasem od komunikacji drogowej lub szynowej oraz hałasem lotniczym, wówczas należy uwzględnić to, obliczając średnią „energetyczną” [10]:

$$L_{Aeq,zew} = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^n \left(10^{0,1 \cdot L_{Aeq,zew,i}} \right), dB \quad (33)$$

gdzie: $L_{Aeq,zew,i}$ – miarodajny, równoważny poziom dźwięku A hałasu zewnętrznego pochodzącego od jednego rodzaju źródeł hałasu dla pory dnia lub nocy, dB.

W przypadku występowania pozostałych źródeł hałasu (np. hałasu przemysłowego) należy wyznaczyć oddziaływanie od źródeł jak wyżej oraz od źródeł pozostałych i do dalszej analizy wybrać wariant bardziej krytyczny.

W tablicach 12 i 13 przedstawiono dla pomieszczeń o różnym przeznaczeniu wartości poziomu odniesienia $L_{A,wew}$ w dB, służące do wyznaczenia minimalnej wartości wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,2}$ przegrody zewnętrznej.

Z tablicy 12 należy korzystać, jeżeli miarodajny poziom hałasu zewnętrznego dotyczy wartości równoważnych $L_{Aeq,zew}$, natomiast z tablicy 13, jeżeli miarodajny poziom hałasu zewnętrznego odnosi się do hałasu lotniczego i dotyczy wartości maksymalnych $L_{Amax,zew}$. Poziomy odniesienia podane w tablicy 12 nie są przeznaczone do oceny wyników pomiarów (kontroli) poziomu dźwięku A, hałasu zewnętrznego przenikającego do pomieszczenia.

Tablica 12. Poziomy odniesienia $L_{Aeq,wew}$ dotyczący miarodajnego równoważnego poziomu dźwięku A, hałasu zewnętrznego [10]

Lp.	Rodzaj budynku	Rodzaj pomieszczenia	Poziomy odniesienia $L_{Aeq,wew}$, dB	
			dzień	noc
1	2	3	4	5
1.1	Budynek mieszkalny (bez względu na rodzaj zabudowy)	Pokój	35	25
1.2		Wydzielona kuchnia	40	-
2.1	Budynki hotelowe	Pokój hotelowy	35	25
2.2		Hol, pomieszczenie recepcji	45	-
3	Budynki zakwaterowania turystycznego (hotele turystyczne, pensjonaty, domy wypoczynkowe)	Pokój	35	25
4.1	Budynki zamieszkania zbiorowego (domy studenckie, internaty i bursy szkolne, hotele robotnicze, domy dziecka, domy opieki społecznej)	Pokoje w domach studenckich, internatach, bursach szkolnych	35	25
4.2		Pokoje w domach dziecka i domach opieki społecznej	35	25
5	Żłobki i przedszkola	Pokoje dla dzieci	35	-
6.1	Szkoły podstawowe i ponadpodstawowe	Klasy szkolne	35	-
6.2		Świetlice	35	-
6.3		Pokoje nauczycielskie	35	-
6.4		Stołówki	40	-
6.5		Korytarze szkolne i pomieszczenia rekreacyjne	40	-
7.1	Budynki szkół wyższych i placówek badawczych	Sale wykładowe, audytoria	35	-
7.2		Pomieszczenia laboratoryjne	35	-
7.3		Pomieszczenia do pracy kameralnej	35	-

8.1	Budynki szpitalne i zakładów opieki medycznej	Sale łóżkowe	32	25
8.2		Gabinety lekarskie	35	-
8.3		Gabinety zabiegowe	35	-
8.4		Sale operacyjne i pomieszczenia związane	28	28
8.5		Sale IOM	30	25
9.1	Budynki biurowe	Pokoje biurowe	40	-
9.2		Gabinety dyrektorskie i inne pokoje do pracy koncepcyjnej	35	-
10.1	Budynki sądów i prokuratur	Sale przesłuchań i rozpraw	35	-
10.2		Sale narad sędziowskich	32	-
11.1	Wszystkie rodzaje budynków	Sale konferencyjne	32	-
11.2		Pokoje administracyjne	40	-
11.3		Kawiarnie, restauracje	40	-
11.4		Sale wystawowe	45	-
11.5		Pomieszczenia do zajęć sportowych	45	-

Poziom odniesienia $L_{Amax,wew}$ dotyczą miarodajnego maksymalnego poziomu hałasu zewnętrznego pochodzącego od operacji lotniczych dotyczy pory nocy i odnosi się do tych pomieszczeń, dla których w tablicy 12 podano poziomy odniesienia $L_{Aeq,wew}$ dla nocy.

Tablica 13. Poziom odniesienia $L_{Amax,wew}$ dotyczący miarodajnego maksymalnego poziomu hałasu zewnętrznego pochodzącego od operacji lotniczych w nocy, o poziomie dźwięku A na danym terenie $L_{Amax,i} \geq 70$ dB [10]

Lp.	Średnia liczba N operacji lotniczych w nocy w czasie oceny	Poziom odniesienia $L_{Amax,wew}$ dB
1	$3 \leq N \leq 5$	50 ^{a)}
2	$N > 5$	45

W budynkach szpitalnych i budynkach zakładów opieki medycznej w tab. 9, poz. 8.1, 8.4 i 8.5 należy przyjąć poziomy odniesienia $L_{Amax,wew} = 45$ dB.

Przegroda zewnętrzna może składać się z części pełnej, okien, drzwi balkonowych oraz nawiewników powietrza. Każdy z tych elementów przegrody charakteryzuje się różnymi parametrami dźwiękoizolacyjnymi. Określone na podstawie wzoru (31) wymagania dotyczące minimalnej izolacyjności akustycznej właściwej przegrody zewnętrznej należy porównać z wypadkową izolacyjnością akustyczną właściwą przegrody zewnętrznej obliczoną wg wzoru (34).

Wzór (34) można również wykorzystać do określenia minimalnych parametrów dźwiękoizolacyjnych części składowych przegrody, takich jak część pełna przegrody, okna, drzwi balkonowe i nawiewniki.

W myśl normy [10] obliczenia należy prowadzić przy założeniu, że:

- okna i drzwi balkonowe są zamknięte,
- nawiewniki z możliwością regulowania przez użytkownika są zamknięte,
- nawiewniki bez możliwości regulowania przez użytkownika są otwarte.

$$R_{wypadkowa} = -10 \left(\frac{S_p}{S} 10^{-0,1R_p} + \sum_{i=1}^m \frac{S_{o,i}}{S} 10^{-0,1R_{o,i}} + \sum_{j=1}^k \frac{10}{S} 10^{-0,1D_{n,e,j}} \right) \quad (34)$$

gdzie: R_p - izolacyjność akustyczna właściwa części pełnej przegrody zewnętrznej,

$R_{o,i}$ - izolacyjność akustyczna właściwa i-tego okna / drzwi balkonowych,

$D_{n,e,j}$ - elementarna znormalizowana różnica poziomów ciśnienia akustycznego, która określa właściwości

dźwiękoizolacyjne j-tego nawiewnika powietrza,

S_p - pole powierzchni rzutu części pełnej ściany zewnętrznej pomieszczenia na powierzchnie fasady lub dachu widziane od strony pomieszczenia,

$S_{o,i}$ - pole powierzchni i-tego otworu okiennego i drzwi balkonowych, widzianej od strony pomieszczenia,

S - pole powierzchni rzutu przegrody zewnętrznej pomieszczenia na powierzchnie fasady lub dachu widziane od strony pomieszczenia: $S = S_p + \sum S_{o,i}$,

m - liczba okien / drzwi balkonowych w danym fragmencie przegrody zewnętrznej pomieszczenia,

k - liczba nawiewników powietrza w przegrodzie zewnętrznej, niezależnie od miejsca usytuowania.

UWAGA Przy uproszczonych obliczeniach zamiast wartości R_p , $R_{o,i}$ i $D_{n,e}$ dla poszczególnych częstotliwości f pasm 1/3 oktaowych wstawia się odpowiednie wartości wskaźników oceny tych wielkości.

UWAGA W przypadku przegród zewnętrznych udział przenoszenia bocznego można zazwyczaj pominąć [19]. Wówczas wartość wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej przegrody zewnętrznej można zapisać następująco:

$$R'_{A,2} = R_{A,2,R} \cdot dB \quad (31)$$

Konieczność uwzględnienia przenoszenia bocznego zachodzi, jeżeli sztywne elementy żelbetowe lub murowane znajdujące się na zewnątrz budynku są połączone z innymi sztywnymi elementami w pomieszczeniu odbiorczym. Wówczas należy stosować zalecenia zawarte w normie [19].

W przypadku pomieszczeń, w których występuje więcej niż jedna przegroda zewnętrzna, sposób wykonania obliczeń zależy od tego, czy miarodajny poziom hałasu na zewnątrz przegród jest jednakowy czy nie. Jeżeli mamy do czynienia z przypadkiem, w którym poziom jest jednakowy, obliczenia wykonuje się zgodnie z wzorem (31). W przypadku kiedy pomieszczenie posiada kilka przegród zewnętrznych i poziomy hałasu przy przegrodach są różne, to spełnienie wymagań zawartych w tablicy 1 jest możliwe przy różnych kombinacjach izolacyjności przegród zewnętrznych. Norma [10] zaleca poniższy sposób postępowania w takim przypadku.

Należy wyznaczyć wymaganą izolacyjność od dźwięków powietrznych każdej z przegród zewnętrznych w pomieszczeniu jak dla przypadku, gdy pomieszczenie posiada tylko jedną przegrodę zewnętrzną. Następnie należy zwiększyć wartość wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,2}$ o poprawkę $10\lg(P)$ w dB, gdzie P oznacza liczbę przegród zewnętrznych w pomieszczeniu. Jeżeli w pomieszczeniu występują zarówno przegrody z oknami, jak i bez okien, to obliczenia poprawki można wykonać, uwzględniając wyłącznie przegrody z oknami pod warunkiem, że izolacyjność akustyczna przegród pełnych będzie zwiększona o wartość **7 dB** (jeżeli pomieszczenie posiada jedną przegrodę pełną) lub o **10 dB** (jeżeli pomieszczenie posiada więcej niż jedną przegrodę zewnętrzną pełną).

6. Dopuszczalny poziom hałasu

W celu uwzględnienia w procesie projektowania i realizacji obiektów ogólnych zapisów dotyczących ochrony przed hałasem, zawartych w Ustawie Prawo Budowlane [1] oraz Ustawie Prawo ochrony środowiska [2], konieczne jest posługiwanie się obiektywnymi wskaźnikami pozwalającymi na ocenę hałasu. Poniżej przedstawiono takie parametry.

6.1. Dopuszczalny poziom hałasu w środowisku

Zgodnie z Ustawą z dnia 27 kwietnia 2001 roku Prawo Ochrony Środowiska [2], dział V poświęcony ochronie przed hałasem Art. 112 „Ochrona przed hałasem polega na zapewnieniu jak najlepszego stanu akustycznego środowiska, w szczególności poprzez:

- 1) utrzymanie poziomu hałasu poniżej dopuszczalnego lub co najmniej na tym poziomie;
- 2) zmniejszanie poziomu hałasu co najmniej do dopuszczalnego, gdy nie jest on dotrzymany.”

Zgodnie z ustawą, do prowadzenia długookresowej polityki w zakresie ochrony środowiska przed hałasem, w szczególności do sporządzania map akustycznych oraz programów ochrony środowiska przed hałasem, stosuje się wskaźniki hałasu L_{DWN} i L_N :

- L_{DWN} – długookresowy średni poziom dźwięku A wyrażony w decybelach (dB), wyznaczony w ciągu wszystkich dób w roku, z uwzględnieniem pory dnia (rozumianej jako przedział czasu od godziny 6⁰⁰ do 18⁰⁰), pory wieczoru (rozumianej jako przedział czasu od godziny 18⁰⁰ do 22⁰⁰) oraz pory nocy (rozumianej jako przedział czasu od godziny 22⁰⁰ do 6⁰⁰),
- L_N – długookresowy średni poziom dźwięku A wyrażony w decybelach (dB), wyznaczony w ciągu wszystkich pór nocy w roku (rozumianych jako przedział czasu od godziny 22⁰⁰ do 6⁰⁰).
- Do ustalania i kontroli warunków korzystania ze środowiska w odniesieniu do jednej doby mające zastosowanie wskaźniki hałasu L_{AeqD} i L_{AeqN} :
- L_{AeqD} – równoważny poziom dźwięku A dla pory dnia (rozumianej jako przedział czasu od godz. 6⁰⁰ do godz. 22⁰⁰),
- L_{AeqN} – równoważny poziom dźwięku A dla pory nocy (rozumianej jako przedział czasu od godz. 22⁰⁰ do godz. 6⁰⁰).

W rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku [Dz.U. 2007 nr 120, poz. 826], ze zmianami [4] określone zostały wartości dopuszczalnych poziomów hałasu. Wartości dopuszczalne wyrażone są wskaźnikami hałasu L_{DWN} , L_N , L_{AeqD} i L_{AeqN} w zależności od rodzaju przeznaczenia terenu, rodzaju obiektu lub działalności będącej źródłem hałasu oraz okresu, do którego odnoszą się poziomy hałasu, jako czas odniesienia.

Tablica 14. Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez poszczególne grupy źródeł hałasu, z wyłączeniem hałasu powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne, wyrażone wskaźnikami L_{AeqD} i L_{AeqN} , które to wskaźniki mają zastosowanie do ustalania i kontroli warunków korzystania ze środowiska, w odniesieniu do jednej doby [2]

Lp.	Rodzaj terenu	Dopuszczalne poziomy hałasu w [dB]			
		Drogi lub linie kolejowe ¹⁾		Pozostałe objekty i działalność będąca źródłem hałasu	
		L_{AeqD} przedział czasu odniesienia równy 16 godzinom	L_{AeqN} przedział czasu odniesienia równy 8 godzinom	L_{AeqD} Przedział czasu odniesienia równy 8 najmniej korzystnym godzinom dnia kolejno po sobie następującym	L_{AeqN} Przedział czasu odniesienia równy 1 najmniej korzystnej godzinie nocy
1	a) Strefa ochronna „A” uzdrowiska b) Tereny szpitali poza miastem	50	45	45	40
2	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej b) Tereny zabudowy związanej ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży ²⁾ c) Tereny domów opieki społecznej d) Tereny szpitali w miastach	61	56	50	40
3	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego b) Tereny zabudowy zagrodowej c) Tereny rekreacyjno – wypoczynkowe ²⁾ d) Tereny mieszkaniowo - usługowe	65	56	55	45
4	Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. Mieszkańców ³⁾	68	60	55	45

Objaśnienia

- ¹⁾ Wartości określone dla dróg i linii kolejowych stosuje się także dla torowisk tramwajowych poza pasem drogowym i kolei linowych.
- ²⁾ W przypadku niewykorzystywania tych terenów, zgodnie z ich funkcją, w porze nocy, nie obowiązuje na nich dopuszczalny poziom hałasu w porze nocy
- ³⁾ Strefa śródmiejska miast powyżej 100 tys. mieszkańców to teren zwartej zabudowy mieszkaniowej z koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych. W przypadku miast, w których występują dzielnice o liczbie mieszkańców powyżej 100 tys., można wyznaczyć w tych dzielnicach strefę śródmiejską, jeżeli charakteryzuje się ona zwartą zabudową mieszkaniową z koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych.

Tablica 15. Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne, wyrażone wskaźnikami L_{AeqD} i L_{AeqN} , które to wskaźniki mają zastosowanie do ustalania i kontroli warunków korzystania ze środowiska, w odniesieniu do jednej doby [2]

Lp.	Rodzaj terenu	Dopuszczalne poziomy hałasu w [dB]			
		Starty, lądowania i przeloty statków powietrznych		Linie elektroenergetyczne	
		L_{AeqD} przedział czasu odniesienia równy 16 godzinom	L_{AeqN} przedział czasu odniesienia równy 8 godzinom	L_{AeqD} Przedział czasu odniesienia równy 16 godzinom	L_{AeqN} przedział czasu odniesienia równy 8 godzinom
1	a) Strefa ochronna „A” uzdrowiska b. Tereny szpitali, domów opieki społecznej c) Tereny zabudowy związanej ze stałym i czasowym pobytem dzieci i młodzieży ¹⁾	55	45	45	40
2	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej jedno- i wielorodzinnej oraz zabudowy zagrodowej i zamieszkania zbiorowego b) Tereny rekreacyjno – wypoczynkowe ¹⁾ Tereny zabudowy związanej ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży ²⁾ c) Tereny mieszkaniowo - usługowe d) Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców ²⁾	60	50	50	45

Objaśnienia

- ¹⁾ W przypadku niewykorzystania tych terenów, zgodnie z ich funkcją, w porze nocy nie obowiązuje na nich dopuszczalny poziom hałasu w porze nocy.
- ²⁾ Strefa śródmiejska miast powyżej 100 tys. mieszkańców to teren zwartej zabudowy mieszkaniowej z koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych. W przypadku miast, w których występują dzielnice o liczbie mieszkańców powyżej 100 tys., można wyznaczyć w tych dzielnicach strefę śródmiejską, jeżeli charakteryzuje się ona zwartą zabudową mieszkaniową z koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych.

Tablica 16. Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez poszczególne grupy źródeł hałasu, z wyłączeniem hałasu powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne, wyrażone wskaźnikami L_{DWN} i L_N , które to wskaźniki mają zastosowanie do prowadzenia długookresowej polityki w zakresie ochrony przed hałasem [2]

Lp.	Rodzaj terenu	Dopuszczalny długookresowy średni poziom dźwięku A w dB			
		Drogi lub linie kolejowe ¹⁾		Pozostałe objekty i działalność będąca źródłem hałasu	
		L_{DWN} przedział czasu odniesienia równy wszystkim dobom w roku	L_N przedział czasu odniesienia równy wszystkim porom nocy	L_{DWN} przedział czasu odniesienia równy wszystkim dobom w roku	L_N przedział czasu odniesienia równy wszystkim porom nocy
1	a. Strefa ochronna „A” uzdrowiska b. Tereny szpitali poza miastem	50	45	45	40
2	a. Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej b. Tereny zabudowy związanej ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży c. Tereny domów opieki społecznej d) tereny szpitali w miastach	64	59	50	40
3	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego b) Tereny zabudowy zagrodowej c) Tereny rekreacyjno – wypoczynkowe d) Tereny mieszkaniowo - usługowe	68	59	55	45
4	Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców ²⁾	70	65	55	45

Objaśnienia

- ¹⁾ Wartości określone dla dróg i linii kolejowych stosuje się także dla torowisk tramwajowych poza pasem drogowym i kolei linowych.
- ²⁾ Strefa śródmiejska miast powyżej 100 tys. mieszkańców to teren zwartej zabudowy mieszkaniowej z koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych. W przypadku miast, w których występują dzielnice o liczbie mieszkańców powyżej 100 tys., można wyznaczyć w tych dzielnicach strefę śródmiejską, jeżeli charakteryzuje się ona zwartą zabudową mieszkaniową z koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych.

Tablica 17. Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne, wyrażone wskaźnikami L_{DWN} i L_N , które to wskaźniki mają zastosowanie do prowadzenia długookresowej polityki w zakresie ochrony przed hałasem [2]

Lp.	Rodzaj terenu	Dopuszczalne poziomy hałas w [dB]			
		Starty, lądowania i przeloty statków powietrznych		Linie elektroenergetyczne	
		L_{DWN} przedział czasu odniesienia równy wszystkim dobom w roku	L_N przedział czasu odniesienia równy wszystkim porom nocy	L_{DWN} przedział czasu odniesienia równy wszystkim dobom w roku	L_N przedział czasu odniesienia równy wszystkim porom nocy
1	a) Strefa ochronna „A” uzdrowiska b. Tereny szpitali, domów opieki społecznej c) Tereny zabudowy związanej ze stałym i czasowym pobytem dzieci i młodzieży	55	45	45	40
2	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej jedno- i wielorodzinnej oraz zabudowy zagrodowej i zamieszkania zbiorowego b) Tereny rekreacyjno – wypoczynkowe c) Tereny zabudowy związanej ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży d) Tereny mieszkaniowo - usługowe e) Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców ¹⁾	60	50	50	45

Objaśnienia

¹⁾ Strefa śródmiejska miast powyżej 100 tys. mieszkańców to teren zwartej zabudowy mieszkaniowej z koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych. W przypadku miast, w których występują dzielnice o liczbie mieszkańców powyżej 100 tys., można wyznaczyć w tych dzielnicach strefę śródmiejską, jeżeli charakteryzuje się ona zwartą zabudową mieszkaniową z koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych.

6.2. Dopuszczalny poziom hałasu w budynku

Wartości dopuszczalnego poziomu hałasu w budynku przyjmować należy wg PN-B-02151-02 Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach - Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach [8] przywołanej w zakresie ochrony przed hałasem przez Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. 2002, Nr 75, poz. 690) [3].

Równoważny poziom dźwięku A hałasu przenikającego do pomieszczenia łącznie od wszystkich źródeł hałasu usytuowanych poza pomieszczeniem (w budynkach mieszkalnych – od źródeł hałasu usytuowanych poza mieszkaniem w skład którego wchodzi to pomieszczenie) nie może przekraczać wartości podanych w tablicy 18, kolumny 3 i 4. Poziom dźwięku A hałasu przenikającego do pomieszczenia oddzielnie od poszczególnych instalacji stanowiących techniczne wyposażenie budynku mieszkalnego, nie regulowanych i nie wyłączanych z danego pomieszczenia (w przypadku budynku mieszkalnego – z danego mieszkania) oraz od poszczególnych urządzeń i instalacji działających w pomieszczeniach nie związanych funkcjonalnych z danym budynkiem lub zlokalizowanych na zewnątrz budynku w terenie lub innych

obiektach nie może przekraczać wartości podanych w tablicy 18:

- przy hałasie ustalonym: średni poziom dźwięku A (L_{Am}) nie może przekraczać wartości podanych w kolumnie 5 i 6,
- przy hałasie nieustalonym: równoważny poziom dźwięku A (L_{Aeq}) nie może przekraczać wartości podanych w kolumnie 5 i 6 oraz maksymalny poziom dźwięku A (L_{Amax}) nie może przekraczać wartości podanych w kolumnie 7 i 8.

Jeżeli pomieszczenia, dla których podano wymagania wyłącznie dla pory dnia, są użytkowane również w nocy (zgodnie ze swym przeznaczeniem), wówczas wymagania dla tych pomieszczeń należy traktować jako niezależne od pory doby, przyjmując wartości dopuszczalne dla pory nocy jak dla dnia.

Wymagania podane w tablicy 18 dotyczą pomieszczeń, w których spełnione są odpowiednie warunki:

- zamknięte drzwi i okna w pomieszczeniu,
- zapewnienie wymiany powietrza w pomieszczeniu,
- pomieszczenia powinny być umeblowane zgodnie z ich przeznaczeniem.

Tablica 18. Dopuszczalny poziom dźwięku A w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania ludzi, dB [8]

Lp.	Przeznaczenie pomieszczenia	Dopuszczalny równoważny poziom dźwięku A hałasu przenikającego do pomieszczenia od wszystkich źródeł hałasu łącznie L_{Aeq} , dB		Dopuszczalny poziom dźwięku A hałasu przenikającego do pomieszczenia od wyposażenia technicznego budynku oraz innych urządzeń w budynku i poza budynkiem			
				Średni poziom dźwięku A (L_{Am}) (przy hałasie ustalonym ¹) lub równoważny poziom dźwięku A, (L_{Aeq}) przy hałasie nieustalonym ² , dB		Maksymalny poziom dźwięku A (L_{Amax}), przy hałasie nieustalonym ² , dB	
		w dzień	w nocy	w dzień	w nocy	w dzień	w nocy
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Pomieszczenia mieszkalne w budynkach mieszkalnych, internatach, domach rencistów, domach dziecka, hotelach kategorii S i I, hotelach robotniczych	40	30	35	25	40	30
2	Kuchnie i pomieszczenia sanitarne w mieszkaniach	45	40	40	40	45	45
3	Pokoje w hotelach kategorii II i niższych	45	35	40	30	45	35
4	Pokoje w domach wczasowych	40-45 ³⁾	30-35 ³⁾	35-40	25-30	40-45 ³⁾	30-35 ³⁾
5	Pokoje chorych w szpitalach i sanatoriach z wyjątkiem pokoi w oddziałach intensywnej opieki medycznej	35	30	30	25	35	30
6	Pomieszczenia łóżkowe w oddziałach intensywnej opieki medycznej	30	30	25	25	30	30
7	Sale operacyjne, pokoje przygotowania chorych do operacji	35	-	30	-	35	-
8	Gabinety badań lekarskich w przychodniach i szpitalach, pomieszczenia psychoterapii	35	-	30	-	35	-

9	Pokoje lekarskie, pielęgniarskie oraz inne pomieszczenia szpitalne (z wyjątkiem działów technicznych i gospodarczych)	40	30	35	25	40	35
10	Laboratoria medyczne, pokoje recepturowe w aptekach	40	-	35	-	40	-
11	Pokoje dla dzieci w żłobkach, klasy w przedszkolach	35	-	30	-	35	-
12	Klasy i pracownie szkolne (z wyjątkiem pracowni zajęć technicznych), sale wykładowe, audytorium	40	-	35	-	40	-
13	Sale konferencyjne	40	-	35	-	40	-
14	Pomieszczenia do pracy umysłowej wymagającej silnej koncentracji i uwagi	35	-	30	-	35	-
15	Pomieszczenia administracyjne bez wewnętrznych źródeł hałasu	40	-	35	-	40	-
16	Pomieszczenia administracyjne z wewnętrznymi źródłami hałasu, pomieszczenia administracyjne w obiektach tymczasowych	45	-	40	-	45	-
17	Sale zajęć w domach kultury	35-45 ⁴⁾	-	30-40	-	40-50 ⁴⁾	-
18	Sale kawiarniane i restauracyjne	50	-	45	-	- ⁵⁾	-
19	Sale sklepowe	50	-	45	-	- ⁵⁾	-

¹⁾ Np. pochodzącymi od centralnego ogrzewania, wentylacji, stacji transformatorowych.
²⁾ Np. pochodzący od urządzeń dźwigowych, z zyspów śmieciowych.
³⁾ Należy przyjmować indywidualnie w podanych granicach w zależności od kategorii obiektu.
⁴⁾ Należy przyjmować indywidualnie w podanych granicach w zależności od rodzaju zajęć.
⁵⁾ Nie normalizuje się wartości maksymalnych.

Tablica 19. Dopuszczalny poziom dźwięku A w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania ludzi, dB [8]

Lp	Przeznaczenie, charakter pracy urządzenia	Dopuszczalny maksymalny poziom dźwięku A, (L_{Amax}), dB, w odległości 1 m od urządzenia
1	2	3
1	Węzeł cieplny, hydrofornia. Praca pompy, działanie zaworów.	65
2	Transformatorownia, praca transformatora przy minimalnych występujących wartościach obciążenia	62
3	Maszynownia dźwigu. Praca zespołu napędowego	65
4	Przestrzeń nad dachem budynku, praca wentylatora dachowego	65 ¹⁾

¹⁾ Wymaganie dotyczy przypadku, gdy hałas pochodzący od wentylatora przenika do pomieszczenia wyłącznie przez instalację wentylacyjną. W przypadku gdy hałas wentylatora może przenikać do pomieszczeń danego lub innego budynku przez okna, wówczas dopuszczalny poziom dźwięku A w odległości 1 m od wentylatora należy ustalać indywidualnie w zależności od możliwych do zastosowania w konkretnym przypadku zabezpieczeń akustycznych, lecz nie większy niż 65 dB.

W pomieszczeniach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego oraz szpitalach i sanatoriach jako czas oceny T należy przyjmować nieprzerwanie 8 najniekorzystniejszych godzin w ciągu dnia (między 6⁰⁰ a 22⁰⁰) i nieprzerwanie pół

godziny w ciągu nocy (między 22⁰⁰ a 6⁰⁰). W pomieszczeniach budynków użyteczności publicznej jako czas oceny T należy przyjmować czas, w którym pomieszczenie używane jest przez daną grupę ludzi zgodnie z jego przeznaczeniem. Jeżeli pomieszczenie wykorzystywane jest w czasie dłuższym niż 8 godzin, jako czas oceny należy przyjmować 8 najniekorzystniejszych godzin niezależnie od pory doby.

Pomiary kontrolne hałasu w pomieszczeniach w budynku przeprowadza się zgodnie z wymaganiami normy PN-B-02156:1987 [22].

7. Weryfikacja pomiarowa izolacyjności akustycznej

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [3] powołuje normy konieczne do wyznaczenia izolacyjności akustycznej na drodze pomiarowej. Poniższe normy dotyczą pomiarów terenowych mających na celu określenie izolacyjności akustycznej w budynku. Uzyskane wyniki pozwalają określić stopień ochrony przeciwdźwiękowej użytkowników budynku oraz porównać wartości jednoliczbowe wskaźników z wymaganiami normy [10].

PN-EN ISO 140-4:2000 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary terenowe izolacyjności od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami [23],

PN-EN ISO 140-5:1999 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary terenowe izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych ściany zewnętrznej i jej elementów [24],

PN-EN ISO 140-6:1999 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary laboratoryjne izolacyjności od dźwięków uderzeniowych stropów [25],

PN-EN ISO 140-7:2000 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary terenowe izolacyjności od dźwięków uderzeniowych stropów [26],

PN-EN ISO 140-8:1999 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary laboratoryjne tłumienia dźwięków uderzeniowych przez podłogi na masywnym stropie wzorcowym [27],

PN-EN ISO 140-12:2001 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Część 12: Pomiar laboratoryjny izolacyjności od dźwięków powietrznych i uderzeniowych podniesionej podłogi pomiędzy dwoma sąsiednimi pomieszczeniami [28],

PN-EN 20140-3:1999 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary laboratoryjne izolacyjności od dźwięków powietrznych elementów budowlanych [29],

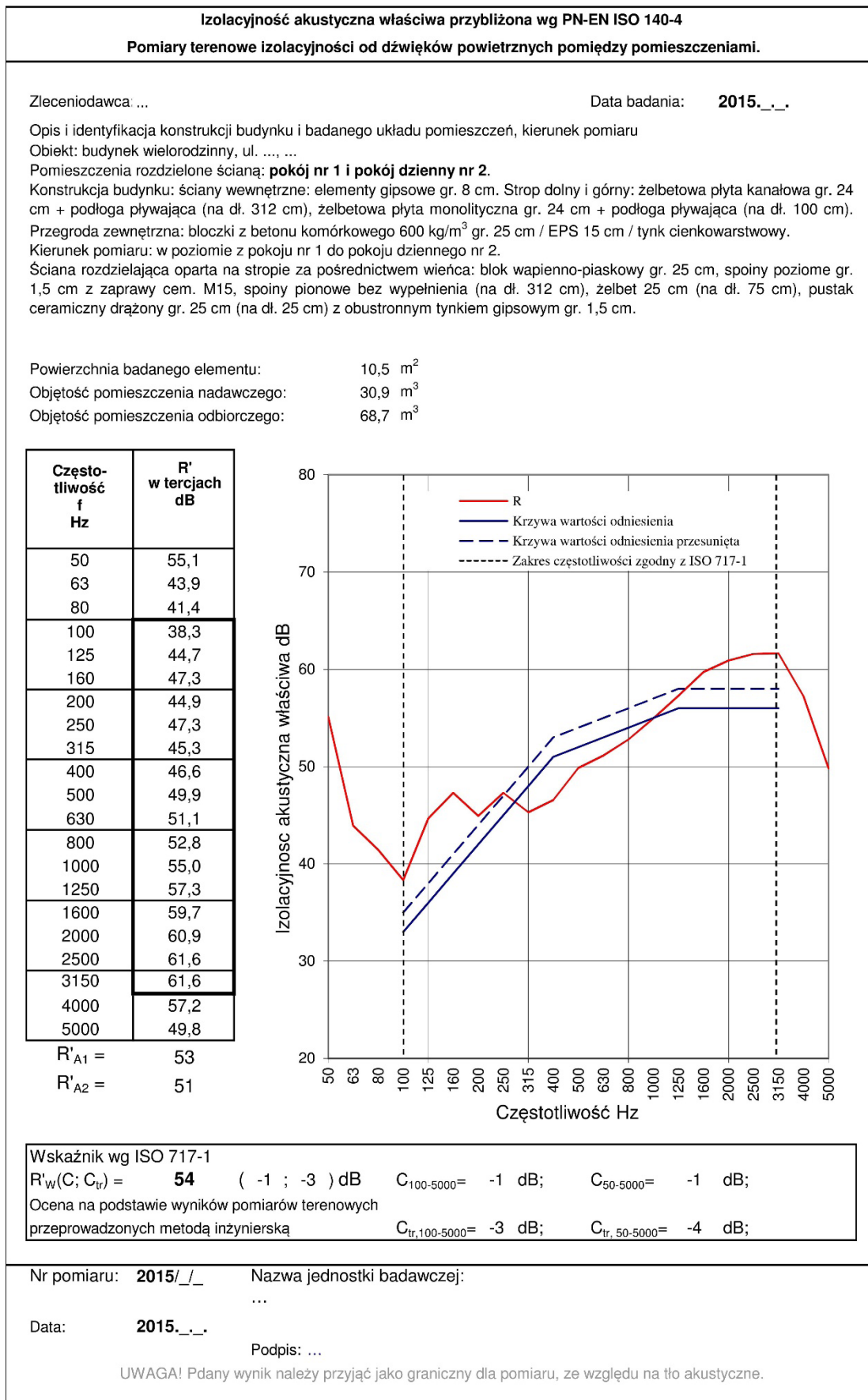
PN-EN 20140-9:1998 Akustyka – Pomiary izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiar laboratoryjny izolacyjności od dźwięków powietrznych, dla sufitów podwieszonych z przestrzenią nad sufitem, mierzonej pomiędzy dwoma sąsiednimi pomieszczeniami [30],

PN-EN 20140-10:1994 Akustyka – Pomiary izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary laboratoryjne izolacyjności od dźwięków powietrznych małych elementów budowlanych [31].

Część norm powołanych w rozporządzeniu [3] została zastąpiona poprzez znowelizowane arkusze lub zupełnie nowe normy. W kolejnych nowelizacjach warunków technicznych powyższy fakt zapewne zostanie uwzględniony i wówczas jednostki wykonujące pomiary izolacyjności akustycznej powinny wykonywać je zgodnie z aktualnie przywołaną metodyką.

Na rysunku 14 przedstawiono przykładową kartę pomiarową dotyczącą badań terenowych. Forma karty pomiarowej określona jest przez odpowiedni arkusz normy i powinna zawierać wszystkie informacje niezbędne w celu identyfikacji i interpretacji wyniku badań. w tym w szczególności:

- powołanie się na odpowiedni arkusz normy pomiarowej,
- nazwę i adres instytucji wykonującej pomiary,
- datę pomiaru,
- opis i identyfikację konstrukcji budowlanej i badanego układu pomieszczeń,
- objętość pomieszczenia nadawczego i odbiorczego,
- powierzchnię badanej przegrody (jeżeli pomiary dotyczą parametru R'),
- wyniki pomiaru w poszczególnych pasmach częstotliwości 1/3 oktaowych lub oktaowych np.: R' , D_{nT} , L'_{n} (postaci tabelarycznej i wykresu),
- wartość jednoliczbowego wskaźnika parametru, którego dotyczy pomiar, np.: $R'_{w'}$, $D_{nT,w}$, $L'_{n,w}$ (w przypadku pomiaru izolacyjności od dźwięków powietrznych wartości widmowych wskaźników adaptacyjnych C i $C_{t,r}$).



Rys. 14. Przykładowa karta pomiarowa dotycząca badań terenowych izolacyjności od dźwięków powietrznych

Fotografie 1 i 2 przedstawiają przykładowe sytuacje dotyczące pomiarów terenowych. Niejednokrotnie pomimo

dołożenia wszelkich starań nie udaje się doprowadzić do sytuacji, aby w trakcie pomiarów badane pomieszczenia posiadały zamontowaną kompletną stolarkę drzwiową, progi drzwiowe oraz inne elementy mogące w znaczący sposób wpływać na transmisję energii akustycznej pomiędzy pomieszczeniami. W trakcie pomiarów należy zwrócić szczególną uwagę na tego typu niedociągnięcia i jeżeli nie jest możliwy montaż docelowych elementów wykończenia wewnątrz, to konieczne jest zabezpieczenie tych dróg przenoszenia energii akustycznej w sposób adekwatny do potrzeb.



Fot. 1 Prowizoryczne uszczelnienie dolnej części skrzydła drzwiowego za pomocą płyt z twardej wełny mineralnej w celu ograniczenia przenikania drogą przez korytarz energii akustycznej



Fot. 2 Prowizoryczne zabezpieczenie otworu drzwiowego płytą GK podczas pomiarów izolacyjności akustycznej, ze względu na brak zamontowanej stolarki drzwiowej wewnątrz mieszkania

Na zdjęciach 3a i b przedstawiono widok pomieszczeń w trakcie realizacji terenowych pomiarów izolacyjności od dźwięków powietrznych.

a)



b)



Fot. 3. Widok pomieszczeń w trakcie realizacji terenowych pomiarów izolacyjności od dźwięków powietrznych:

a) widok pomieszczenia nadawczego z usytuowanym źródłem dźwięku o charakterystyce kulistej oraz mikrofonem pomiarowym służącym do rejestracji poziomu ciśnienia akustycznego, b) widok pomieszczenia odbiorczego

8. Problemy akustyczne występujące w budownictwie

Problemy dotyczące niewystarczającej ochrony akustycznej w budynkach wynikają zasadniczo z następujących przyczyn:

- błędy projektowe (brak uwzględnienia zagadnień związanych z akustyką budowlaną w projekcie lub zbyt późne ich uwzględnienie, co uniemożliwia optymalne zastosowanie całego wachlarza możliwych rozwiązań, nieuwzględnienie dróg pośrednich przenikania dźwięku),
- błędy wykonawcze (wynikające z braku wiedzy lub oszczędności, ale także obiektywnych trudności związanych z wybraną technologią lub rodzajem konstrukcji),
- niska jakość materiałów budowlanych (stosowanie rozwiązań o niepotwierdzonych badaniami laboratoryjnymi parametrach akustycznych).
- Prawidłowo wykonany projekt powinien uwzględnić zagadnienia z zakresu:
 - akustyki urbanistycznej,
 - akustyki budowlanej,
 - akustyki instalacyjnej.

Dodatkowo należy uwzględnić kwestie związane z kształtowaniem akustycznym wnętrza budowlanych i urbanistycznych. Poniżej, z racji obszerności problemu oraz biorąc pod uwagę główną tematykę niniejszej publikacji, przedstawiono szerzej wyłącznie zagadnienia związane z akustyką budowlaną.

Akustyka budowlana obejmuje zagadnienia związane z eliminowaniem lub ograniczaniem poziomów hałasu, powstających w pomieszczeniach lub przenikających do nich z innych pomieszczeń lub z zewnątrz, za pomocą rozwiązań budowlanych, a w szczególności przez:

- wybór odpowiedniej z punktu widzenia ochrony przed hałasem i drganiami lokalizacji budynku oraz najlepszego dla tej lokalizacji systemu konstrukcyjnego budynku,
- prawidłowe rozplanowanie pomieszczeń w budynku w stosunku do zewnętrznych i wewnętrznych źródeł hałasów i drgań,
- ograniczenie dróg rozprzestrzeniania się dźwięków materiałowych i drgań poprzez konstrukcje budynku przez stosowanie w konstrukcji budynku podłóg pływających, dylatacji lub przekładek sprężystych; wydzielenie konstrukcyjne tych części budynku, w których znajdują się źródła drgań, oraz stosowanie amortyzacji maszyn i urządzeń znajdujących się w budynku,
- ograniczenie rozprzestrzeniania się w budynku dźwięków rozchodzących się drogą powietrzną przez zastosowanie przegród o odpowiedniej izolacyjności akustycznej przy uwzględnieniu wpływu przenoszenia dźwięku drogami pośrednimi, np. przez system wentylacji,
- ograniczenie przenikania do budynku dźwięków powietrznych pochodzących z otoczenia budynku przez

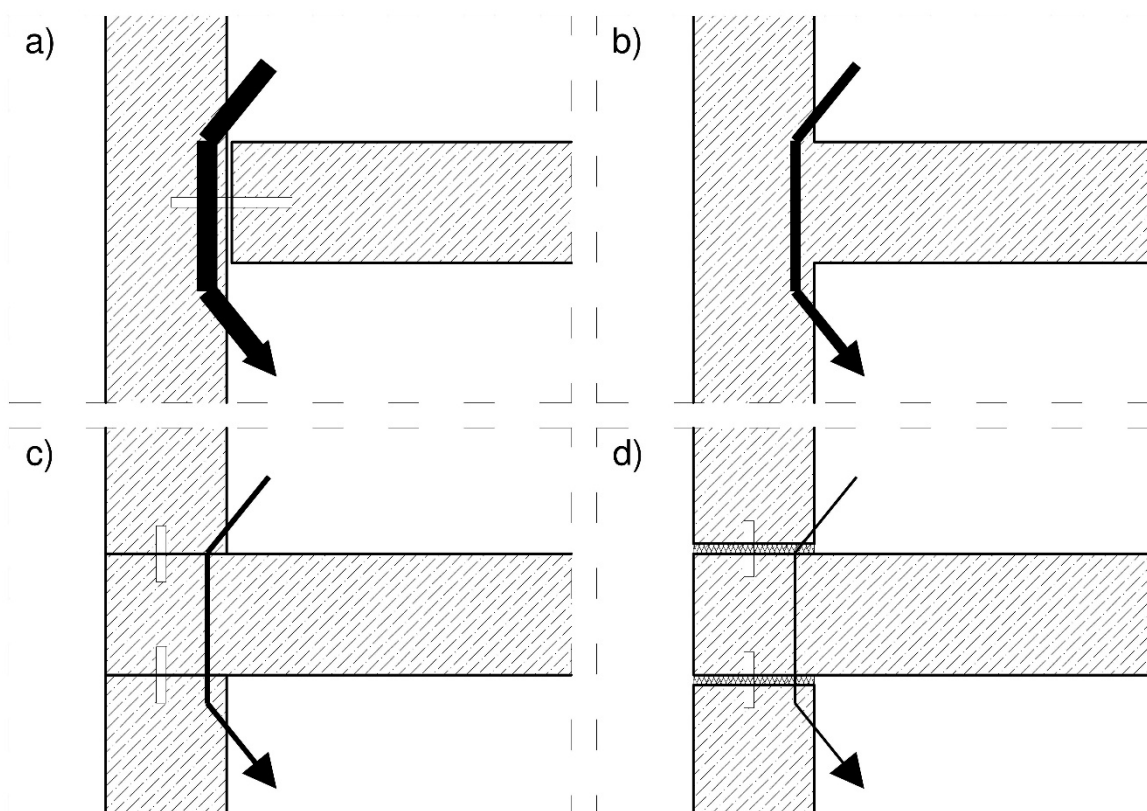
zastosowanie przegród o odpowiedniej izolacyjności akustycznej, przy racjonalnym uwzględnieniu wszystkich jej części i elementów, takich jak stolarka okienna i nawiewniki powietrza,

- izolowanie hałaśliwych maszyn i urządzeń przez zastosowanie specjalnych obudów dźwiękoszczelnych lub przegród, czy też zastosowanie odpowiednich kabin dźwiękoszczelnych, ekranów dźwiękochłonno-izolacyjnych dla personelu przebywającego w bardzo hałaśliwych pomieszczeniach (np. w zakładzie przemysłowym),
- zastosowanie materiałów i ustrojów dźwiękochłonnych do ograniczenia poziomu hałasu w pomieszczeniach o nadmiernym hałasie lub w pomieszczeniach wymagających ciszy, np. w pomieszczeniach rekreacyjnych, salach konferencyjnych.

8.1. Wpływ sposobu realizacji połączenia ściany z przegrodami bocznymi na izolacyjność akustyczną między pomieszczeniami

Poniżej zilustrowano kilka typowych przypadków dotyczących zagadnień dźwiękoizolacyjnych związanych z wykonawstwem ścian murowanych.

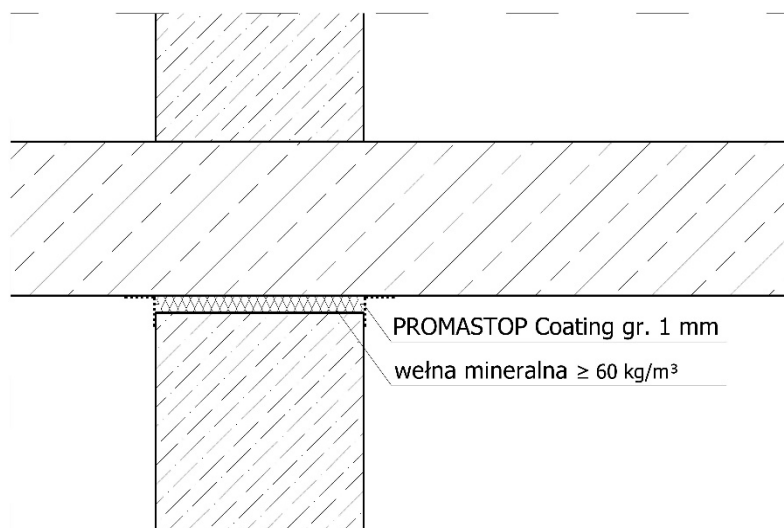
Jedną z podstawowych kwestii decydujących o dźwiękoizolacyjności między pomieszczeniami jest sposób łączenia ściany rozdzielającej pomieszczenia ze ścianami bocznymi (w tym ścianą zewnętrzną często wykonaną z materiałów lekkich typu beton komórkowy, ceramika poryzowana, drążona itp.). Na rysunku 15 a- d przedstawiono schematycznie możliwe sposoby wykonania takiego połączenia. Symbolicznie strzałką zaznaczono przenoszenie energii akustycznej drogą materiałową przez ścianę boczną (grubość linii symbolizuje wielkość przenoszenia bocznego).



Rys. 15. Schematyczne przedstawienie możliwych sposobów wykonania połączenia ściany rozdzielającej pomieszczenia ze ścianą zewnętrzną: a) na styk, b) wiązanie murarskie, c) poprzez rozdzielenie ściany zewnętrznej, d) poprzez rozdzielenie ściany zewnętrznej i umieszczenie warstwy materiału sprężystego

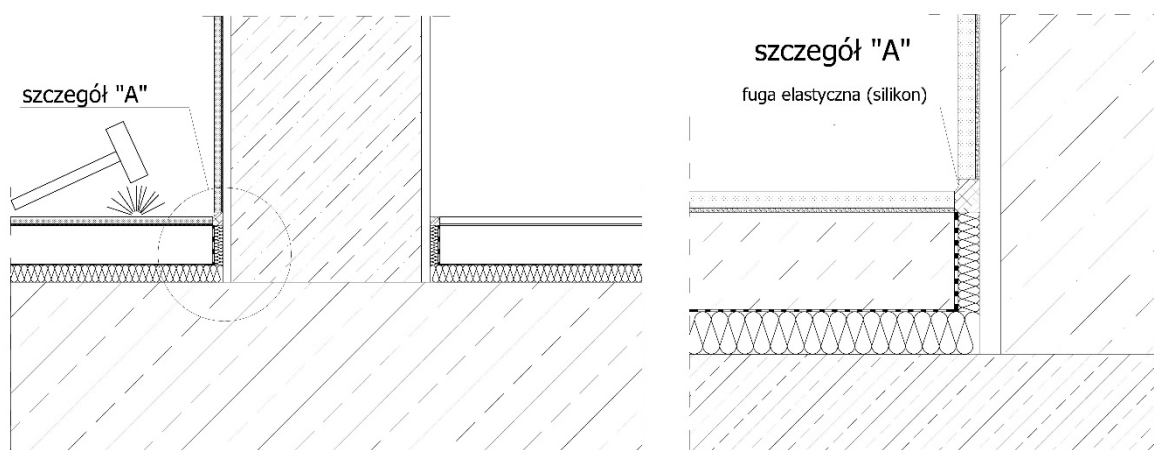
Kolejnym elementem związanym z wykonawstwem jest sposób połączenia ściany ze stropem. W przypadku ścian nośnych połączenie to jest szczelne akustycznie ze względu na fakt, że strop poprzez wieniec oparty jest na ścianie. Inaczej jest w przypadku przegród, które stanowią tylko wypełnienie przestrzeni pomiędzy stropami (konstrukcja szkieletowa). Zachodzi wówczas konieczność pozostawienia szczeliny podstropowej. Prawidłowo zaprojektowana szczelina pozwala na ugięcie się stropu, tak aby nie oparł się na ostatniej warstwie muru. Najczęściej wysokość szczeliny wynosi 1,5-2 cm.

Wypełnienie szczeliny powinno być elastyczne i jednocześnie szczelnie wypełnić całą przestrzeń podstropową. Warunki te spełnia wełna mineralna o gęstości min. 60 kg/m^3 oraz specjalne pianki niskorozprężne o zwiększonej gęstości (np. Soudal Flexi Foam). Pewną niewiadomą pozostaje kwestia trwałości pian, co do której nie ma tak dobrze potwierdzonych informacji jak w przypadku wełny mineralnej. Istotne jest także wykończenie warstwy wierzchniej w miejscu połączenia stropu ze ścianą. Badania wykonane przez producenta bloczków wapienno-piaskowych wskazują na bardzo dobre parametry akustyczne połączeń wykonanych za pomocą systemu PROMASTOP Coating [33]. Na rysunku 16 pokazano szczegół prawidłowo wykonanej szczeliny podstropowej.

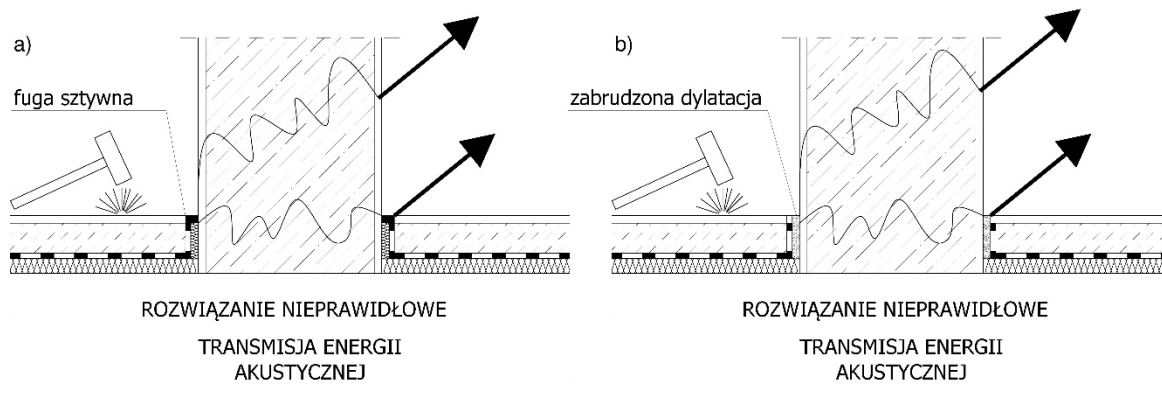


Rys. 16. Szczegół prawidłowo wykonanej szczeliny podstropowej [39]

Na izolacyjność akustyczną między pomieszczeniami duży wpływ ma sposób wykonania prac wykończeniowych. W przypadku kiedy warstwa wierzchnia podłogowa wykonana jest z płytek ceramicznych, gresowych itp., sposób wykonania fugi skrajnej pomiędzy podłogą a ścianą determinuje izolacyjność akustyczną między pomieszczeniami. Obecnie, kiedy wykończenie powierzchni podłogowej płytkami stosowane jest coraz częściej nie tylko w łazience i sanitariacie, ale także w holu i pokoju dziennym, sposób wykonania fugi staje się coraz bardziej istotny dla jakości akustycznej budynku. Nieprawidłowe wykonanie tego elementu obniża nie tylko izolacyjność od dźwięków w kierunku pionowym (przez strop), ale także od dźwięków w kierunku poziomym (przez ścianę). Powyższa uwaga dotyczy w szczególności izolacyjności od dźwięków uderzeniowych, ale może dotyczyć również zwiększenia transmisji drogami bocznymi dźwięków powietrznych. Typowym przypadkiem występowania tego typu uciążliwości jest niezalecane przez warunki techniczne [3] sytuowanie pomieszczeń sanitarnych w sąsiedztwie pomieszczeń mieszkalnych mieszkania sąsiedniego. Na rysunku 17 przedstawiono schematycznie prawidłowe rozwiązanie, natomiast na rysunku 18 przypadek niewłaściwego wykonania dylatacji obwodowej: a) wykonanie fugi sztywnej, b) zabrudzenie dylatacji obwodowej spowodowane usunięciem taśmy.

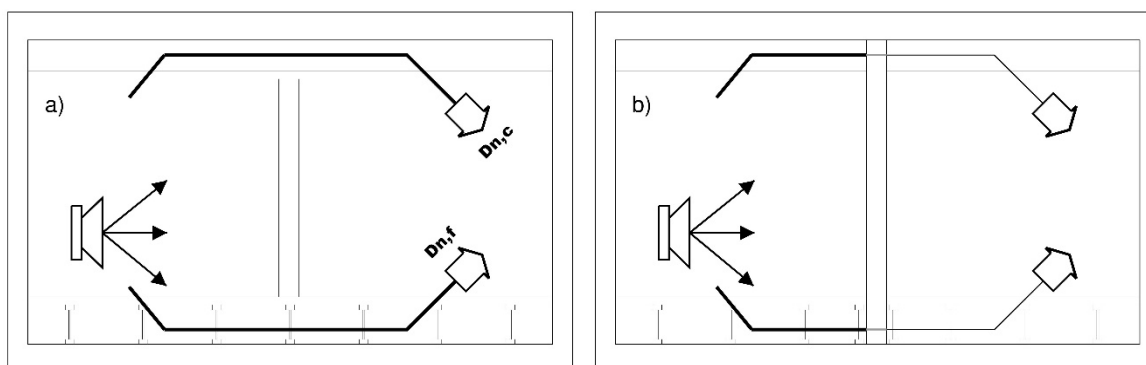


Rys. 17. Szczegół prawidłowo wykonanej fugi w postaci szczeliny dylatacyjnej wypełnionej silikonem



Rys. 18. Schematyczne przedstawienie niewłaściwego wykonania dylatacji obwodowej: a) wykonanie fugi sztywnej, b) zabrudzenie dylatacji obwodowej spowodowane usunięciem taśmy

W przypadku pomieszczeń, w których występuje podłoga pływająca i sufit podwieszony, kluczowy dla izolacyjności między pomieszczeniami jest sposób wykonania ściany rozdzielającej pomieszczenia. W przypadku ostrych wymagań dźwiękoizolacyjnych bardzo trudne jest ich osiągnięcie wyłącznie poprzez dobranie sufitu podwieszonego i podłogi pływającej o wysokiej „izolacyjności wzdłużnej” (pkt. 3.1). W większości przypadków konieczne jest oparcie ściany działowej bezpośrednio na stropie oraz wyprowadzenie jej ponad płaszczyznę sufitu podwieszonego aż do powierzchni stropu. Powyższe zagadnienie zilustrowano za pomocą rysunku 19.



Rys. 19. Schematyczne przedstawienie oparcia ściany: a) na podłodze podniesionej oraz wyprowadzenie jej do płaszczyzny sufitu podwieszonego, b) bezpośrednio na stropie oraz wyprowadzenie jej ponad płaszczyznę sufitu podwieszonego aż do powierzchni stropu (rozwiązanie zalecane w przypadku wysokich wymagań dźwiękoizolacyjnych)

8.2. Wpływ brzdowania na izolacyjność akustyczną właściwą ściany

Doświadczenia pomiarowe producentów elementów silikatowych wskazują na brak istotnego wpływu brzdowania na izolacyjność akustyczną właściwą [41]. Powyższe stwierdzenie jest w pełni uzasadnione pod warunkiem spełnienia kilku warunków:

brzdowanie pod puszki elektryczne nie będzie wykonane symetrycznie względem osi symetrii ściany (puszki będą przesunięte względem siebie po jednej i drugiej stronie ściany);

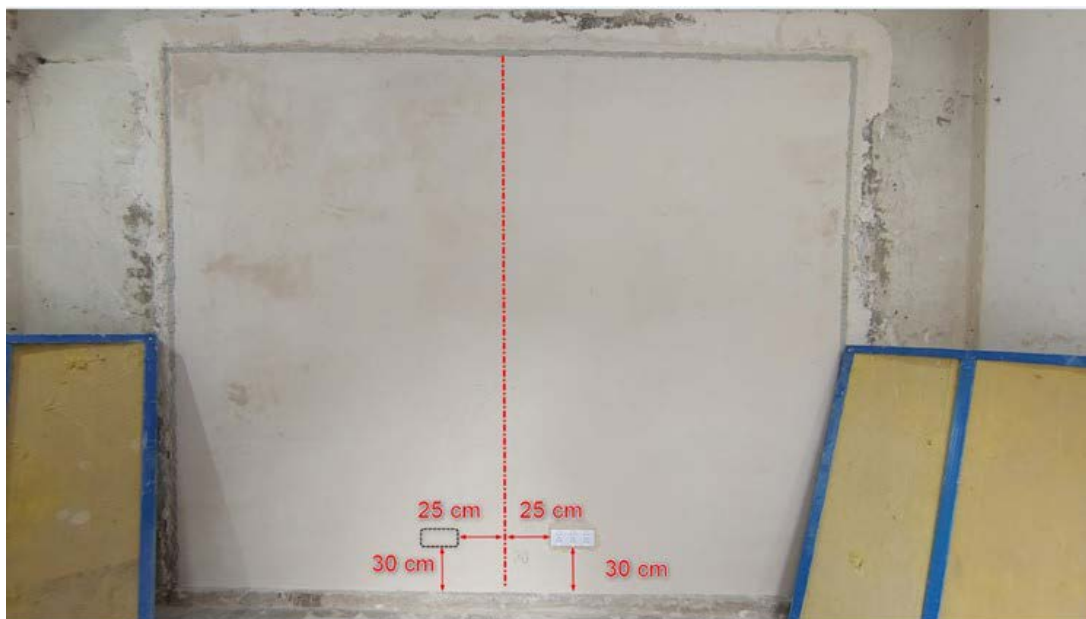
w przypadku ścian wykonanych z elementów drążonych konieczne jest wypełnienie odsłoniętych drążów za pomocą zaprawy cementowej;

w przypadku większych brzd zalecane jest wykonanie ściany o grubości 24 cm z elementów pełnych.

Na fotografiach 4 i 5 pokazano przykładową próbkę ściany wykonanej z elementów silikatowych poddaną badaniom izolacyjności akustycznej właściwej. Na zdjęciach widoczne są zamontowane gniazda elektryczne po obu stronach ściany w łącznej liczbie sześciu sztuk. Brzdowanie wykonane zostało z zachowaniem braku symetrii po obu stronach ściany, co zaznaczono na fotografiach.

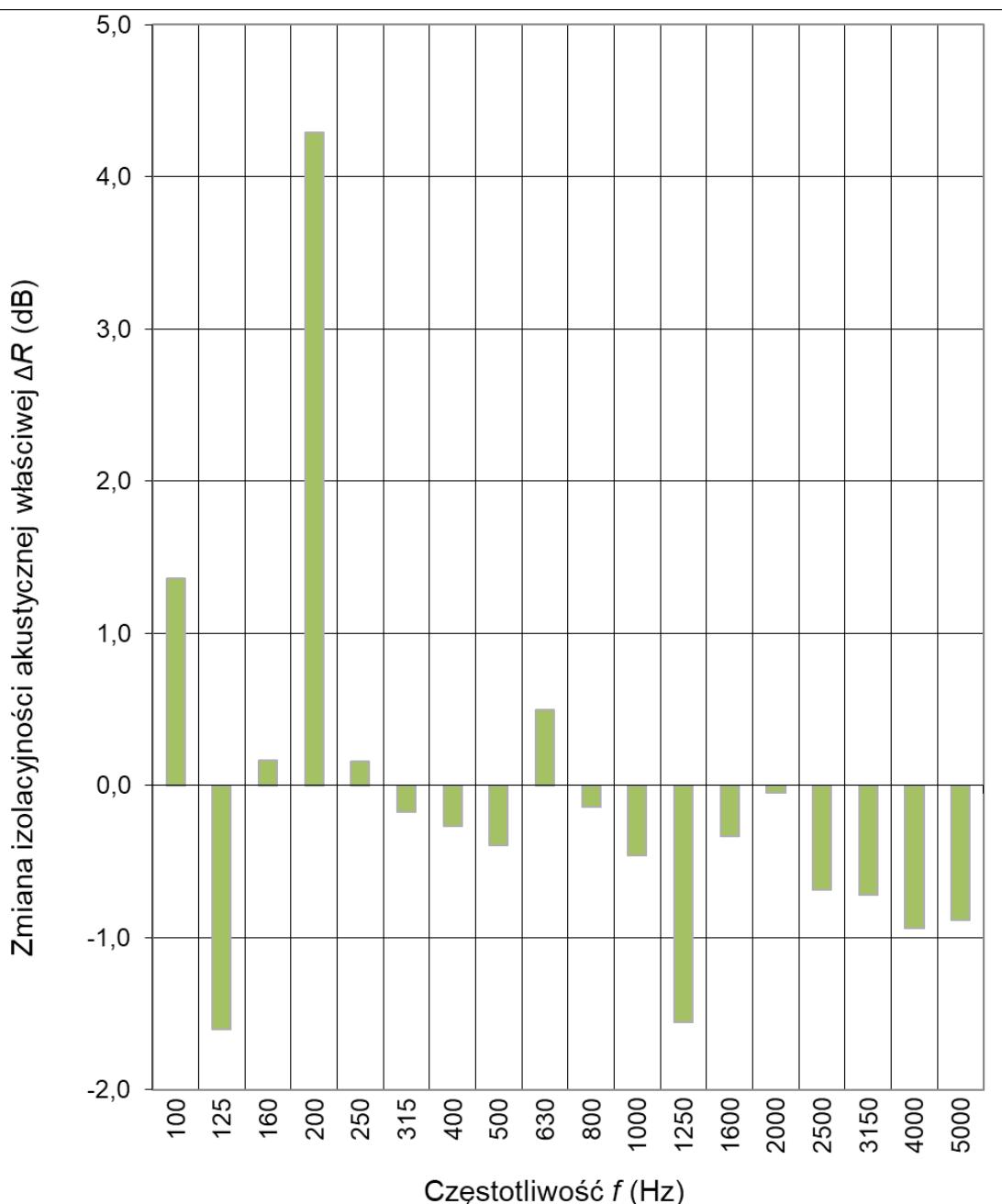


Fot. 4. Widok ściany zmodyfikowanej poprzez zamontowanie gniazd elektrycznych (widoczne gniazda elektryczne szt. 3) – widok od strony komory odbiorczej. Laboratorium Akustyki Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej [41]



Fot. 5. Widok ściany zmodyfikowanej poprzez zamontowanie gniazd elektrycznych (widoczne gniazda elektryczne szt. 3) – widok od strony komory nadawczej. Laboratorium Akustyki Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej [41]

Na rysunku 20 przedstawiono różnicę izolacyjności akustycznej właściwej ΔR przykładowej ściany z elementów silikatowych, dedykowanych do wykonywania ścian międzymieszkań. Na podstawie histogramu można stwierdzić, że dla większości częstotliwości zmiana nie przekracza wartości 1 dB. Powyższe spostrzeżenie ma swoje odzwierciedlenie w wartości wskaźników jednoliczbowych. Dla wskaźników R_w i $R_{A,1}$ nie odnotowano zmiany, natomiast paradoksalnie dla wskaźnika $R_{A,2}$ jego wartość wzrosła o 1 dB: $R_w = 0$ dB, $R_{A,1} = 0$ dB, nie odnotowano zmiany natomiast paradoksalnie dla wskaźnika $R_{A,2} = 1$ dB. Powyższy wzrost wskaźnika $R_{A,2}$ związany jest z obniżeniem częstotliwości rezonansowej ściany z 200 do 125 Hz, na co wskazują wyniki pokazane na rysunku 20.

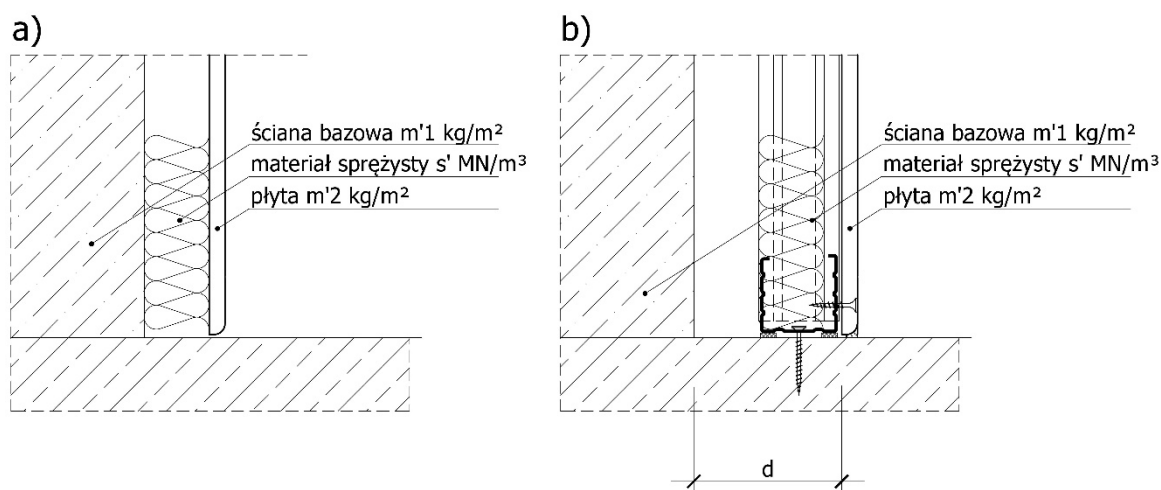


Rys. 20. Zmiana izolacyjności akustycznej właściwej w funkcji częstotliwości ściany wykonanej z elementów silikatowych po wykonaniu obustronne-go bruzdowania i montażu gniazd elektrycznych [41]

9. Możliwości poprawy izolacyjności akustycznej pomiędzy pomieszczeniami

Najczęściej spotykaną metodą poprawy izolacyjności akustycznej przegród jest wykonanie dodatkowego ustroju, takiego jak: elastycznie montowana płyta na ścianie, pływająca podłoga czy podwieszony sufit. Skuteczność powyższych metod zależy od tego, jak dobrą izolacyjnością charakteryzuje się adaptowana przegroda (im wyższa izolacyjność adaptowanej przegrody, tym trudniej ją poprawić) oraz od wielkości energii akustycznej przenoszonej drogą bezpośrednią (im większa część energii akustycznej przedostaje się do pomieszczenia odbiorczego drogami pośrednimi, tym efekt wykonania adaptacji będzie „gorszy”). W przypadku gdy dominującą drogą przenoszenia energii jest droga pośrednia, to adaptacja przegrody rozdzielającej pomieszczenia jest bezcelowa. Wśród metod dotyczących adaptacji ścian można wyróżnić dwie zasadnicze grupy [16]:

dotatkowe warstwy izolacyjne przymocowane są bezpośrednio do podstawowej konstrukcji (bez kołków lub listew) - rysunek 21a,
 ustroje na szkieletie metalowym lub drewnianym (szkielet nie może być mocowany bezpośrednio do podstawowej konstrukcji za pomocą sztywnych łączników przenoszących drgania) - rysunek 21b.



Rys. 21. Widok dodatkowego ustroju: a) bezpośredniego, b) szkieletowego

Ważony wskaźnik przyrostu izolacyjności akustycznej właściwej spowodowany obecnością dodatkowych warstw może być określany na podstawie częstotliwości rezonansowej f_0 zgodnie z tabelicą 20 [15].

Tabela 20. Przyrost ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej właściwej spowodowany obecnością ustroju (dodatkowej warstwy), w zależności od częstotliwości rezonansowej [15]

Częstotliwość rezonansowa f_0 ustroju, Hz	ΔR_w , dB
$30 \leq f_0 \leq 160$	$74,4 - 20 \lg(f_0) - R_w/2$
200	-1
250	-3
315	-5
400	-7
500	-9
630 do 1600	-10
$1600 \leq f_0 \leq 5000$	-5

Uwaga 1. Dla częstotliwości rezonansowej poniżej 200 Hz minimalna wartość ΔR_w wynosi 0 dB.
 Uwaga 2. R_w oznacza ważony wskaźnik izolacyjności akustycznej właściwej ściany lub stropu bez dodatkowych warstw, dB.

W przypadku dodatkowego ustroju bezpośrednio przymocowanego do konstrukcji (rys. 21a) wartość częstotliwości rezonansowej można określić za pomocą wzoru (35) wg PN-EN ISO 12354-1:2017-10 [16]:

$$f_0 = \frac{1000}{2 \cdot \pi} \sqrt{s' \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad (35)$$

gdzie: s' – sztywność dynamiczna warstwy izolacyjnej zgodnie z normą EN 29052-1, MN/m³,
 m'_1 – masa powierzchniowa podstawowego (bazowego) elementu konstrukcyjnego, kg/m²,
 m'_2 – masa powierzchniowa dodatkowej warstwy, kg/m².

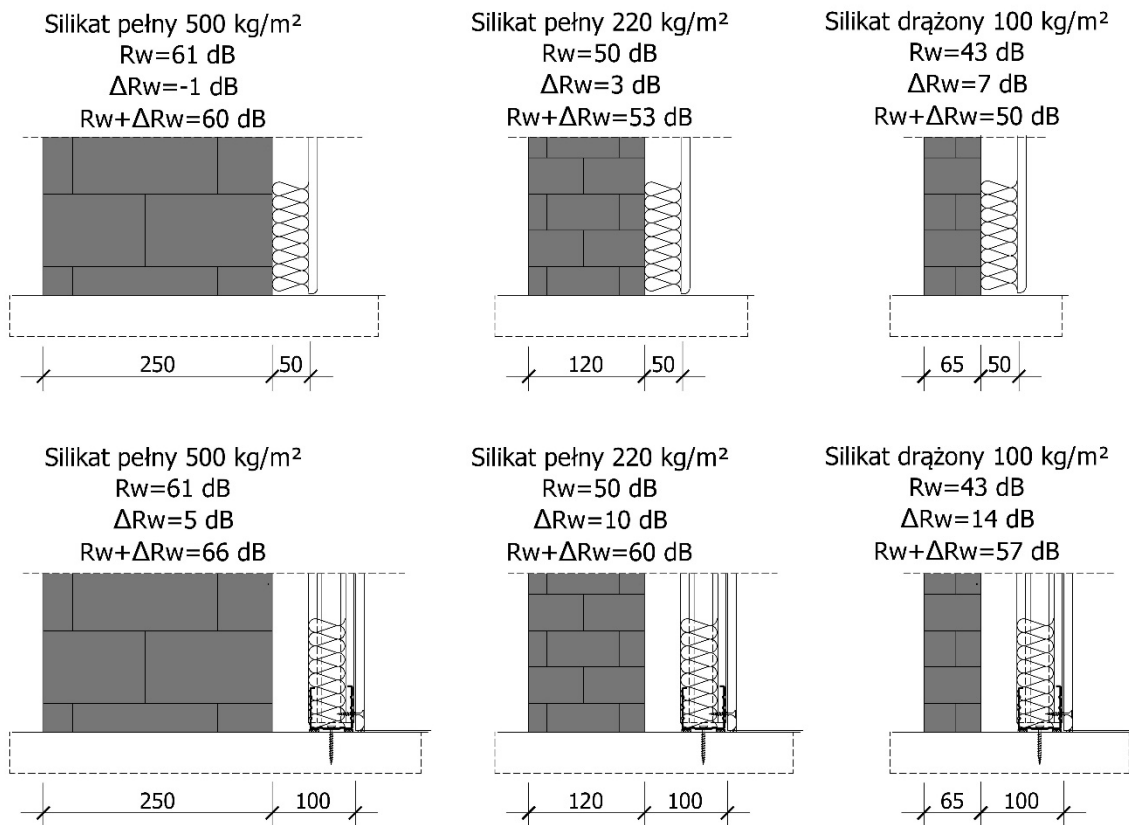
Dla dodatkowego ustroju na szkieletie metalowym lub drewnianym (rys. 21b) wartość częstotliwości rezonansowej

można określić za pomocą wzoru (33) wg PN-EN ISO 12354-1:2017-10 [16]:

$$f_0 = \frac{1000}{2 \cdot \pi} \sqrt{0,111 \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad (36)$$

gdzie: d – głębokość wnęki, m.

Na rysunku 22 pokazano przykładowe efekty osiągnięte poprzez adaptację ściany z elementów silikatowych murowych za pomocą przedstawionych wcześniej dodatkowych ustrojów rezonansowych (na podstawie obliczeń wg [16]). Wyniki adaptacji przedstawiono w postaci wskaźnika poprawy izolacyjności akustycznej właściwej ΔR_w oraz sumarycznej izolacyjności ściany bazowej z adaptacją wyrażonej poprzez $R_w + \Delta R_w$. W obliczeniach przyjęto $m'_2 = 7,1 \text{ kg/m}^2$ jak dla pojedynczej płyty GK oraz sztywność dynamiczną materiału sprężystego $s' = 7 \text{ MN/m}^3$. Należy zaznaczyć, że tak mała sztywność dynamiczna charakteryzuje najlepsze materiały sprężyste. Pomimo to dla adaptacji typu a) i ściany bazowej z grubości 18 cm z elementów silikatowych pełnych ($m'_1 \approx 500 \text{ kg/m}^2$) o bardzo wysokiej izolacyjności od dźwięków powietrznych odnotowano ujemną wartość poprawy ΔR_w , co oznacza spadek izolacyjności na skutek zastosowania adaptacji. Ta sama adaptacja, ale na ścianie z silikatowych elementów drążonych grubości 6,5 cm ($m'_1 \approx 100 \text{ kg/m}^2$) spowodowała wzrost wskaźnika R_w o 7 dB. W praktyce przed podjęciem decyzji o zastosowaniu adaptacji należy określić, jaka adaptacja jest odpowiednia z punktu widzenia adaptowanej ściany i oczekiwanych rezultatów, jak również określić możliwe przyczyny niskiej izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami.



Rys. 22. Poprawa izolacyjności akustycznej właściwej przedstawiona za pomocą wartości wskaźnika ΔR_w osiągnięta poprzez adaptację murowanej ściany ceglanej za pomocą dodatkowych ustrojów rezonansowych

10. Budynki mieszkalne o podwyższonym standardzie akustycznym wg PN-B-02151-5:2017-10 [12]

Norma PN-B-02151-5:2017-10 Akustyka budowlana -- Ochrona przed hałasem w budynkach -- Część 5: Wymagania dotyczące budynków mieszkalnych o podwyższonym standardzie akustycznym [12] wprowadzona została w celu umożliwienia klasyfikacji budynków mieszkalnych o lepszych walorach akustycznych od budynków spełniających tylko

i wyłącznie wymagania warunków technicznych [3]. Zapisy normy ustalają 5 klas akustycznych: AQ-0 do AQ-4, gdzie AQ-0 oznacza klasę najniższą, tzw. standard podstawowy, dla którego wymagania określone są jako obowiązkowe w normie PN-B-02151-02 i PN-B-02151-03. AQ-4 oznacza z kolei standard najwyższy. W codziennej praktyce często dochodzi do sytuacji, w których pomimo spełnienia wymagań dźwiękoizolacyjnych przez przegrody w budynku jego użytkownicy skarżą się na niewystarczający poziom ochrony akustycznej. W celu ilustracji problemu w tabelicy 21 przedstawiono wyniki badań w zakresie oceny procentowego udziału osób usatysfakcjonowanych komfortem akustycznym w pomieszczeniach mieszkalnych w zależności od osiągniętych wyników pomiarów izolacyjności akustycznej [40]. Porównując powyższe informacje z wymaganiami w zakresie przegród międzymieszkaniowych obowiązującymi w naszym kraju [10], wynoszącymi odpowiednio: $R'_{A,1} = 50$ dB (dla ścian) oraz $R'_{A,1} = 51$ dB i $L'_{n,w} = 55$ dB (dla stropów), należy stwierdzić, że w przypadku izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych obowiązujące wymagania gwarantują warunki akceptowalne przez ok. 30% użytkowników, natomiast w przypadku izolacyjności od dźwięków uderzeniowych odsetek ten wynosi 50% użytkowników (przy założeniu, że widmowy wskaźnik adaptacyjny C_1 dla zastosowanego rozwiązania stropu z podłogą wyniesie 0 dB).

Tablica 21. Zależność między wartościami wskaźników oceny izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych i uderzeniowych a spodziewanym odsetkiem osób uznających warunki za zadowalające [40]

Odsetek osób uznających warunki akustyczne dotyczące przenikania hałasu z mieszkań sąsiednich za zadowalające	$R'_{A,1}$ dB	$L'_{n,w} + C_1$ dB
20%	48	63
40%	53	58
60%	58	53
80%	63	48

W świetle powyższych danych, pojawienie się nowej normy [12], umożliwiającej określenie klasy akustycznej budynku, wydaje się być krokiem we właściwym kierunku. W tabelicy 22 przedstawiono zakres wymagań cząstkowych, jakie muszą być sprawdzone, aby zakwalifikować konkretny budynek mieszkalny do odpowiedniej klasy akustycznej. Sprawdzenie realizowane jest poprzez przeprowadzenie pomiarów terenowych w budynku po jego realizacji.

Tablica 22. Wymagania cząstkowe dla budynków o podwyższonym standardzie akustycznym [12]

Wymaganie cząstkowe		Rodzaj szczegółowych wymagań	Numer normy, w której podano wymagania dotyczące standardu podstawowego
Symbol wymagania	Zakres ochrony przed hałasem		
1	2	3	4
A	zewnętrznym przenikającym do pomieszczeń mieszkalnych z otoczenia budynku	minimalna izolacyjność akustyczna przegród zewnętrznych	PN-B-02151-3
B	wewnętrznym instalacyjnym pochodzącym od urządzeń stanowiących techniczne wyposażenie budynku oraz od innych źródeł hałasu, występujących w pomieszczeniach technicznych i usługowych zlokalizowanych w budynku	dopuszczalny poziom hałasu w pomieszczeniach mieszkalnych	PN-B-02151-2
C1	wewnętrznym bytowym powietrznym przenikającym do poszczególnych mieszkań z innych pomieszczeń danego budynku	minimalna izolacyjność od dźwięków powietrznych przegród oddzielających mieszkanie od pomieszczeń przyległych	PN-B-02151-3

C2	wewnętrznym bytowym uderzeniowym przenikającym do poszczególnych mieszkań z innych pomieszczeń danego budynku	dopuszczalny poziom dźwięków uderzeniowych przenikających do pomieszczeń mieszkalnych pochodzący od źródeł usytuowanych w budynku poza danym mieszkaniem	PN-B-02151-3
D	pogłosowym występującym w obszarach komunikacji ogólnej budynków wielorodzinnych	minimalna chłonność akustyczna pomieszczeń komunikacji ogólnej	-

Obiektywnie należy stwierdzić, że zakres koniecznych do przeprowadzenia badań w celu uzyskania „klasy akustycznej” jest bardzo obszerny i skutecznie zniechęca do realizacji procedury mającej na celu wyznaczenie standardu akustycznego. Wydaje się jednak, że z perspektywy producentów elementów murowych norma [12] otwiera pomimo tych niedogodności możliwość oceny ścian z wykorzystaniem zapisów dotyczących tzw. „wymagań cząstkowych”. W tabelicy 23 przedstawiono tzw. wymaganie cząstkowe dla budynków mieszkalnych dotyczące minimalnej izolacyjności od dźwięków powietrznych przegród oddzielających mieszkanie od pomieszczeń przyległych. W normie oprócz przypadku przedstawionego w tabelicy 23 w wierszu 1 uwzględniono również wymagania dla innych przypadków funkcji pomieszczeń.

Tabela 23. Wymagania cząstkowe dla budynków o podwyższonym standardzie akustycznym [12]

Lp.	Wartość wskaźnika, dB, przy wymaganiach odpowiadających poszczególnym klasom akustycznym				
	AQ-0	AQ-1	AQ-2	AQ-3	AQ-4
		$R'_{A,1}$ ^a		$R'_{A,2}$ ^a	
1	Wg PN-B-02151-3	≥53	≥56	≥59	≥62

^{a)} Jeżeli wspólna powierzchnia przegrody, S , jest mniejsza niż 10 m², wymaganie dotyczy wskaźnika oceny wzorcowej różnicy poziomów odpowiednio $D_{nT,A,1}$ ($D_{nT,A,2}$), patrz PN-B-02151-3.

11. Przykłady obliczeniowe

Poniżej przedstawiono przykłady obliczeniowe dotyczące wybranych zagadnień ujętych w niniejszym opracowaniu.

11.1. Izolacyjność akustyczna przybliżona od dźwięków powietrznych przegród wewnętrznych

Zadanie

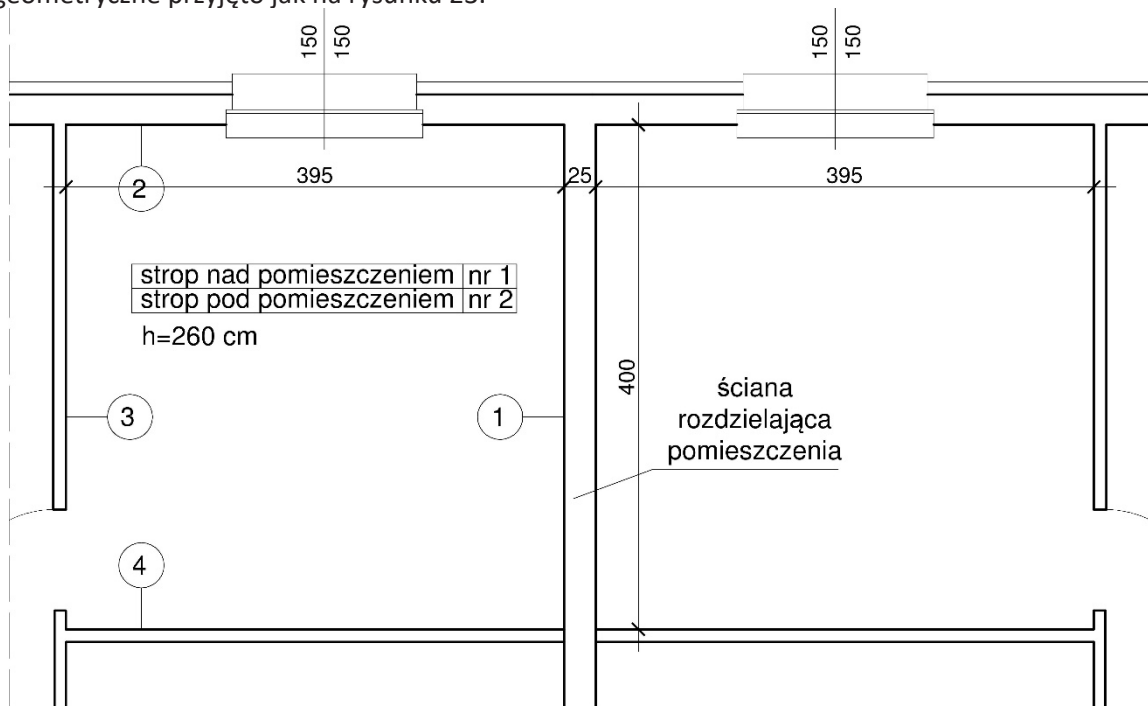
Określić za pomocą metody szacunkowej [37] wskaźnik oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,1}$ ściany oraz stropu między mieszkaniami. Wynik porównać z wymaganiami normowymi [10].

Dane:

- wysokość użytkowa mieszkania $h = 2,6$ m,
- ściana międzymieszkaniowa „1” - murowana z elementów wapienno-piaskowych pełnych gr. 25 cm, 416 kg/m² (masa bez tynku), 470 kg/m² (masa ściany z tynkiem), obustronny tynk cem.-wap. gr. 12 mm., projektowy wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej $R_{A,1,R} = 55$ dB (na podstawie materiałów technicznych [38]),
- ściana zewnętrzna „2” -: murowana z elementów wapienno-piaskowych drążonych gr. 18 cm, 277 kg/m² (masa bez tynku), 335 kg/m² (masa ściany z tynkiem), obustronny tynk cem.-wap. gr. 12 mm., projektowy wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej $R_{A,1,R} = 49$ dB (na podstawie materiałów technicznych [38]),
- okno z kształtowników PVC 4+4/16 (powietrze),
- ściana wewnętrzna „3” i „4” – murowana z elementów drążonych wapienno-piaskowych gr. 8 cm, 105 kg/m² (masa bez tynku), 162 kg/m² (masa ściany z tynkiem),

- strop żelbetowy gr. 14 cm, powierzchnia $S = 15,8 \text{ m}^2$, 336 kg/m^2 + podłoga pływająca (wełna mineralna 2 cm, sztywność dynamiczna $s' = 22 \text{ MN / m}^3$ + jastrych cementowy 4 cm, ważony wskaźnik zmniejszenia poziomu uderzeniowego $\Delta L_w = 26 \text{ dB}$ (na podstawie danych producenta), $\Delta L_{w,R} = \Delta L_w - 2 = 26 - 2 = 24 \text{ dB}$).

Dane geometryczne przyjęto jak na rysunku 23.



Rys. 23. Fragment rzutu kondygnacji powtarzalnej stanowiący informację w zakresie danych geometrycznych do przykładu obliczeniowego

Sprawdzenie izolacyjności akustycznej właściwej ściany międzymieszkaniowej

Wymagania:

$\min R'_{A,1} = 50 \text{ dB}$ (na podstawie normy [10]),

Parametry ściany:

$R_{A,1,R} = 55 \text{ dB}$ (na podstawie materiałów technicznych [38]),

$K_a = 3 \text{ dB}$ (na podst. tablicy II.1-6.3. wiersz 1.1. Instrukcji ITB nr 406/2005 [37])

na podst. wzoru (10) $\rightarrow R'_{A,1} = R_{A,1,R} - K_a = 55 - 3 = 52 \text{ dB}$.

$R'_{A,1} = 52 \text{ dB} > \min R'_{A,1} = 50 \text{ dB}$ – warunek normy spełniony

Odpowiedź

Izolacyjność akustyczna właściwa przybliżona ściany międzymieszkaniowej wyrażona wskaźnikiem $R'_{A,1}$ wyniosła 52 dB. Tym samym wymagania normy [10] należy uznać za spełnione.

Sprawdzenie izolacyjności akustycznej właściwej stropu międzymieszkaniowego

Wymagania:

$\min R'_{A,1} = 51 \text{ dB}$ (na podstawie normy [10]),

Parametry stropu:

$R_{A,1,R} = 54 \text{ dB}$ (wartość wskaźnika dla stropu z podłogą pływającą na podstawie instrukcji ITB nr 369/2002 [33]),

$K_a = 4 \text{ dB}$ (na podst. tablicy II.2-1.7. wiersz 3.2. Instrukcji ITB nr 406/2005 [37])

na podst. wzoru (10) $\rightarrow R'_{A,1} = R_{A,1,R} - K_a = 54 - 4 = 50 \text{ dB}$.

$R'_{A,1} = 50 \text{ dB} < \min R'_{A,1} = 51 \text{ dB}$ – warunek normy niespełniony

Odpowiedź

Izolacyjność akustyczna właściwa przybliżona stropu międzymieszkaniowego z podłogą pływającą wyrażona wskaźnikiem $R'_{A,1}$ wyniosła 50 dB. Tym samym wymagania normy [10] należy uznać za niespełnione. W celu spełnienia

wymagań należy przyjąć strop o wyższej dźwiękoizolacyjności.

Konkluzja

Uwzględnienie podłogi pływającej w obliczeniach izolacyjności od dźwięków powietrznych stropu obarczone jest błędem szacunkowym. Wyniki pomiarów izolacyjności od dźwięków powietrznych stropu z podłogą i bez [33] wskazują, że wpływ podłogi pływającej na poprawę wskaźnika $R_{A,1}$ waha się w granicach od 2 do 4 dB i jest zależny od dźwiękoizolacyjności stropu oraz masy powierzchniowej podłogi pływającej.

11.2. Izolacyjność akustyczna przybliżona od dźwięków uderzeniowych stropu

Sprawdzenie izolacyjności akustycznej od dźwięków uderzeniowych stropu międzymieszkaniowego

Zadanie

Określić za pomocą metody uproszczonej [17] wskaźnik ważony przybliżonego poziomu uderzeniowego znormalizowanego przybliżonego $L'_{n,w}$ stropu między mieszkaniami. Wynik porównać z wymaganiami normowymi [10]. Dane przyjęto jak w zadaniu powyżej.

Wymagania:

$\max L'_{n,w} = 55$ dB (na podstawie normy [10]),

Parametry stropu:

$L_{n,w,eq} = 77$ dB (na podst. Instrukcji ITB nr 369/2002 [33])

Średnia masa ścian obliczona na podstawie wzoru (25) i parametrów S_{bi} i m_{bi} :

$S_{b1} = 10,40$ m², $S_{b2} = 10,27 - 2,25 = 8,02$ m², $S_{b3} = 10,40 - 1,80 = 8,60$ m², $S_{b4} = 10,27$ m²

$m_{b1} = 470$ kg/m², $m_{b2} = 335$ kg/m², $m_{b3} = 162$ kg/m², $m_{b4} = 162$ kg/m²,

na podst. wzoru (25):

$$m_{b,sr} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n S_{bi}} \sum_{i=1}^n (m_{bi} \cdot S_{bi}), \quad \text{kg/m}^2$$

$$m_{b,sr} = \frac{(10,40 \cdot 470 + 8,02 \cdot 335 + 8,60 \cdot 162 + 10,27 \cdot 162)}{10,40 + 8,02 + 8,60 + 10,27} = 285 \quad \text{kg/m}^2$$

$m_{b,sr} = 285$ kg/m²,

strop $m = 336$ kg/m²,

$K = 1$ dB (na podst. tablicy 1 normy PN-EN 12354-2:2002 [17])

na podst. wzoru (24) $\rightarrow L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_{w,R} + K = 77 - 24 + 1 = 54$ dB

$L'_{n,w} \max = 55$ dB

$L'_{n,w} = 54$ dB < $L'_{n,w} \max = 55$ dB – warunek normowy spełniony.

Odpowiedź

Izolacyjność akustyczna od dźwięków uderzeniowych wyrażona wskaźnikiem ważonym przybliżonego poziomu uderzeniowego wyniosła $L'_{n,w} = 54$ dB. Tym samym wymagania normy [10] należy uznać za spełnione.

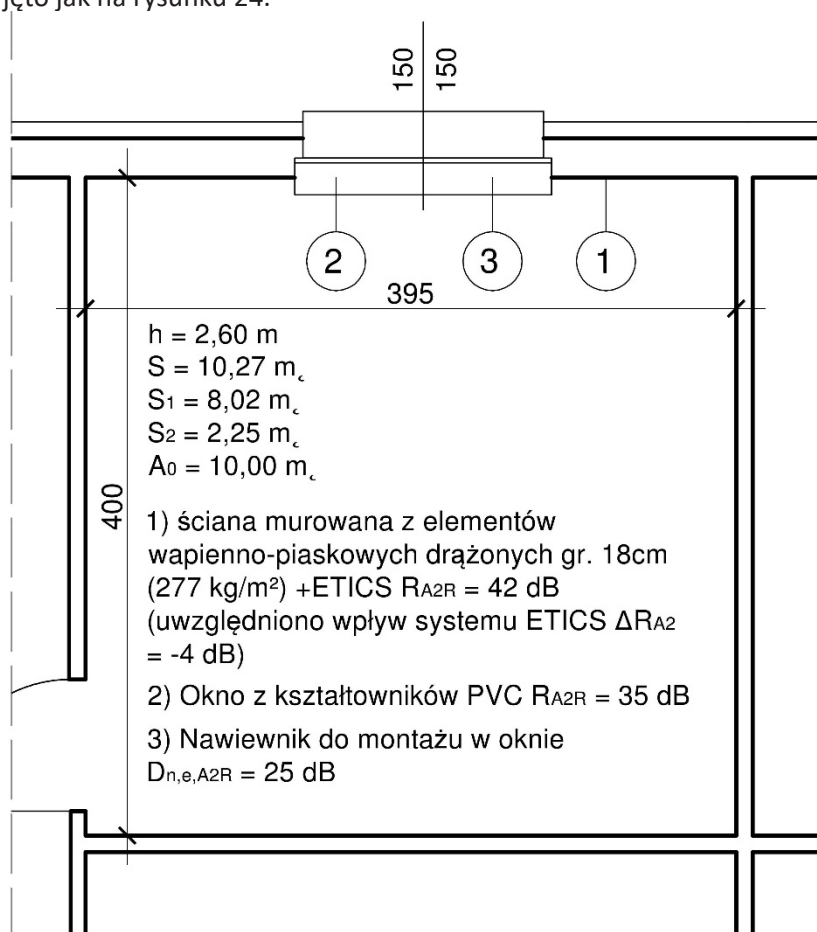
11.3. Wypadkowa izolacyjność akustyczna przybliżona ściany zewnętrznej

Zadanie

Określić wypadkową izolacyjność akustyczną właściwą ściany zewnętrznej z oknem i nawiewnikiem.

Dane

Dane obliczeniowe przyjęto jak na rysunku 24.



Rys. 24. Dane geometryczne oraz materiałowe dotyczące przykładu

Ze względu na charakterystykę hałasu zewnętrznego (założono w przykładzie ruch uliczny miejski, więc widmo nr 2 z tab. 2) jako kryterium oceny izolacyjności akustycznej właściwej przegrody zewnętrznej przyjęto wskaźnik $R'_{A,2}$. Parametry akustyczne założono jako wartości projektowe wskaźników dla konkretnych rozwiązań dostępnych na rynku [36, 38] skorygowane o 2 dB wg normy [10]. Wskaźnik $R_{A,2,R}$ ściany zewnętrznej obniżono o 4 dB, uwzględniając w ten sposób wpływ systemu ETICS [32].

Obliczenia przeprowadzono z wykorzystaniem wzoru (34):

$$R_{wypadkowa} = -10 \cdot \log \left(\frac{S_p}{S} \cdot 10^{-0.1 \cdot R_p} + \sum_{i=1}^m \frac{S_{o,i}}{S} \cdot 10^{-0.1 \cdot R_{o,i}} + \sum_{j=1}^k \frac{10}{S} \cdot 10^{-0.1 \cdot D_{n,e,j}} \right), dB$$

Podstawiono odpowiednie wartości wskaźników oraz powierzchni i liczby nawiewników:

$$R'_{A,2,wyp} = -10 \cdot \log \left(\frac{8.02}{10.27} \cdot 10^{-0.1 \cdot 42} + \frac{2.25}{10.27} \cdot 10^{-0.1 \cdot 35} + \frac{10}{10.27} \cdot 10^{-0.1 \cdot 25} \right)$$

$$R'_{A,2,wyp} = -10 \cdot \log \left(4,9 \cdot 10^{-5} + 6,9 \cdot 10^{-5} + 3,1 \cdot 10^{-3} \right) = 24,95 \approx 25 dB$$

Odpowiedź

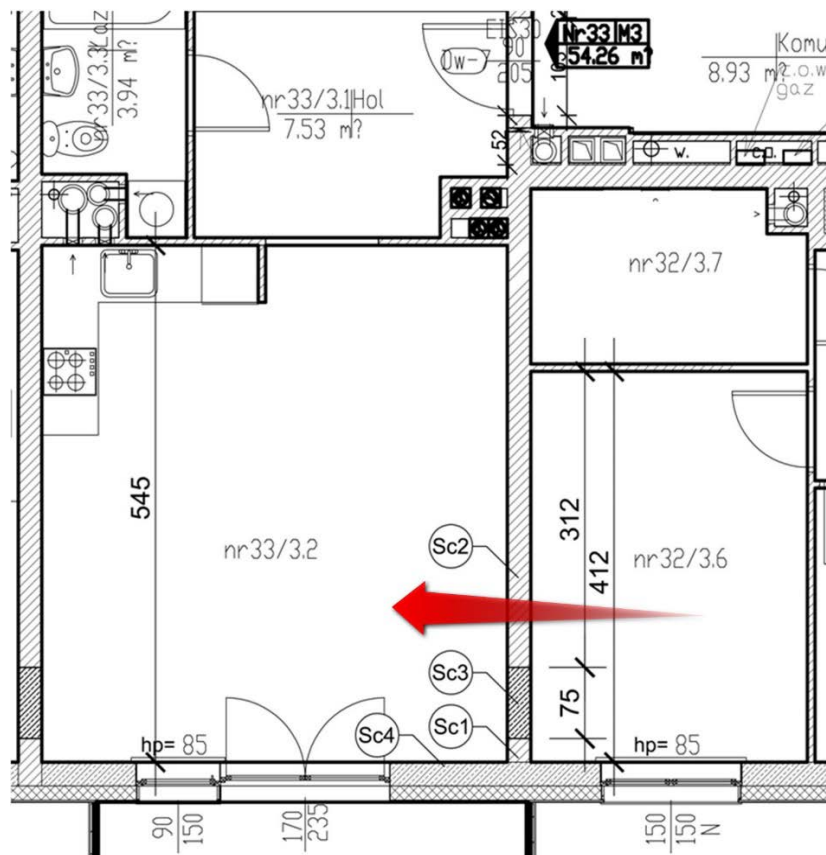
Isolacyjność akustyczna właściwa wypadkowa wyrażona wartością wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej R'_{A2} wynosi 25 dB.

Konkluzja

Warto zwrócić uwagę na fakt, że okno oraz część pełna przegrody zewnętrznej charakteryzowały się wskaźnikiem o wartości znacząco przekraczającej uzyskany wynik końcowy, która wyniósł 25 dB. Na podstawie powyższego przykładu wyraźnie widać, że wartość izolacyjności akustycznej właściwej ściany zewnętrznej w znaczącym stopniu uzależniona jest od parametrów dźwiękoizolacyjnych nawiewnika. Należy pamiętać także, że konieczne jest uwzględnienie w obliczeniach liczby zastosowanych nawiewników. Przykładowo, dla obliczeń z przykładu, ale z 2 nawiewnikami wynik końcowy wyniósłby $R'_{A2, wyp.} = 22$ dB. Należy pamiętać także, że wskaźnik $D_{n,e,A,2}$ jest inną wielkością od wskaźnika $R_{A,2}$ i wielkości te nie mogą być bezpośrednio porównywane. W związku z powyższym przyjęcie nawiewnika charakteryzującego się wskaźnikiem znormalizowanej różnicy poziomów ciśnienia akustycznego $D_{n,e,A,2,R}$ równym co do wartości wymaganej izolacyjności przegrody zewnętrznej jako całości w żaden sposób nie gwarantuje osiągnięcia pozytywnego wyniku.

11.4. Porównanie wyników obliczeń izolacyjności akustycznej przybliżonej od dźwięków powietrznych z wynikami badań terenowych

Poniżej w celu zilustrowania dokładności obliczeń wykonanych za pomocą „metody szacunkowej” [37] przedstawiono wyniki badań terenowych izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych pomiędzy pokojami w budynku wielorodzinnym przez ścianę z bloków wapienno-piaskowych drążonych gr. 25 cm (20,1 kg). Ściany nie posiadały jednorodnej budowy (na długości ściany znajdowały się jej fragmenty wykonane w innej technologii niż wyżej wymieniona). Dokładny schemat budowy ścian Sc1 i Sc2 oraz układu pomieszczeń przedstawiono na rysunku 25.



Rys. 25. Fragment rzutu piętra z widokiem pokoi, rozdzielonych ścianą Sc2, poddaną badaniom izolacyjności akustycznej. Oznaczenia ścian: Sc1 - pustak ceramiczny (17,5 kg) gr. 25 cm z obustronnym tynkiem gipsowym gr. 1,5 cm (spoiny poziome gr. 1,5 cm z zaprawy cem. M15, spoiny pionowe bez wypełnienia), Sc2 - blok wapienno-piaskowy drążony gr. 25 cm (20,1 kg) z obustronnym tynkiem gipsowym gr. 1,5 cm (spoiny poziome gr. 1,5 cm z zaprawy cem. M15, spoiny pionowe bez wypełnienia), Sc3 - żelbet gr. 25 cm z obustronnym tynkiem gipsowym gr. 1,5 cm (spoiny poziome gr. 1,5 cm z zaprawy cem. M15, spoiny pionowe bez wypełnienia), Sc4 - bloczki z betonu komórkowego 600 kg/m³ gr. 25 cm / EPS 15 cm / tynk cienkowarstwowy. Strzałką oznaczono kierunek przeprowadzenia pomiaru (z pomieszczenia nadawczego do pomieszczenia odbiorczego)

Dla układu jak na rysunku wykonano obliczenia wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,1}$ ściany rozdzielającej pokoje analogicznie do przykładu przedstawionego w punkcie 10.1. Dodatkowo w obliczeniach przyjęto:

- stropy w postaci żelbetonowych płyt kanałowych gr. 24 cm z podłogą pływającą,
- wysokość użytkową pomieszczeń $h = 2,6$ m,
- dla uproszczenia przyjęto, że cała ściana rozdzielająca pomieszczenia wykonana jest jak ściana Sc2.

Sprawdzenie izolacyjności akustycznej właściwej ściany międzymieszkaniowej

Parametry ściany Sc2:

$R_{A,1,R} = 53$ dB (na podstawie materiałów technicznych dla ściany z pustaków 19 kg [38]),

$K_a = 3$ dB (na podst. tablicy II.1-6.2. wiersz 1.1. Instrukcji ITB nr 406/2005 [37])

na podst. wzoru (10) $\rightarrow R'_{A,1} = R_{A,1,R} - K_a = 53 - 3 = 50$ dB.

$R'_{A,1} = 52$ dB $>$ $\min R'_{A,1} = 50$ dB – warunek normy spełniony

W tablicy 24 przedstawiono porównanie wyników pomiarów terenowych oraz obliczeń wykonanych za pomocą „metody szacunkowej” [37]. Dla przytoczonego przypadku wyniki wyrażone wartością wskaźnika oceny izolacyjności akustycznej przybliżonej $R'_{A,1}$ różnią się o 3 dB. W przypadku pomiarów wartość ta wyniosła 53 dB, natomiast „metoda szacunkowa” dała wartość 50 dB. Podobną dokładnością charakteryzują się obliczenia wykonane zgodnie z metodyką uproszczoną z normy [15]. Wyniki obliczeń zazwyczaj mają dokładność 1-2 dB z tendencją do zaniżania otrzymanych wartości w stosunku do wartości zmierzonych w terenie. Dla analizowanego przypadku należy zwrócić uwagę na to, że pustaki użyte na budowie charakteryzowały się nieco wyższą masą od pustaków, dla których w laboratorium wyznaczono wartość $R_{A,1,R} = 53$ dB. Różnica ta przełożyła się na wyższą o 35 kg/m² masę powierzchniową ściany, a to z kolei powoduje wzrost wskaźnika $R_{A,1,R}$ o 1,3 dB (na podst. wzoru (12)). Jednocześnie zauważyć można, że otrzymany wynik pomiarów terenowych przybliżonej izolacyjności akustycznej wystarcza do sklasyfikowania badanej przegrody jako spełniającej wymaganie cząstkowe C1 dla klasy akustycznej AQ-1 wg normy PN-B-02151-5:2017-10 [12] (patrz pkt. 10 opracowania). Pamiętaj jednak należy, że w sensie formalnym klasyfikacja akustyczna budynku przeprowadzona musi zostać wg procedury określonej w normie i dotyczy całości budynku lub jego wydzielonej zwartej części.

Tablica 24. Porównanie wyników pomiarów terenowych izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych oraz obliczeń wykonanych za pomocą „metody szacunkowej” [37] dla ściany pomiędzy pokojami w budynku wielorodzinnym przez ścianę z bloków wapienno-piaskowych gr. 25 cm

Lp.	Rodzaj przegrody	Rozdzielone pomieszczenia	Metoda określenia wskaźnika	Wynik w postaci odpowiedniego wskaźnika w dB
1.	2.	3.	4.	5.
1.	ściana Sc1 blok wapienno-piaskowy drażony gr. 25 cm 21 kg	pokój nr 32/3.6 pokój dzienny nr 33/3.2	pomiar terenowy	$R'_{A1} = 53$ klasa AQ-1*
2.	ściana Sc1 blok wapienno-piaskowy drażony gr. 25 cm 19 kg	pokój nr 32/3.6 pokój dzienny nr 33/3.2	obliczenia wg [37]	$R'_{A1} = 50$

* W sensie formalnym klasyfikacja akustyczna budynku musi zostać przeprowadzona wg procedury określonej w normie i dotyczy całości budynku lub jego wydzielonej zwartej części. Wymaganie cząstkowe C1 dla klasy akustycznej AQ-1 wg normy PN-B-02151-5:2017-10 [12] przytoczono wyłącznie w celu zilustrowania potencjalnych możliwości przebadanego rozwiązania w zakresie uzyskania podwyższonego standardu akustycznego.

Literatura

- [1] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 roku Prawo budowlane [Dz.U. Nr 89, poz. 414] ze zmianami.
- [2] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2001, Nr 62 poz. 627) ze zmianami.
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 roku w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. Nr 75, poz. 690) ze zmianami.
- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 roku w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. 2007, Nr 120, poz. 826) ze zmianami.
- [5] Rozporządzenie Ministra Klimatu z dnia 9 czerwca 2020 r. w sprawie sposobu ustalania wartości wskaźnika hałasu L_{DWN} (Dz.U. 2020, poz. 1018).
- [6] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) Nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG.
- [7] PN-B-02170:2016-12 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłozę na budynki.
- [8] PN-B-02151-02:1987 Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach – Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach.
- [8.1] PN-B-02151-2:2018-01 Akustyka budowlana -- Ochrona przed hałasem w budynkach -- Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach.
- [9] PN-B-02171:2017-06 Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] PN-B-02151-5:2017-10 Akustyka budowlana -- Ochrona przed hałasem w budynkach -- Część 5: Wymagania dotyczące budynków mieszkalnych o podwyższonym standardzie akustycznym oraz zasady ich klasyfikacji.
- [13] PN-EN ISO 717-1:2021-06 Akustyka - Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych - Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych.
- [14] PN-EN ISO 717-2:2021-06 Akustyka -- Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych -- Część 2: Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych.
- [15] PN-EN 12354-1:2002 Akustyka budowlana. Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów. Izolacyjność od dźwięków powietrznych pomiędzy pomieszczeniami.
- [16] PN-EN ISO 12354-1:2017-10 Akustyka budowlana. Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów. Izolacyjność od dźwięków powietrznych pomiędzy pomieszczeniami.
- [17] PN-EN 12354-2:2002 Akustyka budowlana - określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów. Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych między pomieszczeniami.
- [18] PN-EN ISO 12354-2:2017-10 Akustyka budowlana - określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów. Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych między pomieszczeniami.
- [19] PN-EN 12354-3:2003 Akustyka budowlana -- Określanie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów -- Część 3: Izolacyjność od dźwięków powietrznych przenikających z zewnątrz.
- [20] PN-EN ISO 12354-3:2017-10 Akustyka budowlana -- Określanie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów -- Część 3: Izolacyjność od dźwięków powietrznych przenikających z zewnątrz.
- [21] PN-B-02153:2002 Akustyka budowlana -- Terminologia, symbole literowe i jednostki.
- [22] PN-B-02156:1987 Akustyka budowlana -- Metody pomiaru poziomu dźwięku A w budynkach.
- [23] PN-EN ISO 140-4:2000 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej

- elementów budowlanych – Pomiary terenowe izolacyjności od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami.
- [24] PN-EN ISO 140-5:1999 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary terenowe izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych ściany zewnętrznej i jej elementów.
- [25] PN-EN ISO 140-6:1999 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary laboratoryjne izolacyjności od dźwięków uderzeniowych stropów.
- [26] PN-EN ISO 140-7:2000 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary terenowe izolacyjności od dźwięków uderzeniowych stropów.
- [27] PN-EN ISO 140-8:1999 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary laboratoryjne tłumienia dźwięków uderzeniowych przez podłogi na masywnym stropie wzorcowym.
- [28] PN-EN ISO 140-12:2001 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Część 12: Pomiar laboratoryjny izolacyjności od dźwięków powietrznych i uderzeniowych podniesionej podłogi pomiędzy dwoma sąsiednimi pomieszczeniami.
- [29] PN-EN 20140-3:1999 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary laboratoryjne izolacyjności od dźwięków powietrznych elementów budowlanych.
- [30] PN-EN 20140-9:1998 Akustyka – Pomiary izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiar laboratoryjny izolacyjności od dźwięków powietrznych, dla sufitów podwieszonych z przestrzenią nad sufitem, mierzonej pomiędzy dwoma sąsiednimi pomieszczeniami.
- [31] PN-EN 20140-10:1994 Akustyka – Pomiary izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary laboratoryjne izolacyjności od dźwięków powietrznych małych elementów budowlanych.
- [32] Dulak L.: Wpływ ocieplenia na izolacyjność akustyczną ściany zewnętrznej. Materiały Budowlane 2012, nr 8, s. 10-12.
- [33] Szudrowicz B., Żuchowicz-Wodnikowska B., Tomczyk P.: Właściwości dźwiękoizolacyjne przegród budowlanych i ich elementów. Instrukcje, wytyczne, poradniki, nr 369, Warszawa 2002.
- [34] Szudrowicz B. Akustyka budowlana, [w:] Budownictwo ogólne, T. 2. Fizyka budowli, praca zbiorowa pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Piotra Klemma, Arkady, Warszawa 2005.
- [35] Żuchowicz-Wodnikowska I.: Zasady doboru podłóg z uwagi na izolacyjność od dźwięków uderzeniowych stropów masywnych. Instrukcje, wytyczne, poradniki, nr 394, Warszawa 2004.
- [36] Szudrowicz B., Tomczyk P.: Właściwości dźwiękoizolacyjne ścian, dachów, okien i drzwi oraz nawiewników powietrza zewnętrznego. Instrukcje, wytyczne, poradniki, nr 448, Warszawa 2009.
- [37] Szudrowicz B.: Metody obliczania izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami w budynku według PN-EN 12354-1:2002 i PN-EN 12354-2:2002. Instrukcje, wytyczne, poradniki, nr 406. Warszawa 2005.
- [38] System budowy H+H. Katalog produktów. Kwiecień 2019.
- [39] Ochrona przed hałasem w systemie Nowoczesne SILIKATY, Materiały Budowlane 2009, 8' (nr 444), s. 20-21.
- [40] Rasmussen B.: Concept for evaluation of sound insulation of dwellings – from chaos to consensus, Forum Acusticum 2005.
- [41] Laboratoryjne badania izolacyjności od dźwięków powietrznych. U – 794/RB-3/2020. Politechnika Śląska, Katedra Procesów Budowlanych i Fizyki Budowli, Wydział Budownictwa, Gliwice – wrzesień 2020 r.

Spis tablic

Tablica 1.	Wartości normowe odniesienia dla izolacyjności od dźwięków powietrznych w pasmach 1/3 oktaowych i oktaowych [13].....	7
Tablica 2.	Widmowy wskaźnik adaptacyjny dla różnych rodzajów źródeł hałasu [13].....	8
Tablica 3.	Wartości normowe odniesienia dla poziomu uderzeniowego w pasmach 1/3 oktaowych i oktaowych [14].....	10
Tablica 4.	Porównanie uśrednionych wartości wskaźnika $R_{A,1,R}$ dla ścian z bloków wapienno-piaskowych uzyskanych na drodze pomiarów laboratoryjnych oraz na podstawie wzorów (18) i (19).....	16
Tablica 5.	Porównanie uśrednionych wartości wskaźnika $R_{A,1,R}$ dla ścian z bloków wapienno-piaskowych uzyskanych na drodze pomiarów laboratoryjnych oraz na podstawie wzoru (12).....	17
Tablica 6.	Porównanie uśrednionych wartości wskaźnika $R_{A,1,R}$ dla ścian z bloków wapienno-piaskowych uzyskanych na drodze pomiarów laboratoryjnych oraz na podstawie wzorów (20) i (21).....	20
Tablica 7.	Poprawka K dotycząca przenoszenia bocznego dźwięku uderzeniowego, dB [17].....	21
Tablica 8.	Wskaźniki charakteryzujące izolacyjność akustyczną przegrody w budynku i elementów budowlanych, dB [10].....	22
Tablica 9.	Izolacyjność od dźwięków powietrznych przegród wewnętrznych w budynkach mieszkalnych [10].....	24
Tablica 10.	Dopuszczalny poziom dźwięków uderzeniowych przenikających do pomieszczeń chronionych w budynkach mieszkalnych [10].....	25
Tablica 11.	Rodzaje grup budynków niemieszkalnych, dla których ustanowiono wymagania dotyczące dźwiękoizolacyjności w normie [10].....	26
Tablica 12.	Poziom odniesienia $L_{Aeq,wew}$ dotyczący miarodajnego równoważnego poziomu dźwięku A, hałasu zewnętrznego [10].....	28
Tablica 13.	Poziom odniesienia $L_{Amax,wew}$ dotyczący miarodajnego maksymalnego poziomu hałasu zewnętrznego pochodzącego od operacji lotniczych w nocy, o poziomie dźwięku A na danym terenie $L_{Amax,i} \geq 70$ dB [10].....	29
Tablica 14.	Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez poszczególne grupy źródeł hałasu, z wyłączeniem hałasu powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne, wyrażone wskaźnikami L_{AeqD} i L_{AeqN} , które to wskaźniki mają zastosowanie do ustalania i kontroli warunków korzystania ze środowiska, w odniesieniu do jednej doby [2].....	31
Tablica 15.	Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne, wyrażone wskaźnikami L_{AeqD} i L_{AeqN} , które to wskaźniki mają zastosowanie do ustalania i kontroli warunków korzystania ze środowiska, w odniesieniu do jednej doby [2].....	32
Tablica 16.	Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez poszczególne grupy źródeł hałasu, z wyłączeniem hałasu powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne, wyrażone wskaźnikami L_{DWN} i L_{N} , które to wskaźniki mają zastosowanie do prowadzenia długookresowej polityki w zakresie ochrony przed hałasem [2].....	33
Tablica 17.	Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez starty, lądowania i przeloty statków powietrznych oraz linie elektroenergetyczne, wyrażone wskaźnikami L_{DWN} i L_{N} , które to wskaźniki mają zastosowanie do prowadzenia długookresowej polityki w zakresie ochrony przed hałasem [2].....	34
Tablica 18.	Dopuszczalny poziom dźwięku A w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania ludzi, dB [8].....	35

Tablica 19. Dopuszczalny poziom dźwięku A w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania ludzi, dB [8].....	36
Tablica 20. Przyrost ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej właściwej spowodowany obecnością ustroju (dodatkowej warstwy), w zależności od częstotliwości rezonansowej [15].....	46
Tablica 21. Zależność między wartościami wskaźników oceny izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych i uderzeniowych a spodziewanym odsetkiem osób uznających warunki za zadowalające [40].....	48
Tablica 22. Wymagania cząstkowe dla budynków o podwyższonym standardzie akustycznym [12].....	48
Tablica 23. Wymagania cząstkowe dla budynków o podwyższonym standardzie akustycznym [12].....	49
Tablica 24. Porównanie wyników pomiarów terenowych izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych oraz obliczeń wykonanych za pomocą „metody szacunkowej” [37] dla ściany pomiędzy pokojami w budynku wielorodzinnym przez ścianę z bloków wapienno-piaskowych gr. 25 cm.....	54

Spis rysunków

Rys. 1. Schematyczne przedstawienie idei pomiaru izolacyjności akustycznej właściwej (rzut pogłosowych komór sprzężonych: 1 - nadawczej i 2 - odbiorczej, rozdzielonych badaną przegrodą).....	7
Rys. 2. Schematyczne przedstawienie procedury wyznaczenia ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej R_w przykładowej przegrody wg [13].....	8
Rys. 3. Schematyczne przedstawienie idei pomiaru poziomu uderzeniowego znormalizowanego. Przekrój przez pogłosowe komory sprzężone: L_i – poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym pod badanym stropem, na którym umieszczono znormalizowane źródło dźwięków uderzeniowych w postaci stukacza młotkowego.....	10
Rys. 4. Schematyczne przedstawienie procedury wyznaczenia wskaźnika ważonego poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L_{n,w}$ przykładowego stropu wg [14].....	11
Rys. 5. Schemat przenoszenia energii akustycznej całkowitej między pomieszczeniami; d – przenoszenie bezpośrednie drogami materiałowymi, f1 i f2 – przenoszenie pośrednie przykładowymi drogami materiałowymi, e – przenoszenie bezpośrednie drogą powietrzną, s - przenoszenie pośrednie drogą przez system [15].....	12
Rys. 6. Schemat przenoszenia dźwięków powietrznych między pomieszczeniami [15].....	12
Rys. 7. Schemat przenoszenia dźwięków powietrznych drogą pośrednią przez: a) sufit podwieszony oraz b) podłogę podniesioną [15, 21].....	13
Rys. 8. Schemat przenoszenia dźwięku uderzeniowego pomiędzy pomieszczeniami znajdującymi się nad sobą, oraz obok siebie: d – przenoszenie bezpośrednie drogami materiałowymi, f1-f4 – przenoszenie pośrednie przykładowymi drogami materiałowymi [17].....	14
Rys. 9. Schemat przenoszenia dźwięków powietrznych między pomieszczeniami [17].....	14
Rys. 10. Wartości wskaźnika $R_{A,1,R}$ w funkcji masy powierzchniowej ściany wykonanej z bloków wapienno-piaskowych drażonych wraz z równaniem linii trendu oraz współczynnikiem determinacji.....	18
Rys. 11. Wartości wskaźnika $R_{A,2,R}$ w funkcji masy powierzchniowej ściany wykonanej z bloków wapienno-piaskowych drażonych wraz z równaniem linii trendu oraz współczynnikiem determinacji.....	18
Rys. 12. Wartości wskaźnika $R_{A,1,R}$ w funkcji masy powierzchniowej ściany wykonanej z bloków wapienno-piaskowych pełnych wraz z równaniem linii trendu oraz współczynnikiem determinacji.....	19
Rys. 13. Wartości wskaźnika $R_{A,2,R}$ w funkcji masy powierzchniowej ściany wykonanej z bloków wapienno-piaskowych pełnych wraz z równaniem linii trendu oraz współczynnikiem determinacji.....	19
Rys. 14. Przykładowa karta pomiarowa dotycząca badań terenowych izolacyjności od dźwięków powietrznych.....	38

Rys. 15. Schematyczne przedstawienie możliwych sposobów wykonania połączenia ściany rozdzielającej pomieszczenia ze ścianą zewnętrzną: a) na styk, b) wiązanie murarskie, c) poprzez rozdzielenie ściany zewnętrznej, d) poprzez rozdzielenie ściany zewnętrznej i umieszczenie warstwy materiału sprężystego.....	41
Rys. 16. Szczegół prawidłowo wykonanej szczeliny podstropowej [39].....	42
Rys. 17. Szczegół prawidłowo wykonanej fugi w postaci szczeliny dylatacyjnej wypełnionej silikonem.....	42
Rys. 18. Schematyczne przedstawienie niewłaściwego wykonania dylatacji obwodowej: a) wykonanie fugi sztywnej, b) zabrudzenie dylatacji obwodowej spowodowane usunięciem taśmy.....	43
Rys. 19. Schematyczne przedstawienie oparcia ściany: a) na podłodze podniesionej oraz wyprowadzenie jej do płaszczyzny sufitu podwieszanego, b) bezpośrednio na stropie oraz wyprowadzenie jej ponad płaszczyznę sufitu podwieszanego aż do powierzchni stropu (rozwiązanie zalecane w przypadku wysokich wymagań dźwiękoizolacyjnych).....	43
Rys. 20. Zmiana izolacyjności akustycznej właściwej w funkcji częstotliwości ściany wykonanej z elementów silikatowych po wykonaniu obustronnego bruzdowania i montażu gniazd elektrycznych [41].....	45
Rys. 21. Widok dodatkowego ustroju: a) bezpośredniego, b) szkieletowego.....	46
Rys. 22. Poprawa izolacyjności akustycznej właściwej przedstawiona za pomocą wartości wskaźnika ΔR_w , osiągnięta poprzez adaptację murowanej ściany ceglanej za pomocą dodatkowych ustrojów rezonansowych.....	47
Rys. 23. Fragment rzutu kondygnacji powtarzalnej stanowiący informację w zakresie danych geometrycznych do przykładu obliczeniowego.....	50
Rys. 24. Dane geometryczne oraz materiałowe dotyczące przykładu.....	52
Rys. 25. Fragment rzutu piętra z widokiem pokoi, rozdzielonych ścianą Sc2, poddaną badaniom izolacyjności akustycznej. Oznaczenia ścian: Sc1 - pustak ceramiczny (17,5 kg) gr. 25 cm z obustronnym tynkiem gipsowym gr. 1,5 cm (spoiny poziome gr. 1,5 cm z zaprawy cem. M15, spoiny pionowe bez wypełnienia), Sc2 - blok wapienno-piaskowy drążony gr. 25 cm (20,1 kg) z obustronnym tynkiem gipsowym gr. 1,5 cm (spoiny poziome gr. 1,5 cm z zaprawy cem. M15, spoiny pionowe bez wypełnienia), Sc3 - żelbet gr. 25 cm z obustronnym tynkiem gipsowym gr. 1,5 cm, Sc4 - bloczki z betonu komórkowego 600 kg/m ³ gr. 25 cm / EPS 15 cm / tynk cienkowarstwowy. Strzałką oznaczono kierunek przeprowadzenia pomiaru (z pomieszczenia nadawczego do pomieszczenia odbiorczego).....	53

Spis fotografii

Fot. 1 Prowizoryczne uszczelnienie dolnej części skrzydła drzwiowego za pomocą płyt z twardej wełny mineralnej w celu ograniczenia przenikania drogą przez korytarz energii akustycznej	39
Fot. 2 Prowizoryczne zabezpieczenie otworu drzwiowego płytą GK podczas pomiarów izolacyjności akustycznej, ze względu na brak zamontowanej stolarki drzwiowej wewnątrz mieszkania	39
Fot. 3. Widok pomieszczeń w trakcie realizacji terenowych pomiarów izolacyjności od dźwięków powietrznych:	40
Fot. 4. Widok ściany zmodyfikowanej poprzez zamontowanie gniazd elektrycznych (widoczne gniazda elektryczne szt. 3) – widok od strony komory odbiorczej. Laboratorium Akustyki Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej [41]	44
Fot. 5. Widok ściany zmodyfikowanej poprzez zamontowanie gniazd elektrycznych (widoczne gniazda elektryczne szt. 3) – widok od strony komory nadawczej. Laboratorium Akustyki Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej [41]	44

BIAŁE MUROWANIE

STOWARZYSZENIE
PRODUCENTÓW
SILIKATÓW

Stowarzyszenie Producentów Silikatów „Białe Murowanie”

ul. Nowy Świat 41a

00-042 Warszawa

stowarzyszenie@bialemurowanie.pl

Nasi członkowie



Silikaty



Zakłady Silikatowe
ŻYTKOWICE S.A.

