BIAŁE MUROWANIE

STOWARZYSZENIE PRODUCENTÓW BIAŁYCH MATERIAŁÓW ŚCIENNYCH

IZOLACYJNOŚĆ OD DŹWIĘKÓW POWIETRZNYCH I DŹWIĘKÓW UDERZENIOWYCH

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

Autor: dr inż. Leszek Dulak
Warszawa 2016

Szanowni Państwo,

od początku istnienia Stowarzyszenia Producentów Białych Materiałów Ściennych „Białe murowanie" staramy się promować nowoczesne i przyjazne środowisku rozwiązania techniczne w budownictwie. Naszym celem jest, aby wszyscy uczestnicy procesów budowlanych w sposób świadomy stosowali materiały i rozwiązania wysokiej jakości, spełniające wymagania prawne i normowe, a jednocześnie odpowiadające oczekiwaniom przyszłych użytkowników obiektów inżynierskich.

Ochrona akustyczna budynków jest bez wątpienia jednym z najtrudniejszych wyzwań, z którym muszą się zmierzyć architekci i projektanci. W ostatnich latach staje się ona coraz bardziej istotnym zagadnieniem, w szczególności dla inwestorów i użytkowników budynków, dlatego z przyjemnością prezentujemy Państwu zeszyt techniczny pt. „Izolacyjność od dźwięków powietrznych i dźwięków uderzeniowych. Regulacje prawne, obliczenia i rozwiązania konstrukcyjne na przykładzie ścian z silikatów".

Niniejsze opracowanie przeznaczone jest przede wszystkim dla architektów i projektantów odpowiedzialnych za zagadnienia fizyki budowli, a także wykonawców wznoszących przegrody budowlane podlegające wymaganiom izolacyjności akustycznej. W przystępnej formie omawia aktualne i przyszłe wymogi związane z ochroną akustyczną, sposoby projektowania przegród i ich weryfikacji czy wreszcie występujące w budynkach problemy i możliwość ich naprawy.

Zeszyt techniczny prezentuje równocześnie potencjał konstrukcji murowych z elementów silikatowych w zakresie ochrony akustycznej. Dzięki swoim właściwościom ściany silikatowe często stanowią odpowiedź na znakomitą większość problemów akustycznych dotyczących przegród w budynku. Między innym z tego właśnie powodu silikaty cieszą się ogromną popularnością wśród architektów projektujących obiekty wielorodzinne czy użyteczności publicznej.

Publikacja ta została opracowana przez dr. Leszka Dulaka, doświadczonego specjalistę w zakresie akustyki budowlanej, przy udziale ekspertów technicznych Stowarzyszenia. Jesteśmy przekonani, że będzie ona wartościowym wsparciem dla projektantów i wykonawców w spełnianiu coraz ostrzejszych wymagań izolacyjności akustycznej przegród budowlanych.

Zarząd Stowarzyszenia
Producentów Białych Materiałów
Ściennych „Białe murowanie"

Spis treści

1. Kilka słów o silikatach 8

2. Wymagania ustawowe dotyczące ochrony przed hałasem 9

3. Izolacyjność akustyczna 12

3.1. Izolacyjność akustyczna od dźwięków powietrznych 12
2.2. Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych 14

4. Izolacyjność akustyczna przybliżona, czyli rzeczywiste parametry dźwiękoizolacyjne przegród w budynku 16

4.1. Izolacyjność akustyczna przybliżona od dźwięków powietrznych 16
4.2. Izolacyjność akustyczna przybliżona od dźwięków uderzeniowych 17

5. Szacowanie wskaźników oceny przybliżonej izolacyjności od dźwięków powietrznych i uderzeniowych 18

5.1. Prognoza izolacyjności od dźwięków powietrznych 18
5.2. Prognoza izolacyjności od dźwięków uderzeniowych 19

6. Wymagana izolacyjność akustyczna wg PN-B-02151-3:2015-10 [11] 20

6.1. Wymagania normowe dotyczące przegród wewnętrznych 22
6.2. Wymagania normowe dotyczące przegród zewnętrznych 23

7. Dopuszczalny poziom hałasu 26

7.1. Dopuszczalny poziom hałasu w środowisku 26
7.2. Dopuszczalny poziom hałasu w budynku 28

8. Weryfikacja pomiarowa izolacyjności akustycznej 30

9. Problemy akustyczne występujące w budownictwie 32

10. Możliwości poprawy izolacyjności akustycznej pomiędzy pomieszczeniami 34

11. Przykłady obliczeniowe 35

11.1. Izolacyjność akustyczna przybliżona od dźwięków powietrznych przegród wewnętrznych 35
11.2. Izolacyjność akustyczna przybliżona od dźwięków uderzeniowych stropu 36
11.3. Wypadkowa izolacyjność akustyczna przybliżona ściany zewnętrznej 36
11.4. Porównanie wyników obliczeń izolacyjności akustycznej przybliżonej od dźwięków powietrznych z wynikami badań terenowych 37

LITERATURA 39

Spis tablic

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

Tablica 2. Widmowy wskaźnik adaptacyjny dla różnych rodzajów źródeł hałasu [13]. 14

Tablica 3. Wartości normowe odniesienia dla izolacyjności od dźwięków powietrznych w pasmach 1/3 oktawowych i oktawowych [14]. 15

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

Tablica 5. Porównanie wartości wskaźnika $R_{A,1,R}$ dla ścian z bloków wapienno-piaskowych uzyskane na drodze pomiarów laboratoryjnych oraz na podstawie wzorów (12). 19

Tablica 6. Poprawka *K* dotycząca przenoszenia bocznego dźwięku uderzeniowego, w dB [16]. 20

Tablica 7. Wskaźniki charakteryzujące izolacyjność akustyczną przegrody w budynku i elementów budowlanych, w dB [11]. 20

Tablica 8. Izolacyjność od dźwięków powietrznych przegród wewnętrznych w budynkach mieszkalnych [11]. 22

Tablica 9. Dopuszczalny poziom dźwięków uderzeniowych przenikających do pomieszczeń chronionych w budynkach mieszkalnych [11]. 22

Tablica 10. Rodzaje grup budynków niemieszkalnych, dla których ustanowiono wymagania dotyczące dźwiękoizolacyjności w normie [11]. 23

Tablica 11. Poziom odniesienia $L_{Aeq,wew}$ dotyczący miarodajnego równoważnego poziomu dźwięku *A*, hałasu zewnętrznego [11]. 25

Tablica 12. 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 [11]. 25

Tablica 13. 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]. 27

Tablica 14. 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]. 27

Tablica 15. 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]. 28

Tablica 16. 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]. 28

Tablica 17. Dopuszczalny poziom dźwięku *A* w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania ludzi, w dB [8] 29

Tablica 18. Dopuszczalny poziom dźwięku *A* w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania ludzi, w dB [8]. 30

Tablica 19. Przyrost ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej właściwej, spowodowany obecnością ustroju (dodatkowej warstwy), w zależności od częstotliwości rezonansowej [16]. 34

Spis rysunków

Rys. 1. Schematyczne przedstawienie idei pomiaru izolacyjności akustycznej właściwej (rzut pogłosowych komór sprzężonych – nadawczej 1 i odbiorczej 2 – rozdzielonych badaną przegrodą). 13

Rys. 2. Schematyczne przedstawienie procedury wyznaczenia ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej R_w przykładowej przegrody wg [13]. 14

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. 15

Rys. 4. Schematyczne przedstawienie procedury wyznaczenia wskaźnika ważonego poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L_{n,w}$ przykładowego stropu wg [14]. 16

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]. 16

Rys. 6. Schemat przenoszenia dźwięków powietrznych między pomieszczeniami [15]. 16

Rys. 7. Schemat przenoszenia dźwięków powietrznych drogą pośrednią przez: a) sufit podwieszony oraz b) podłogę podniesioną [15], [18]. 17

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 [16]. 17

Rys. 9. Schemat przenoszenia dźwięków uderzeniowych między pomieszczeniami [16]. 18

Rys. 10. Przykładowa karta pomiarowa dotycząca badań terenowych izolacyjności od dźwięków powietrznych. 31

Rys. 11. 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. 33

Rys. 12. Szczegół prawidłowo wykonanej szczeliny podstropowej [36]. 33

Rys. 13. Szczegół prawidłowo wykonanej fugi w postaci szczeliny dylatacyjnej wypełnionej silikonem. 33

Rys. 14. Schematyczne przedstawienie niewłaściwego wykonania dylatacji obwodowej: a) wykonanie fugi sztywnej, b) zabrudzenie dylatacji obwodowej spowodowane usunięciem taśmy. 34

Rys. 15. 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). 34

Rys. 16. Widok dodatkowego ustroju: a) bezpośredniego, b) szkieletowego. 34

Rys. 17. Poprawa izolacyjności akustycznej właściwej przedstawiona za pomocą wartości wskaźnika ΔR_w, osiągnięta poprzez adaptację murowanej ściany ceglanej za pomocą dodatkowych ustrojów rezonansowych. 35

Rys. 18. Fragment rzutu kondygnacji powtarzalnej stanowiący informację w zakresie danych geometrycznych do przykładu obliczeniowego. 35

Rys. 19. Dane geometryczne oraz materiałowe dotyczące przykładu. 37

Rys. 20. Fragment rzutu piętra z widokiem pokoi, rozdzielonych ścianą Sc2, poddaną badaniom izolacyjności akustycznej. 37

1. Kilka słów o silikatach

W związku z tym, że niniejsza publikacja odwołuje się do rozwiązań z wykorzystaniem wyrobów wapienno-piaskowych, czyli inaczej silikatów, poniżej przedstawiono najważniejsze informacje na temat tych produktów.

Wyroby wapienno-piaskowe (silikatowe) to elementy produkowane z naturalnych surowców. W wyniku procesu produkcji tworzą one replikę piaskowca – skały stanowiącej składnik skorupy ziemskiej. Technologię produkcji „sztucznego piaskowca" wynalazł i opatentował w 1880 roku niemiecki uczony Wilhelm Michaelis. Produkcja na skalę przemysłową wyrobów silikatowych rozpoczęła się w roku 1894.

Obecnie wyroby silikatowe dostępne są w całej Europie. Podstawowym dokumentem normatywnym, który określa wymagania wobec materiałów silikatowych, jest norma PN-EN 771-2:2011 Wymagania dotyczące elementów murowych – Część II: Elementy murowe silikatowe. Ponadto wymagania dotyczące materiałów ściennych reguluje szereg innych i mających bardziej ogólny charakter aktów prawnych, w tym ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych.

Bloki wapienno-piaskowe są produkowane jedynie z naturalnych, powszechnie dostępnych surowców: piasku, wapna i wody – będących odwzorowaniem występującego w naturalnych warunkach piaskowca. Ekologiczny skład, stosunkowo prosty proces produkcji oraz bardzo niska promieniotwórczość naturalna powodują, że silikaty należą do materiałów uznawanych za jedne z najbardziej zdrowych dla mieszkańców.

Elementy wapienno-piaskowe stosowane są przede wszystkim do wznoszenia konstrukcji murowych w budownictwie mieszkaniowym, przemysłowym i inwentarskim. Produkcja z naturalnych surowców – piasku, wapna i wody – oraz duża gęstość bloków wapienno-piaskowych sprawiają, że mają się one wiele bardzo korzystnych właściwości.

Wytrzymałość, trwałość, bezpieczeństwo

Bloczki wapienno-piaskowe charakteryzuje jedna z najwyższych wytrzymałości na ściskanie wśród materiałów budowlanych – produkowane w Polsce silikaty osiągają klasy: 15MPa, 20MPa, 25MPa, a nawet 30MPa. Tak wysoka wytrzymałość na ściskanie pozwala na swobodne projektowanie nawet kilkunastokondygnacyjnych budynków bez udziału stalowej lub żelbetowej konstrukcji nośnej. Bardzo duża wytrzymałość bloków silikatowych pozwala także na projektowanie cieńszych ścian konstrukcyjnych o grubości 18 cm, 15 cm lub nawet 12 cm.

Dzięki specyfice procesu produkcji elementy silikatowe charakteryzują się bardzo niską nasiąkliwością. Cecha ta sprawia, że mury z bloków silikatowych należą do najtrwalszych konstrukcji pod względem odporności na zamarzanie i rozmrażanie. To pozwala na ich stosowanie nawet w bardzo trudnych warunkach, w których nie można byłoby wykorzystać innych elementów murowych.

Silikaty to również materiały odporne na ogień. Posiadają klasę reakcji na ogień A1 wg PN-EN 13501-1. Oznacza to, że w trakcie pożaru bloki wapienno-piaskowe nie rozprzestrzeniają ognia, nie wydzielają trujących gazów, dymu ani płonących kropel. Jednocześnie, podczas pożaru mury silikatowe przez długi czas zachowują swoją nośność oraz szczelność, gwarantując bardzo wysoką odporność ogniową i bezpieczeństwo.

Cisza i komfort mieszkania

W budownictwie, szczególnie wielorodzinnym, coraz większą uwagę poświęca się prawidłowej izolacji akustycznej. Ochrona przed hałasem rozpoczyna się już na etapie wyboru materiałów ściennych. **Znaczna masa powierzchniowa ścian z bloków silikatowych (klasa gęstości 1.4–2.2) powoduje, że przegroda stanowi szczelną zaporę dla dźwięków**. Zgodnie z prawem masy elementy o dużej gęstości, najlepiej zabezpieczają przed odgłosami z sąsiednich mieszkań, klatki schodowej czy windy. Wymaganą przez normę izolacyjność akustyczną dla ściany między mieszkaniami wynoszącą $R'_{A,1} \geq 50$ dB, uzyskuje już ściana z pełnych boczków wapienno-piaskowych o grubości 18 cm, z obustronną warstwą tynku grubości 10 mm. Dostępne są także silikaty o większej grubości i podwyższonych parametrach akustycznych.

Korzystny mikroklimat

Bloki wapienno-piaskowe charakteryzuje wysoka akumulacyjność

termiczna – zdolność materiału do gromadzenia ciepła, która wynika z pojemności cieplnej. Silikat, który raz zaabsorbuje ciepło, bardzo wolno je oddaje. Zdolność materiału do akumulacji ciepła umożliwia zniwelowanie skutków szybkich zmian temperatury przy jej spadku w zimie, a latem chroni pomieszczenia przed przegrzewaniem. Tę właściwość silikaty zawdzięczają dużej gęstości.
Ściany wapienno-piaskowe poprzez wysoki poziom akumulacji ciepła i wysoką paroprzepuszczalność stabilizują wilgotność i temperaturę powietrza w pomieszczeniach. Zasadowy odczyn bloków silikatowych wpływa również na odpowiedni mikroklimat pomieszczeń poprzez ograniczenie rozwoju szkodliwych grzybów i flory bakteryjnej na ścianie.

Asortyment

Bloki wapienno-piaskowe produkowane są jako elementy murowe pełne lub drążone w klasach wytrzymałości 15, 20 i 25 N/mm^2 (MPa). Wysoka gęstość bloków wapienno-piaskowych sprawia, że są one materiałem bardzo wytrzymałym, trwałym oraz charakteryzującym się wysoką pojemnością cieplną. Ściany silikatowe mogą stanowić zarówno konstrukcję przegród nośnych, jak i działowych, zewnętrznych i wewnętrznych oraz fundamentowych lub piwnicznych.
Często przy inwestycjach budowlanych, zarówno deweloperskich, jak i tych prowadzonych indywidualnie, ważnym czynnikiem jest termin realizacji. Duża dokładność wymiarowa bloków wapienno-piaskowych oraz możliwość murowania na cienką spoinę pozwala budować szybciej. Na skrócenie czasu wznoszenia muru wpływa także wysoka wytrzymałość elementów silikatowych, która sprawia, że ściany z bloków wapienno-piaskowych zazwyczaj nie wymagają dodatkowych wzmocnień konstrukcji.
Optymalizacja procesu budowy jest możliwa dzięki dostępności na rynku komplementarnego asortymentu bloków silikatowych. Podstawowymi wyrobami są pełne i drążone cegły oraz bloczki. Producenci oferują również elementy uzupełniające, takie jak bloki wentylacyjne, połówki bloków czy bloki pomocnicze. Na rynku dostępne są również gładkie i łupane cegły i płytki elewacyjne w wielu kolorach. Różnorodność wyrobów silikatowych umożliwia wybór optymalnego asortymentu dla konkretnej budowy, co pozwala inwestorom zaoszczędzić zarówno czas, jak i koszty jej prowadzenia.

2. Wymagania ustawowe dotyczące ochrony przed hałasem

Ustawa Prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. Dz. U. Nr 49, poz. 414 [1] wraz z późniejszymi zmianami, w artykule 5.1. stanowi, że „Obiekt budowlany jako całość oraz jego poszczególne części, wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi należy, biorąc pod uwagę przewidywany okres użytkowania, projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych, oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej, zapewniając spełnienie podstawowych wymagań dotyczących obiektów budowlanych określonych w załączniku I do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) Nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. [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, z późn. zm.), 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 uszczegółowione zostało 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 umożliwiał 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) zewnętrznym 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) pogłosowym, 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 poziomy 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 podłóg – 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 po-

mieszczenia 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/m^2;

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 hałasu 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 pożądanych 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 dostar-

czania 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 nieprzeznaczonymi na stały pobyt ludzi oraz zastosowania w nieoddylatowanym 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 pokojów 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-02170:1985 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki [7].
- PN-B-02171:1988 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-02151-3:1999 Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych – Wymagania [10].

Powyższy spis norm powołany w rozporządzeniu nie obejmuje najnowszych zmian w powyższym zakresie. Mianowicie norma PN-B-02151-3:2015-10 [11] zastąpiła wersję z 1999 roku oraz wprowadzona została zupełnie nowa norma PN-B-02151-4:2015-06 [12], której zadaniem jest określenie wymagań w zakresie zrozumiałości mowy w pomieszczeniach oraz ochrony przed hałasem pogłosowym.

3. Izolacyjność akustyczna

W celu realizacji ochrony akustycznej zapisanej w Warunkach Technicznych [3] przytoczonych powyżej konieczne jest między innymi spełnienie wymagań dotyczących izolacyjności akustycznej. Ze względu na sposób powstawania dźwięki dzielimy 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 pobudzania do drgań stropu podczas jego użytkowania.

W nawiązaniu do tego podziału izolacyjność akustyczną możemy podzielić na:
- izolacyjność od dźwięków powietrznych – odporność przegrody na przenoszenie dźwięków powietrznych,
- izolacyjność od dźwięków uderzeniowych – odporność przegrody na przenoszenie dźwięków uderzeniowych.

3.1. Izolacyjność akustyczna od dźwięków powietrznych

Miarą izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych jest **izo-**

lacyjność akustyczna właściwa *R*, którą definiujemy jako dziesięć logarytmów ze stosunku mocy akustycznej padającej na daną przegrodę i mocy akustycznej przeniesionej przez tą przegrodę, co możemy zapisać wzorem (1):

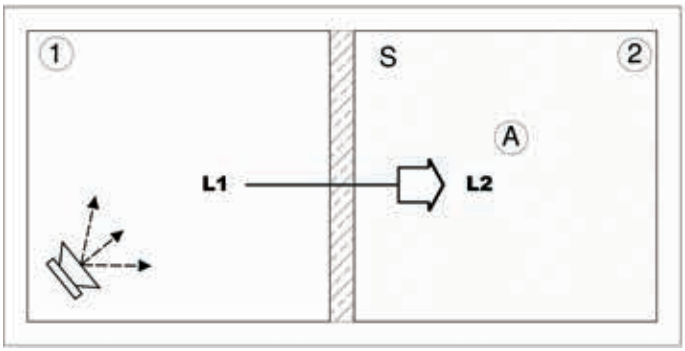
$$R = 10\log \frac{W_1}{W_1}, \text{ dB} \quad (1)$$

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 możemy wyrazić 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 – nadawczej 1 i odbiorczej 2 – rozdzielonych badaną przegrodą).

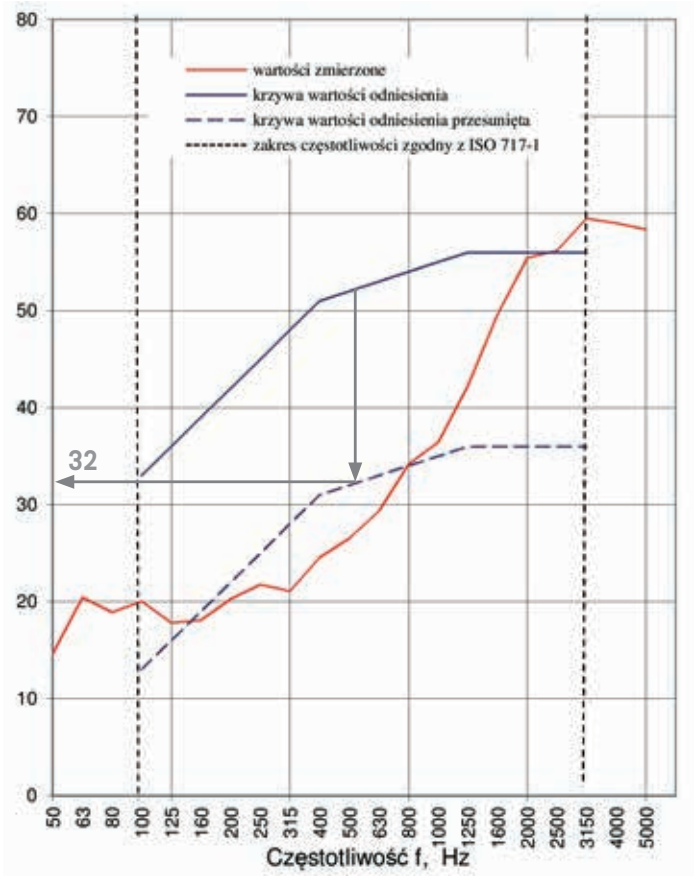
Obliczona za pomocą wzoru (2) wartość izolacyjności akustycznej właściwej przegrody przyjmuje różne wartości dla różnych częstotliwości, tworząc w ten sposób zbiór wartości izolacyjności akustycznej w pasmach tercjowych bądź oktawowych. W praktyce inżynierskiej w celu uproszczenia oceny dźwiękoizolacyjności 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 tabeli 1.

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

Częstotliwość, Hz	Pasma 1/3 oktawy	Pasma oktawowe
100	33	–
125	36	36
160	39	–
200	42	–
250	45	45
315	48	–
400	51	–
500	52	52
630	53	–
800	54	–
1000	55	55
1250	56	–
1600	56	–
2000	56	56
2500	56	–
3150	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 przesuwać skokowo co 1 dB w kierunku krzywej pomiarowej aż do momentu, w którym suma niekorzystnych odchyleń będzie możliwie jak największa, lecz nie przekroczy przy pomiarach w pasmach 1/3 oktawowych (dla 16 pasm) wartości 32 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 (pomiary laboratoryjne) lub R'_w, $D_{n,w}$ (pomiary terenowe).



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 [13], stosuje się, aby uwzględnić charakter dominującego źródła hałasu. Przykładowe źródła hałasu i przyporządkowane im wskaźniki widmowe przedstawiono w tablicy 2.

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

Rodzaj źródła hałasu	Odpowiedni widmowy wskaźnik adaptacyjny
– 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)
– ruch uliczny miejski – ruch kolejowy z małymi prędkościami – śmigłowce – samoloty odrzutowe, w dużej odległości – muzyka dyskotekowa – zakłady przemysłowe emitujące głównie hałas nisko i średnio częstotliwościowy	C_{tr} (widmo nr 2)

Na podstawie jednoliczbowego 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 możemy 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 wysoko częstotliwościowych. 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 tablica 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

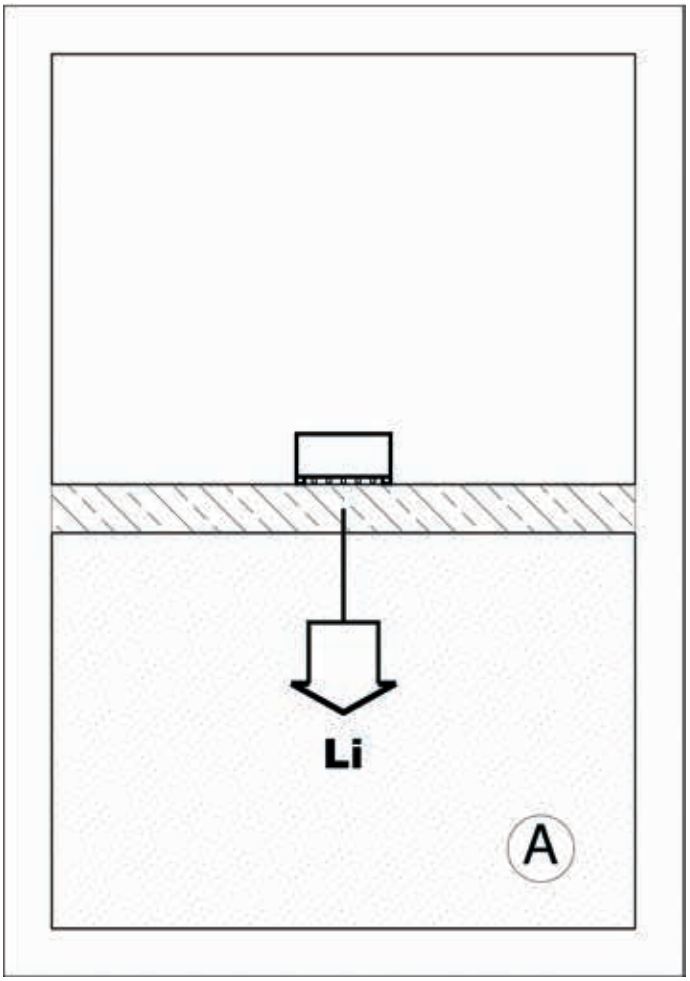
Miarą izolacyjności od dźwięków uderzeniowych jest poziom uderzeniowy znormalizowany L_n. Poziom uderzeniowy znormalizowany określa się w warunkach laboratoryjnych i jest on równy poziomowi przeciętnego ciśnienia akustycznego, wytworzonego pod stropem przez znormalizowane źródło dźwięku w postaci stukacza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

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

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 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 poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L_{n,w}$.



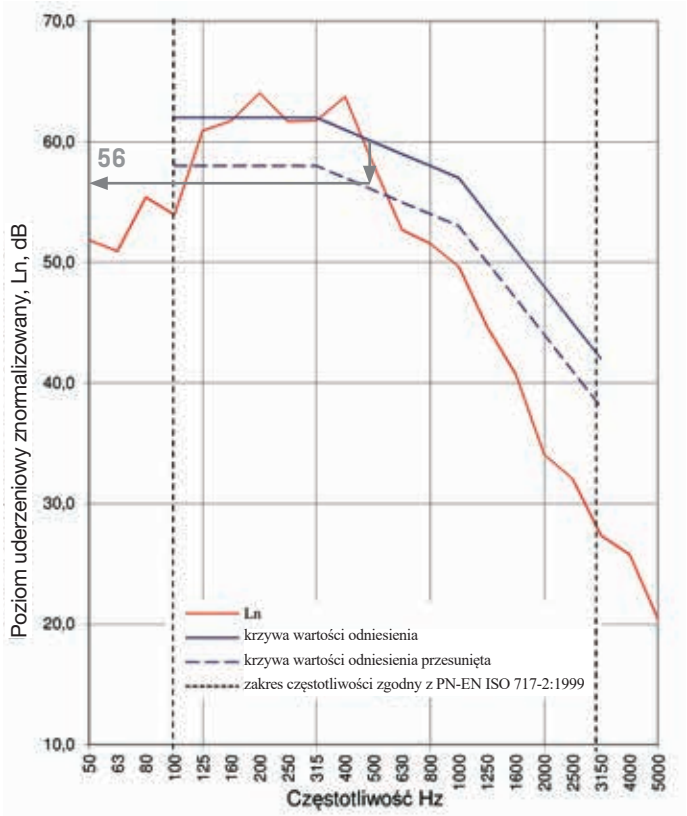
Rys. 3. Schematyczne przedstawienie idei pomiaru poziomu uderzeniowego znormalizowanego. Przekrój przez pogłosowe komory sprzężone: L_i – poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym pod badanym stropem, na którym umieszczono znormalizowane źródło dźwięków uderzeniowych w postaci stukacza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

Tablica 3. Wartości normowe odniesienia dla izolacyjności od dźwięków powietrznych w pasmach 1/3 oktawowych i oktawowych [14].

Częstotliwość, Hz	Pasma 1/3 oktawy	Pasma oktawowe
100	62	–
125	62	67
160	62	–
200	62	–
250	62	67
315	61	–
400	61	–
500	50	65
630	59	–
800	58	–
1000	57	62
1250	54	–
1600	51	–
2000	48	49
2500	45	–
3150	42	–

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 przesuwać skokowo co 1 dB w kierunku krzywej pomiarowej aż do momentu, w którym suma niekorzystnych odchyleń 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 większy od wartości normowej odniesienia. Wartość w decybelach, krzywej odniesienia dla 500 Hz, po przesunięciu jej zgodnie z tą procedurą jest wartością ważonego wskaźnika $L_{n,w}$ (pomiary laboratoryjne) lub $L'_{n,w}$, $L'_{nT,w}$ (pomiary terenowe).



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

4. 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 mówimy 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. szczeliny, przewody wentylacyjne itp.,
- przenoszenie pośrednie – przenoszenie dźwięku z pomieszczenia nadawczego do odbiorczego drogami innymi niż bezpośrednie bez względu na sposób pobudzania.

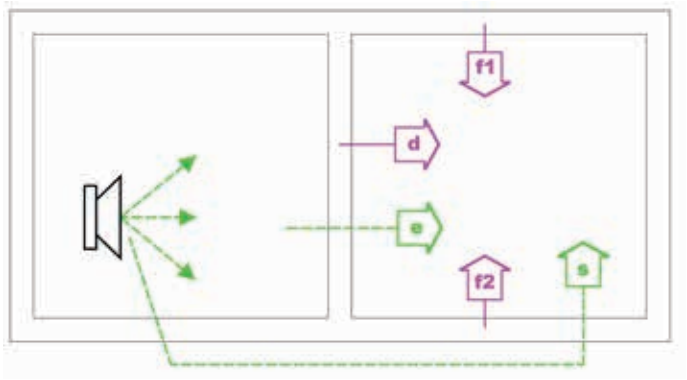
Przenoszenie pośrednie dźwięków podzielić można w sposób pokazany poniżej:

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

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

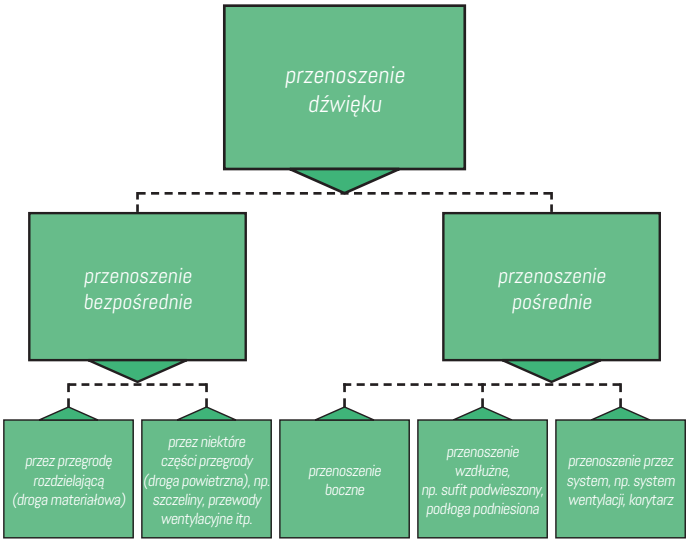
4.1. Izolacyjność akustyczna przybliżona od dźwięków powietrznych

W przypadku przybliżonej izolacyjności od dźwięków powietrznych (dot. sytuacji między pomieszczeniami w budynku określonej dla warunków terenowych) należy uwzględniać 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 bezpośrednie drogami materiałowymi, f1 i f2 – przenoszenie pośrednie przykładowymi drogami materiałowymi, e – przenoszenie bezpośrednie drogą powietrzną, s – przenoszenie pośrednie drogą przez system [15].

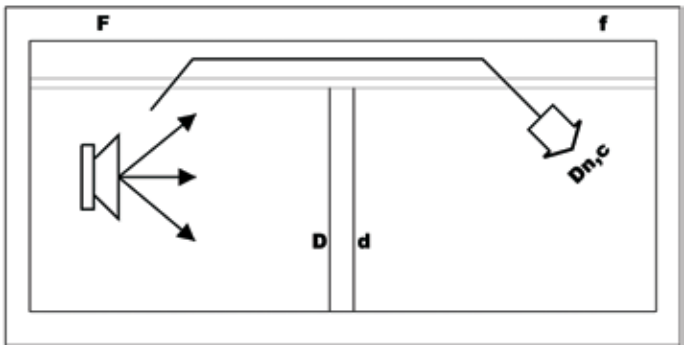
Na rys. 6 przedstawiono schemat dotyczący dróg przenoszenia dźwięku powietrznego, które mogą wystąpić w budynku.



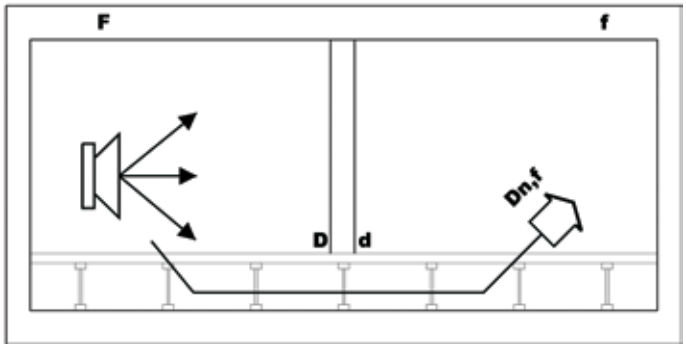
Rys. 6. Schemat przenoszenia dźwięków powietrznych między pomieszczeniami [15].

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

a)



b)



Rys. 7. Schemat przenoszenia dźwięków powietrznych drogą pośrednią przez: a) sufit podwieszony oraz b) podłogę podniesioną [15], [18].

Dla sytuacji, w której występuje przenoszenie pośrednie dźwięku przybliżoną izolacyjność akustyczną właściwą definiujemy jak niżej.

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

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.

Przy założeniu, że pola akustyczne w obu pomieszczeniach są dostatecznie rozproszone (taka sytuacja ma miejsce w pomieszczeniach pogłosowych), to wielkość tę możemy zdefiniować analogicznie do

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

wielkości określonej w warunkach laboratoryjnych jak we wzorze (2):

oznaczenia jak we wzorze (2).

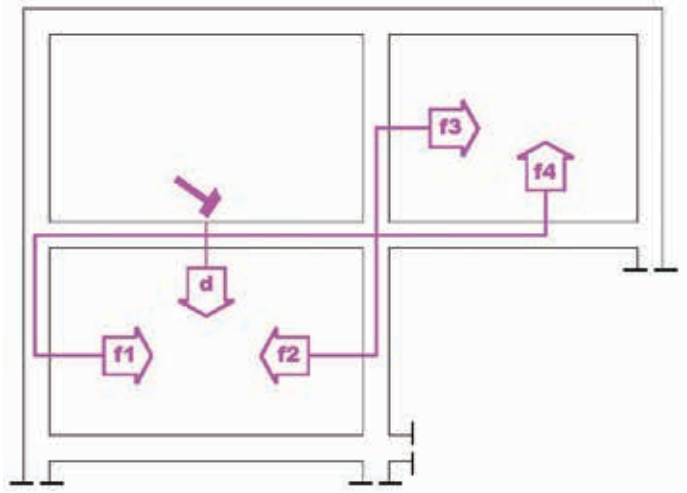
Dla przypadków, gdy konieczna jest ocena dźwiękoizolacyjności przegrody w oderwaniu od jej powierzchni (np. gdy powierzchnia przegrody S, wspólna w obu przyległych pomieszczeniach, jest mniejsza od 10 m^2 [11]) stosowany jest parametr wzorcowej różnicy poziomów, określony za pomocą następującego wzoru:

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

gdzie: T – czas pogłosu w pomieszczeniu odbiorczym, s
T_0 – czas pogłosu odniesienia; w mieszkaniach T_0 = 0.5, s

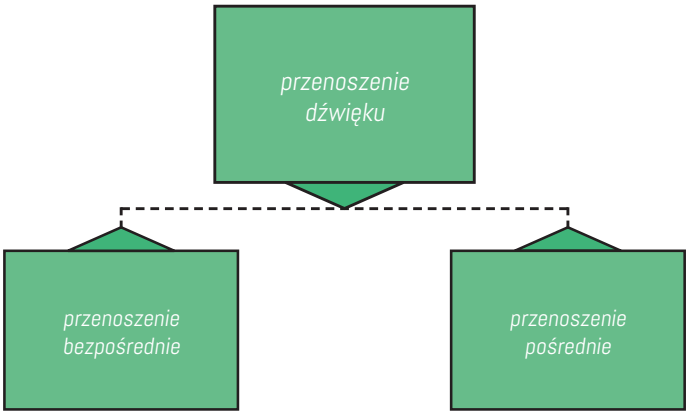
4.2. Izolacyjność akustyczna przybliżona od dźwięków uderzeniowych

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



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 [16].

Na rys. 9 przedstawiono schemat dotyczący dróg przenoszenia dźwięku uderzeniowego, które mogą wystąpić w budynku.



Rys. 9. Schemat przenoszenia dźwięków uderzeniowych między pomieszczeniami [16].

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

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

Oznaczenia jak we wzorze (5).

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

Określenie parametrów dźwiękoizolacyjnych przegród i elementów w budynku można wykonać za pomocą metod pomiarowych [20]÷[28]. 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 12354 [15], [16] i [17] 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 pracochłonności 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 instrukcję pozwalającą w łatwy sposób oszacować prognozowane wartości wskaźników oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej dla szeregu rozwiązań istniejących na rynku [33].

5.1. Prognoza izolacyjności od dźwięków powietrznych

Przedstawiona poniżej „metoda szacunkowa" [34] dotyczy określenia wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,1}$ poprzez przyjęcie bocznego przenoszenia dźwięku jako stabelaryzowanej wartości poprawki K_a wg wzoru:

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

gdzie: $R_{A,1,R}$ - wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej, projektowy w dB,
K_a – poprawka określająca wpływ bocznego przenoszenia dźwięku, na wartość wskaźnika $R'_{A,1}$, w dB.

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

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

Wartości poprawki K_a przyjąć należy z tablic [34] 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.
W przypadku braku danych pomiarowych, dla ścian wykonanych z żelbetu, betonu zwykłego i betonu komórkowego, dopuszcza się korzystanie z wzorów empirycznych „prawa masy" [30] przedstawionych poniżej.
Wartości wskaźników oceny izolacyjności akustycznej właściwej dla ścian z betonu zwykłego 2200÷2400 kg/m^3 i m'>100 kg/m^2:

$$R_{A,1,R} = 30.9 \cdot \log m' - 26.1, \text{ dB} \quad (12)$$
$$R_{A,2,R} = 30.9 \cdot \log m' - 29.6, \text{ dB} \quad (13)$$

Wartości wskaźników oceny izolacyjności akustycznej właściwej dla ścian z betonu komórkowego odmiany 300÷700 i m'=40÷70 kg/m^2:

$$R_{A,1,R} = 17.9 \cdot \log m' + 4.4, \text{ dB} \quad (14)$$
$$R_{A,2,R} = 10.5 \cdot \log m' + 15, \text{ dB} \quad (15)$$

Wartości wskaźników oceny izolacyjności akustycznej właściwej dla ścian z betonu komórkowego odmiany 300÷700 i m'=71÷250 kg/m^2:

$$R_{A,1,R} = 25.5 \cdot \log m' - 9.1, \text{ dB} \quad (16)$$
$$R_{A,2,R} = 25.5 \cdot \log m' - 12.6, \text{ dB} \quad (17)$$

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

Dla ścian murowanych z bloków wapienno-piaskowych norma PN-EN-12354-1 [15] 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.

$$R_w = 37.5 \cdot \log m' - 42, \text{ dB} \quad (18)$$
$$R_{A,1,R} = R_w + C - 2, \text{ dB} \quad (19)$$

gdzie: C – norma zaleca przyjmować wartość -1 lub -2 dB.

Poniżej w tablicy 4 przedstawiono porównanie wartości wskaźnika $R_{A,1,R}$ dla ścian z bloków wapienno-piaskowych uzyskane na drodze pomiarów laboratoryjnych oraz na podstawie powyższych wzorów.

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

Grubość ściany bez tynku *	Pomiar $R_{A,1,R}$, [dB]	Oszacowanie $R_{A,1,R}$, [dB]	Różnica, [dB]
12 cm	45	37	-8
18 cm	48	44	-4
24 cm	52	47	-5
25 cm	53	49	-4

* 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 *	Pomiar $R_{A,1,R}$, [dB]	Oszacowanie $R_{A,1,R}$, [dB]	Różnica, [dB]
12 cm	47	42	-5
18 cm	54	50	-4
25 cm	56	54	-2

* 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 znaczącego niedoszacowania jego wartości, nawet o 8 dB. Tak więc pomimo że, jak to określa norma, [15] jest to „rozsądnie bezpieczny" sposób na oszacowanie wskaźnika, to na pewno nie jest racjonalny. Poniżej przedstawiono porównanie wartości wskaźnika $R_{A,1,R}$ oszacowanego za pomocą wzoru (12) opracowanego przez Zakład Akustyki ITB dla ścian z betonu zwykłego. Powyższe porównanie wskazuje, że oszacowane za jego pomocą wartości wskaźnika w lepszym stopniu odzwierciedlają rzeczywiste (wyznaczone w laboratorium) własności dźwiękoizolacyjne ścian wykonanych z bloków wapienno-piaskowych. Należy w tym miejscu wyraźnie zaznaczyć, że stosowanie wzoru (12) w praktyce projektowej dla ścian z bloczków 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 krajowym rynku.

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

Grubość ściany bez tynku *	Pomiar $R_{A,1,R}$, [dB]	Oszacowanie $R_{A,1,R}$, [dB]	Różnica, [dB]
12 cm	45	43	-2
18 cm	48	48	0
24 cm	52	51	-1
25 cm	53	52	-1

* 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 *	Pomiar $R_{A,1,R}$, [dB]	Oszacowanie $R_{A,1,R}$, [dB]	Różnica, [dB]
12 cm	47	46	-1
18 cm	54	53	-1
25 cm	56	56	0

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

5.2. Prognoza izolacyjności od dźwięków uderzeniowych

Przedstawiona poniżej „metoda uproszczona" [16] 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:

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_w + K, \text{ dB} \quad (20)$$

gdzie: $L_{n,w,eq}$ – równoważny ważony wskaźnik poziomu uderzeniowego znormalizowanego dla stropu bez dodatkowych warstw w dB,
L_w – ważony wskaźnik zmniejszenia poziomu uderzeniowego przez podłogę w dB,
K – poprawka uwzględniająca przenoszenie dźwięków uderzeniowych przez jednorodne elementy boczne w dB (tablica 4).

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" [16].
Średnią masę powierzchniową przegród bocznych, od której zależy wartość poprawki K należy obliczać z wyrażenia:

$$m_{b,śr} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} S_{bi}} \sum_{i=1}^{n} (m_{bi} \cdot S_{bi}), \text{ kg/m}^2 \quad (21)$$

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

W tablicy 6 przedstawiono wartości poprawki *K* uwzględniającej przenoszenie dźwięków uderzeniowych przez jednorodne elementy boczne [16].

Tablica 6. Poprawka *K* dotycząca przenoszenia bocznego dźwięku uderzeniowego, w dB [16].

Średnia masa powierzchniowa elementu rozdzielającego (stropu), kg/m^2	Średnia masa powierzchniowa jednorodnych elementów bocznych niepokrytych dodatkowymi warstwami, kg/m^2								
	100	150	200	250	300	350	400	450	500
10	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	2	1	1	1	1	1
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

6. Wymagana izolacyjność akustyczna wg PN-B-02151-3:2015-10 [11]

W tablicy 7 przedstawiono zaczerpnięte z normy [11] 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 fakt, że w przypadku ścian i stropów w obrębie mieszkania oraz drzwi wymagania dotyczą wartości projektowego wskaźnika oceny ($R_{A,1,R}$, $L_{n,w,R}$) w przeciwieństwie do pozostałych przegród, dla których należy określić wartość wskaźnika oceny przybliżonej ($R'_{A,1}$, $D_{nT,A1}$, $R'_{A,2}$, $L'_{n,w,R}$), a więc wartość uwzględniającą przenoszenie pośrednie dźwięku. Nieprzekroczenie wartości granicznych wskaźników (kolumna 4, tablica 7) podanych w normie oznacza spełnienie wymagań w zakresie izolacyjności akustycznej.

$$R'_{A,1} \geq \min R'_{A,1} \quad (22)$$

$$R'_{A,2} \geq \min R'_{A,2} \quad (23)$$

$$L'_{n,w} \leq \max L'_{n,w} \quad (24)$$

$$R'_{A,1,R} \geq \min R'_{A,1,R} \quad (25)$$

$$D_{nT,A,1} \geq \min D_{nT,A,1} \quad (26)$$

Tablica 7. Wskaźniki charakteryzujące izolacyjność akustyczną przegrody w budynku i elementów budowlanych, w dB [11].

Lp.	Przegroda	Rodzaj dźwięków za-kłócających
1	2	3
1	ściana wewnętrzna z wyjątkiem ścian działowych w obrębie mieszkania	powietrzne
2	ściana działowa w obrębie mieszkania	powietrzne
3	strop między pomieszczeniami, z wyjątkiem stropów w obrębie mieszkania, oraz podesty schodowe	powietrzne
		uderzeniowe
4	stropy w obrębie mieszkania	powietrzne
		uderzeniowe
5	drzwi wewnętrzne	uderzeniowe
6	dodatkowe ustroje izolacyjne na przegrodach wewnętrznych b)	powietrzne
7	ściana zewnętrzna, stropodach bez okien lub z oknami	powietrzne
8	okna lub drzwi balkonowe w przegrodzie zewnętrznej	powietrzne
9	nawiewniki powietrza zewnętrznego stosowane w przegrodach zewnętrznych b)	powietrzne
10	dodatkowe ustroje izolacyjne na przegrodach zewnętrznych b)	powietrzne

a) Wskaźnik oceny wzorcowej różnicy poziomów $D_{nT,A1}$ należy stosować, gdy powierzchnia przegrody *S*, wspólna w obu przyległych pomieszczeniach, jest mniejsza od 10 m^2.
b) Daną konstrukcję lub element przegrody należy oceniać łącznie z przegrodą, z którą jest powiązana.

Wskaźnik izolacyjności w budynku akustycznej przegrody		Wskaźnik izolacyjności akustycznej elementów budowlanych przeznaczonych do zastosowania w budynku jako przegroda	
Nazwa i symbol	Metoda obliczania wskaźnika	Nazwa i symbol	Metoda obliczania wskaźnika
4	5	6	7
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
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
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
wskaźnik ważony przybliżonego poziomu uderzeniowego znormalizowanego przybliżonego $L'_{n,w}$	PN-EN ISO 717-2	wskaźnik ważony poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L_{n,w}$	PN-EN ISO 717-2
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
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
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
-	-	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
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
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
-	-	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
-	-	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

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.

6.1. Wymagania normowe dotyczące przegród wewnętrznych

Poniżej w tablicy 8 podano wymagania dotyczące minimalnych wartości wskaźników izolacyjności od dźwięków powietrznych przegród wewnętrznych w budynkach mieszkalnych, w tablicy 9 podano z kolei dla tych samych budynków maksymalne wartości wskaźnika ważonego znormalizowanego poziomu uderzeniowego.

Tablica 8. Izolacyjność od dźwięków powietrznych przegród wewnętrznych w budynkach mieszkalnych [11].

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	$R'_{A,1}$ a)	≥ 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 zarówno 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 wielopoziomowym (dwupoziomowym)	$R_{A,1,R}$	≥ 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 m^2, 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, na przykład: kluby fitness, siłownie, szkoły tańca, rozdzielnie paczek w urzędach pocztowych itp.
d) Nie zaleca się lokalizacji tego rodzaju pomieszczeń w budynkach mieszkalnych.

Tablica 9. Dopuszczalny poziom dźwięków uderzeniowych przenikających do pomieszczeń chronionych w budynkach mieszkalnych [11].

Lp.	Rodzaj przegrody	Rodzaj wskaźnika	Wartość wskaźnika, dB
1	2	3	4
I	**Budynki wielorodzinne**		
I.1	Poziom dźwięków uderzeniowych przenikających między mieszkaniami a) b) c)	$L'_{n,w}$	≤ 55
I.2	Poziom dźwięków uderzeniowych przenikających do mieszkania z pomieszczeń komunikacji ogólnej: korytarzy, holi, podestów c)	$L'_{n,w}$	≤ 55
I.3	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)	$L'_{n,w}$	≤ 48e)

I.4	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)	$L'_{n,w}$	≤ 38e)
I.3.5	Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych stropu w obrębie mieszkania	$R_{A1,R}$	≥ 35
II	**Budynki jednorodzinne**		
II.1	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.)	$L'_{n,w}$	≤ 53
II.2	Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych stropu (wraz z podłogą) w obrębie budynku jednorodzinnego wielopoziomowego	$L_{n,w,R}$	≤ 58

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.
b) W przypadku stropów w pomieszczeniach sanitarnych wymaganie dotyczące przenoszenia dźwięku uderzeniowego do pokoju „obcego mieszkania".
c) Wymaganie dotyczy wszystkich kierunków rozprzestrzeniania dźwięku w budynkach. W przypadku mieszkań wielopoziomowych dotyczy także przenoszenia dźwięków z wewnętrznych stropów i wewnętrznych klatek schodowych.
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.
e) Równocześnie należy spełnić wymaganie wg PN-B-02151-2 dotyczące dopuszczalnego poziomu hałasu przenikającego do pomieszczenia chronionego z pomieszczeń ze źródłami hałasu.
f) Na przykład kluby fitness, siłownie, szkoły tańca, rozdzielnie paczek w urzędach pocztowych itp.
g) Nie zaleca się lokalizacji tego rodzaju pomieszczeń w budynkach mieszkalnych.

W analogiczny sposób jak w tablicy 8 i 9 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 10.

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

Lp.	Rodzaj przegrody
1	2
I	**Budynki wielorodzinne**
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

6.2. 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 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:

$$R'_{A,2} = L_{A,zew} - L_{A,wew} + 10\lg\left(\frac{S}{A}\right) + 3, \text{ dB} \quad (27)$$

gdzie: $L_{A,zew}$ – miarodajny poziom hałasu na zewnątrz danej przegrody zewnętrznej, wartość zaokrąglona do pełnej liczby decybeli,
$L_{A,wew}$ – poziom odniesienia do obliczania izolacyjności akustycznej przegrody zewnętrznej w dB,
S – pole rzutu powierzchni przegrody zewnętrznej na płaszczyznę fasady lub dachu widzianej od strony pomieszczenia w m^2,
A – chłonność akustyczna pomieszczenia w oktawowym paśmie o częstotliwości f = 500 Hz bez wyposażenia pomieszczenia i obecności użytkowników w m^2,
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:

$$A = \frac{0.16 \cdot V}{T}, \text{ m}^2 \quad (28)$$

gdzie: V - objętość pomieszczenia w 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, za wyjątkiem pomieszczeń, dla których w PN-B-02151-4 [12] 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* $L_{A,max,zew,N}$ 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 [11], 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, a także 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 łączna 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 zarówno z hałasem od komunikacji drogowej lub szynowej, jak i hałasem lotniczym, wówczas należy uwzględnić to, obliczając średnia „energetyczną" [10]:

$$L_{Aeq,zew} = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^{n} \left(10^{0.1 \cdot L_{Aeq,zew,i}} \right), \text{ dB} \quad (29)$$

gdzie: $L_{Aeq,zew,i}$ – miarodajny, równoważny poziom dźwięku *A* hałasu zewnętrznego pochodzącego od jednego rodzaju źródeł hałasu dla pory dnia lub nocy, w 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 tablicy 11 i 12 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 11 należy korzystać, jeżeli miarodajny poziom hałasu zewnętrznego dotyczy wartości równoważnych $L_{Aeq,zew}$, natomiast z tablicy 10, jeżeli miarodajny poziom hałasu zewnętrznego odnosi się do hałasu lotniczego i dotyczy wartości maksymalnych $L_{Amax,zew}$. Poziomy odniesienia podane w tablicy 9 nie są przeznaczone do oceny wyników pomiarów (kontroli) poziomu dźwięku *A*, hałasu zewnętrznego przenikającego do pomieszczenia.

Tablica 11. Poziom odniesienia $L_{Aeq,wew}$ dotyczący miarodajnego równoważnego poziomu dźwięku *A*, hałasu zewnętrznego [11].

Lp.	Rodzaj budynku	Rodzaj pomieszczenia	Poziom 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		
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 $L_{Amax,wew}$ dotyczący miarodajnego maksymalnego poziomu hałasu zewnętrznego pochodzącego od operacji lotniczych dotyczy pory nocy i odnosi się do tych pomieszczeń, dla których w tablicy 11 podano poziomy odniesienia $L_{Aeq,wew}$ dla nocy.

Tablica 12. 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 [11].

Lp.	Średnia liczba N operacji lotniczych w nocy w czasie oceny	Rodzaj pomieszczenia
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 poziom 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 (27) wymagania dotyczące minimalnej izolacyjności akustycznej właściwej przegrody zewnętrznej należy porównać z wypadkową izolacyjnością akustyczną właściwą przegrody zewnętrznej obliczoną wg wzoru (30).

Wzór (30) można również wykorzystać do określenia minimalnych parametrów dźwiękoizolacyjnych części składowych przegrody, takich jak część pełna przegrody, okna, drzwi balkonowe i nawiewniki.

W myśl normy [11] 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.

$$R_{wypadkowa} = -10 \cdot \log\left(\frac{S_p}{S} \cdot 10^{-0.1 \cdot R_p} + \sum_{i=1}^{m} \frac{S_{o,i}}{S} \cdot 10^{-0.1 \cdot R_{o,i}} + \sum_{j=1}^{k} \frac{10}{S} \cdot 10^{-0.1 \cdot Dn,e,j}\right), \text{dB} \quad (30)$$

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: $S = S_p + S_{o,i}$,
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 oktawowych wstawia się odpowiednie wartości wskaźników oceny tych wielkości.

UWAGA W przypadku przegród zewnętrznych udział przenoszenia bocznego można zazwyczaj pominąć [17]. Wówczas wartość wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej przegrody zewnętrznej można zapisać jak niżej.

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

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 [17]. W przypadku pomieszczeń, w których występuje więcej niż jedna przegroda zewnętrzna sposób wykonania obliczeń zależny jest 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 (27). W przypadku, kiedy pomieszczenie posiada kilka przegród zewnętrznych i poziomy hałasu przy przegrodach są różne, to spełnienie wymagań zawartych w tablicy 1 możliwe jest do spełnienia przy różnych kombinacjach izolacyjności przegród zewnętrznych. Norma [11] 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 $10lg(P)$ 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 wykonać można przy uwzględnieniu wyłącznie przegród 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).

7. 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.

7.1. Dopuszczalny poziom hałasu w środowisku

Zgodnie z Ustawą z dnia 27 kwietnia 2001 r. 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 6^{00} do 18^{00}), pory wieczoru (rozumianej jako przedział czasu od godziny 18^{00} do 22^{00}) oraz pory nocy (rozumianej jako przedział czasu od godziny 22^{00} do 6^{00}),
- 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 22^{00} do 6^{00}).

Do ustalania i kontroli warunków korzystania ze środowiska w odniesieniu do jednej doby mające zastosowanie wskaźniki hałasu $L_{Aeq\ D}$ i $L_{Aeq\ N}$:

- $L_{Aeq\ D}$ – równoważny poziom dźwięku A dla pory dnia (rozumianej jako przedział czasu od godz. 6^{00} do godz. 22^{00}),
- $L_{Aeq\ N}$ – równoważny poziom dźwięku A dla pory nocy (rozumianej jako przedział czasu od godz. 22^{00} do godz. 6^{00}).

W Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku [Dz.U. 2007 nr 120,

poz. 826], z późniejszymi zmianami [4] określone zostały wartości dopuszczalnych poziomów hałasu. Wartości dopuszczalne wyrażone są wskaźnikami hałasu L_{DWN}, L_N, $L_{Aeq\,D}$ i $L_{Aeq\,N}$ 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 13. 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 obiekty 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 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 14. 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 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 15. 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 obiekty 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 16. 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 hałasu, 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 Tereny zabudowy związanej ze stałym lub czasowym pobytem dzieci i młodzieży c) Tereny mieszkaniowo - usługowe d) 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.

7.2. 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 Rozpo-

rządzenie 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].

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 tab. 17 kolumna 3 i 4. Poziom dźwięku *A* hałasu przenikającego do pomieszczenia oddzielnie od poszczególnych instalacji stanowiących techniczne wyposażenie budynku mieszkalnego, nieregulowanych i niewyłączanych z danego pomieszczenia (w przypadku budynku mieszkalnego – z danego mieszkania) oraz od poszczególnych urządzeń i instalacji działających w pomieszczeniach niezwiązanych funkcjonalnie z danym budynkiem lub zlokalizowanych na zewnątrz budynku w terenie lub innych obiektach nie może przekraczać wartości podanych w tablicy 17:

- 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 zarówno dla pory nocy, jak dla dnia.

Wymagania podane w tablicy 17 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 17. Dopuszczalny poziom dźwięku *A* w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania ludzi, w 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 za 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, audytoria	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 zsypów 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 18. Dopuszczalny poziom dźwięku *A* w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania ludzi, w dB [8].

Lp.	Przeznaczenie, charakter pracy urządzenia	Dopuszczalny maksymalny poziom dźwięku *A*, (L_{Amax}), w 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 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 indywidulanie w zależności od możliwych do zastosowania w konkretnym przypadku zabezpieczeń akustycznych. Nie może być on jednak 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 6^{00} a 22^{00}) i nieprzerwanie pół godziny w ciągu nocy (między 22^{00} a 6^{00}). 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 [19].

8. 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 [11].

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 [20],

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 [21],

PN-EN ISO 140-6:1999 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary laboratoryjne izolacyjności od dźwięków uderzeniowych stropów [22],

PN-EN ISO 140-7:2000 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary terenowe izolacyjności od dźwięków uderzeniowych stropów [23],

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 [24],

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 [25],

PN-EN 20140-3:1999 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary laboratoryjne izolacyjności od dźwięków powietrznych elementów budowlanych [26],

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 [27],

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 [28].

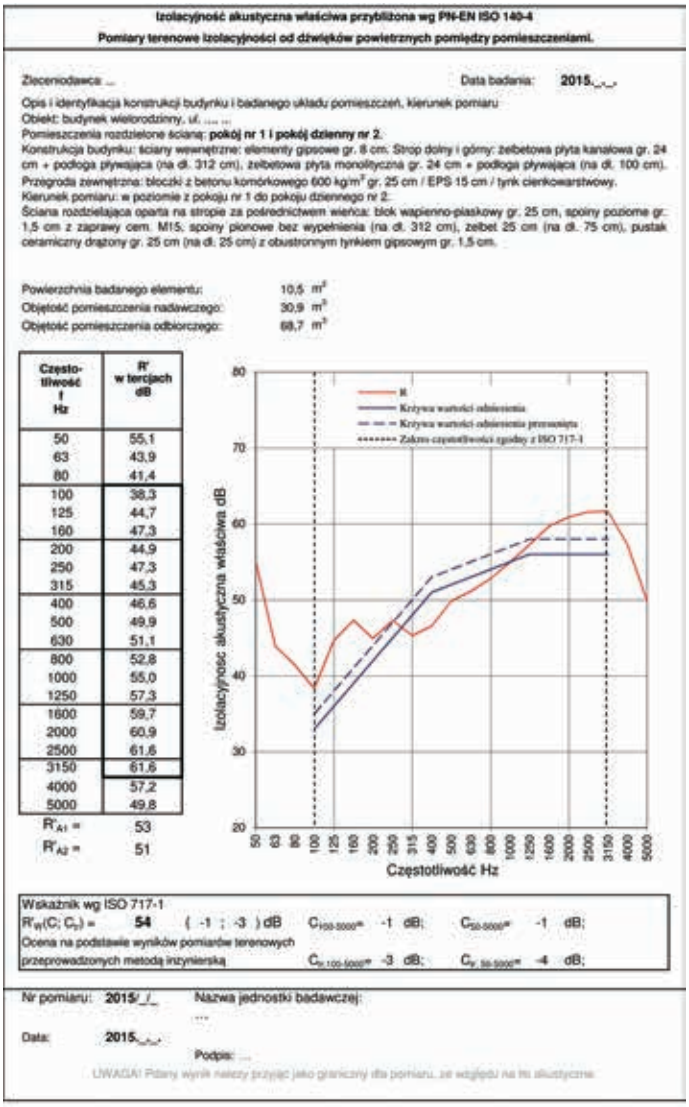
Część norm powołanych w rozporządzeniu [3] została zastąpiona poprzez znowelizowane arkusze lub zupełnie nowe normy. W kolejnych nowelizacjach warunków technicznych powyższy fakt zapewne zostanie uwzględniony i wówczas jednostki wykonujące pomiary izolacyjności akustycznej powinny wykonywać je zgodnie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

Na rys. 11 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 identyfikacje 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 oktawowych lub oktawowych 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_{tr}).



Izolacyjność akustyczna właściwa przybliżona wg PN-EN ISO 140-4

Pomiary terenowe izolacyjności od dźwięków powietrznych pomiędzy pomieszczeniami.

Zleceniodawca: ... Data badania: 2015._._.

Opis i identyfikacja konstrukcji budynku i badanego układu pomieszczeń, kierunek pomiaru

Obiekt: budynek wielorodzinny, ul. ..., ...

Pomieszczenia rozdzielone ścianą: **pokój nr 1 i pokój dzienny nr 2.**

Konstrukcja budynku: ściany wewnętrzne: elementy gipsowe gr. 8 cm; Strop dolny i górny: żelbetowa płyta kanałowa gr. 24 cm + podłoga pływająca (na dł. 312 cm), żelbetowa płyta monolityczna gr. 24 cm + podłoga pływająca (na dł. 100 cm).

Przegroda zewnętrzna: bloczki z betonu komórkowego 600 kg/m^3 gr. 25 cm / EPS 15 cm / tynk cienkowarstwowy.

Kierunek pomiaru: w poziomie z pokoju nr 1 do pokoju dziennego nr 2.

Ściana rozdzielająca oparta na stropie za pośrednictwem wieńca: blok wapienno-piaskowy gr. 25 cm, spoiny poziome gr. 1,5 cm z zaprawy cem. M15; spoiny pionowe bez wypełnienia (na dł. 312 cm), żelbet 25 cm (na dł. 75 cm), pustak ceramiczny drążony gr. 25 cm (na dł. 25 cm) z obustronnym tynkiem gipsowym gr. 1,5 cm.

Powierzchnia badanego elementu: 10,5 m^2

Objętość pomieszczenia nadawczego: 30,9 m^3

Objętość pomieszczenia odbiorczego: 68,7 m^3

Częstotliwość f Hz	R' w tercjach dB
50	55,1
63	43,9
80	41,4
100	38,3
125	44,7
160	47,3
200	44,9
250	47,3
315	45,3
400	46,6
500	49,9
630	51,1
800	52,8
1000	55,0
1250	57,3
1600	59,7
2000	60,9
2500	61,6
3150	61,6
4000	57,2
5000	49,8
R'_{A1} =	53
R'_{A2} =	51

Wskaźnik wg ISO 717-1

$R'_w(C; C_{tr})$ = **54** (-1 ; -3) dB $C_{100-5000}$= -1 dB; $C_{50-5000}$= -1 dB;

Ocena na podstawie wyników pomiarów terenowych przeprowadzonych metodą inżynierską $C_{tr,100-5000}$= -3 dB; $C_{tr,\ 50-5000}$= -4 dB;

Nr pomiaru: 2015/_/_ Nazwa jednostki badawczej: ...

Data: 2015._._. Podpis: ...

UWAGA! Pdany wynik należy przyjąć jako graniczny dla pomiaru, ze względu na tło akustyczne

Rys. 10. 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 miały 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 wnętrz, 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 3 a i b przedstawiono widok pomieszczeń w trakcie realizacji terenowych pomiarów izolacyjności od dźwięków powietrznych.

Fot. 3. Widok pomieszczeń w trakcie realizacji terenowych pomiarów izolacyjności od dźwięków powietrznych. Od lewej: a) widok pomieszczenia nadawczego z usytuowanym źródłem dźwięku o charakterystyce kulistej oraz mikrofonem pomiarowym służącym do rejestracji poziomu ciśnienia akustycznego. Po prawej: b) widok pomieszczenia odbiorczego.

9. 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 nie tylko z braku wiedzy lub oszczędności, lecz także z 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 wnętrz budowlanych i urbanistycznych. Mając na uwadze obszerność problemu oraz główną tematykę publikacji, poniżej przedstawiono szerzej wyłącznie zagadnienia związane z akustyką budowlaną.

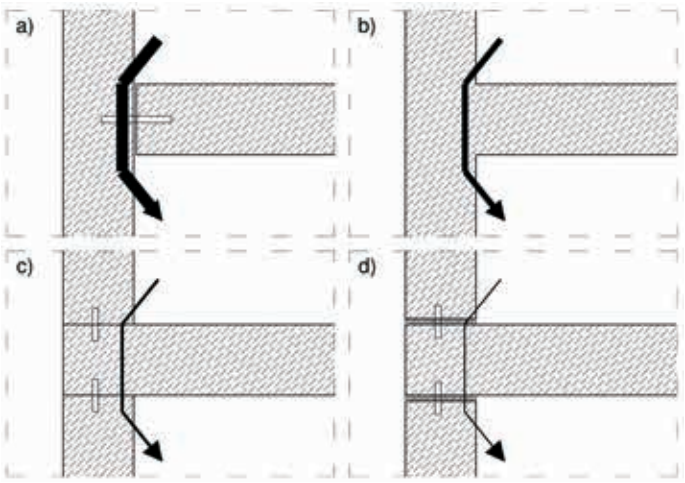
Akustyka budowlana obejmuje zagadnienia związane z eliminowaniem lub ograniczaniem poziomów hałasu, powstających w pomieszczeniach lub przenikających do nich z innych pomieszczeń lub z zewnątrz, za pomocą rozwiązań budowlanych, a w szczególności przez:

- 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 ograni-

czenia poziomu hałasu w pomieszczeniach o nadmiernym hałasie lub w pomieszczeniach wymagających ciszy, np. w pomieszczeniach rekreacyjnych, salach konferencyjnych.

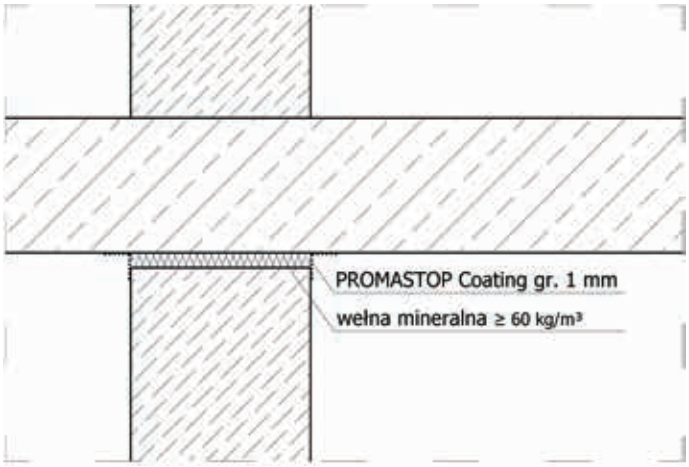
Poniżej zilustrowano kilka typowych przypadków dotyczących zagadnień dźwiękoizolacyjnych związanych z wykonawstwem ścian murowanych.

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.). Poniżej na rys. 11a÷11d przedstawiono schematycznie możliwe sposoby wykonania takiego łączenia. Symbolicznie strzałką zaznaczono przenoszenie energii akustycznej drogą materiałową przez ścianę boczną (grubość linii symbolizuje wielkość przenoszenia bocznego).



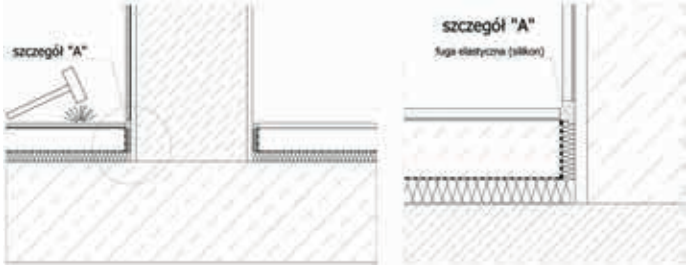
Rys. 11. Schematyczne przedstawienie możliwych sposobów wykonania połączenia ściany rozdzielającej pomieszczenia ze ścianą zewnętrzną: a) na styk, b) wiązanie murarskie, c) poprzez rozdzielenie ściany zewnętrznej, d) poprzez rozdzielenie ściany zewnętrznej i umieszczenie warstwy materiału sprężystego.

Kolejnym elementem związanym z wykonawstwem jest sposób połączenie 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 przy pomocy systemu PROMASTOP Coating [30]. Na rys. 12 pokazano szczegół prawidłowo wykonanej szczeliny podstropowej.

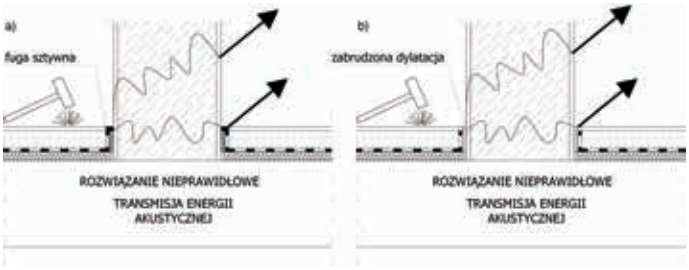


Rys. 12. Szczegół prawidłowo wykonanej szczeliny podstropowej [36].

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, lecz 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 rys. 13 przedstawiono schematycznie prawidłowe rozwiązanie, natomiast na rys. 14 przypadek niewłaściwego wykonania dylatacji obwodowej: a) wykonanie fugi sztywnej, b) zabrudzenie dylatacji obwodowej spowodowane usunięciem taśmy.

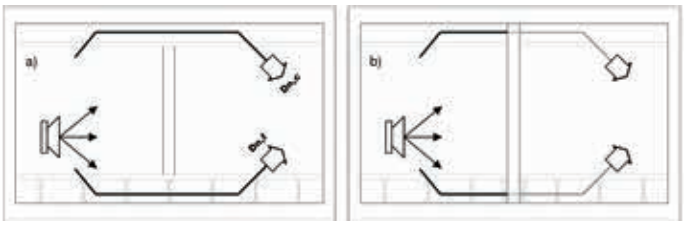


Rys. 13. Szczegół prawidłowo wykonanej fugi w postaci szczeliny dylatacyjnej wypełnionej silikonem.



Rys. 14. 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 rysunkiem nr 15.

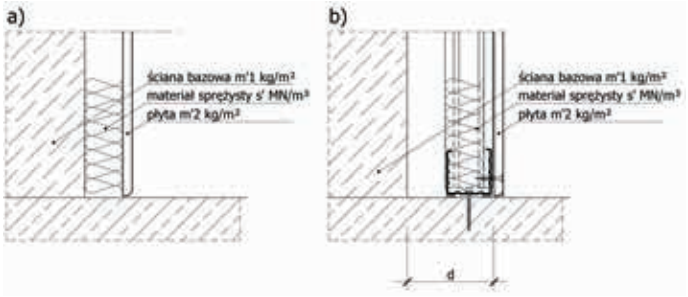


Rys. 15. Schematyczne przedstawienie oparcia ściany: a) na podłodze podniesionej oraz wyprowadzenie jej do płaszczyzny sufitu podwieszonego, b) bezpośrednio na stropie oraz wyprowadzenie jej ponad płaszczyznę sufitu podwieszonego aż do powierzchni stropu (rozwiązanie zalecane w przypadku wysokich wymagań dźwiękoizolacyjnych).

10. Możliwości poprawy izolacyjności akustycznej pomiędzy pomieszczeniami

Najczęściej spotykaną metodą poprawy izolacyjności akustycznej przegród jest wykonanie dodatkowych ustrojów, takich jak: elastycznie montowana płyta na ścianie, pływająca podłoga czy podwieszony sufit. Skuteczność powyższych metod zależna jest 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 więcej energii akustycznej przedostanie się do pomieszczenia odbiorczego drogami pośrednimi tym efekt wykonania adaptacji będzie „gorszy"). W przypadku, gdy dominującą drogą przenoszenia energii jest droga pośrednia, adaptacja przegrody rozdzielającej pomieszczenia jest bezcelowa. Wśród metod dotyczących adaptacji ścian można wyróżnić dwie zasadnicze grupy [15]:

- dodatkowe warstwy izolacyjne przymocowane są bezpośrednio do podstawowej konstrukcji (bez kołków lub listew) – rys. 16a,
- ustroje na szkielecie metalowym lub drewnianym (szkielet nie może być mocowany bezpośrednio do podstawowej konstrukcji za pomocą sztywnych łączników przenoszących drgania) – rys. 16b.



Rys. 16. 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 tablicą poniżej [16].

Tablica 19. Przyrost ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej właściwej, spowodowany obecnością ustroju (dodatkowej warstwy), w zależności od częstotliwości rezonansowej [16].

Częstotliwość rezonansowa f_0 ustroju w Hz	ΔR_w, w dB
1.	2.
≤ 80	35- R_w/2
100	32- R_w/2
125	30- R_w/2
160	28- R_w/2
200	-1
250	-3
315	-5
400	-7
500	-9
630 - 1600	-10
> 1600	-5

Uwaga 1 Dla częstotliwości rezonansowej poniżej 200 Hz minimalna wartość ΔR_w wynosi 0 dB.
Uwaga 2 Wartości dla środkowych częstotliwości rezonansowych mogą być określane za pomocą liniowej interpolacji logarytmu z częstotliwości.
Uwaga 3 R_w oznacza ważony wskaźnik izolacyjności akustycznej właściwej ściany lub stropu bez dodatkowych warstw, w dB.

W przypadku dodatkowego ustroju bezpośrednio przymocowanego do konstrukcji (rys. 16 a) wartość częstotliwości rezonansowej można określić za pomocą wzoru (32) wg PN-EN 12354-1:2002 [16]:

$$f_0 = 160\sqrt{S'\left(\frac{1}{m'_1}+\frac{1}{m'_1}\right)} \quad (32)$$

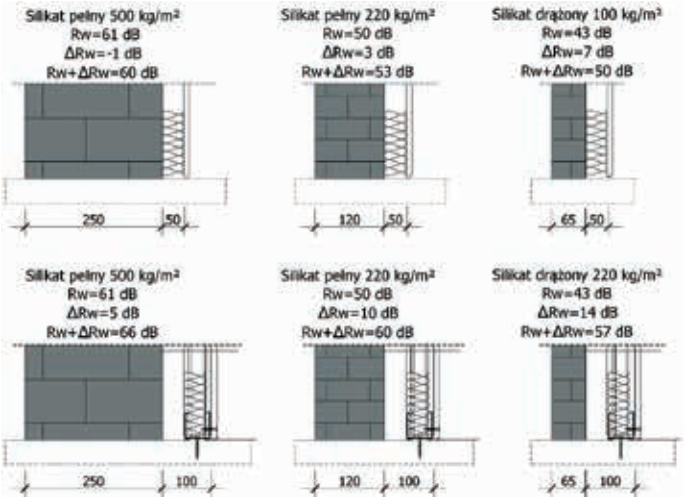
gdzie: S' – sztywność dynamiczna warstwy izolacyjnej zgodnie z normą EN 29052-1, w MN/m^3.
m'_1 – masa powierzchniowa podstawowego (bazowego) elementu konstrukcyjnego, w kg/m^2,
m'_2 – masa powierzchniowa dodatkowej warstwy, w kg/m^2.

Dla dodatkowego ustroju na szkielecie metalowym lub drewnianym (rys. 16 b) wartość częstotliwości rezonansowej można określić za pomocą wzoru (33) wg PN-EN 12354-1:2002 [16]:

$$f_0 = 160\sqrt{\frac{0.111}{d}\left(\frac{1}{m'_1}+\frac{1}{m'_2}\right)} \quad (33)$$

gdzie: d – głębokość wnęki, *w m.*

Na rysunku 17 pokazano przykładowe efekty osiągnięte poprzez adaptację ściany z elementów silikatowych murowych za pomocą przedstawionych wcześniej dodatkowych ustrojów rezonansowych (na podstawie obliczeń wg [15]). 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 $m'_2 = 7.1$ kg/m^2 jak dla pojedynczej płyty GK oraz sztywność dynamiczną materiału sprężystego s'=7 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 ($m'_1 \approx 500$ 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 ≈ 100 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 oraz ustalić możliwe przyczyny niskiej izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami.



Rys. 17. Poprawa izolacyjności akustycznej właściwej przedstawiona za pomocą wartości wskaźnika ΔR_w, osiągnięta poprzez adaptację murowanej ściany ceglanej za pomocą dodatkowych ustrojów rezonansowych.

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 1.

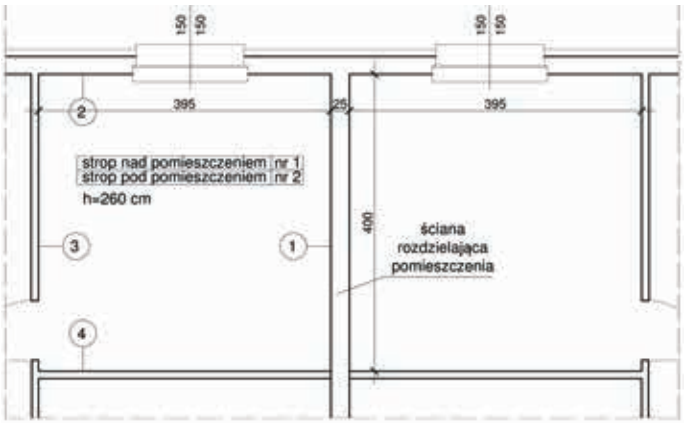
Treść zadania

Określić za pomocą metody szacunkowej [34] wskaźnik oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,1}$ ściany oraz stropu między mieszkaniami. Wynik porównać z wymaganiami normowymi [11].

Dane:

- wysokość użytkowa mieszkania h = 2.6 m,
- ściana międzymieszkaniowa „1" – murowana z elementów wapienno-piaskowych pełnych gr. 25 cm, 416 kg/m^2 (masa bez tynku), 470 kg/m^2 (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 [35]),
- ściana zewnętrzna „2" –: murowana z elementów wapienno-piaskowych drążonych gr. 18 cm, 277 kg/m^2 (masa bez tynku), 335 kg/m^2 (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 [35]),
- okno z kształtowników PVC 4+4/16 (powietrze),
- ściana wewnętrzna „3" i „4" – murowana z elementów drążonych wapienno-piaskowych gr. 8 cm, 105 kg/m^2 (masa bez tynku), 162 kg/m^2 (masa ściany z tynkiem),
- strop żelbetowy gr. 14 cm, powierzchnia s = 15.8 m^2, 336 kg/m^2 + podłoga pływająca (wełna mineralna 2 cm, sztywność dynamiczna s'=22 MN/m^3 + jastrych cementowy 4 cm, ważony wskaźnik zmniejszenia poziomu uderzeniowego ΔL_w = 26 dB [na podstawie danych producenta], $\Delta L_{w,R} = \Delta L_w - 2 = 26 - 2 = 24$ dB).

Dane geometryczne przyjęto jak na rysunku.



Rys. 18. 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 dB (na podstawie normy [11])

Parametry ściany:

$R_{A,1,R}$ = 55 dB (na podstawie materiałów technicznych [35]),

K_a = 3 dB (na podst. tablicy II.1-6.3. wiersz 1.1. Instrukcji ITB nr 406/2005 [34]),

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

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

Odpowiedź:

Izolacyjność akustyczna właściwa przybliżona ściany międzymieszkaniowej wyrażona wskaźnikiem $R'_{A,1}$ wyniosła 52 dB. Tym samym wymagania normy [11] należy uznać za spełnione.

Sprawdzenie izolacyjności akustycznej właściwej stropu międzymieszkaniowego

Wymagania:

min $R'_{A,1}$ = 51 dB (na podstawie normy [11])

Parametry stropu:

$R_{A,1,R}$ = 54 dB (wartość wskaźnika dla stropu z podłogą pływającą na podstawie instrukcji ITB nr 369/2002 [30]),

K_a = 4 dB (na podst. tablicy II.2-1.7. wiersz 3.2. Instrukcji ITB nr 406/2005 [34]),

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

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

Odpowiedź:

Izolacyjność akustyczna właściwa przybliżona stropu międzymieszkaniowego z podłogą pływającą wyrażona wskaźnikiem $R'_{A,1}$ wyniosła 50 dB. Tym samym wymagania normy [11] należy uznać za niespełnione. W celu spełnienia wymagań należy przyjąć strop o wyższej dźwiękoizolacyjności.

Konkluzja

Uwzględnienie podłogi pływającej jak w przykładzie obliczeniowym powyżej, dotyczącym izolacyjności od dźwięków powietrznych stropu obarczone jest błędem szacunkowym. Wyniki pomiarów izolacyjności od dźwięków powietrznych stropu z podłogą i bez [30] 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

Treść zadania:

Określić za pomocą metody uproszczonej [16] wskaźnik ważony przybliżonego poziomu uderzeniowego znormalizowanego przybliżonego $L'_{n,w}$ stropu między mieszkaniami. Wynik porównać z wymaganiami normowymi [11].

Dane przyjęto jak w zadaniu 11.1.

Wymagania:

max $L'_{n,w}$ = 55 dB (na podstawie normy [11])

Parametry stropu:

$L_{n,w,eq}$ = 77 dB (na podst. Instrukcji ITB nr 369/2002 [30])

Średnia masa ścian obliczona na podstawie wzoru (21) 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 (21):

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

$$m_{b,sr} = \frac{(10.4 \cdot 470 + 8.02 \cdot 335 + 8.60 \cdot 162 + 10.27 \cdot 162)}{10.4 + 8.02 + 8.60 + 10.27} = 285 \text{kg/m}^2$$

$m_{bśr}$ = 285 kg/m²,

strop m = 336 kg/m²,

K = 1 dB (na podst. tablicy 1normy PN-EN 12354-2:2002 [16])

na podst. wzoru (20) → $L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_{w,R} + K$ = 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 [11] należy uznać za spełnione.

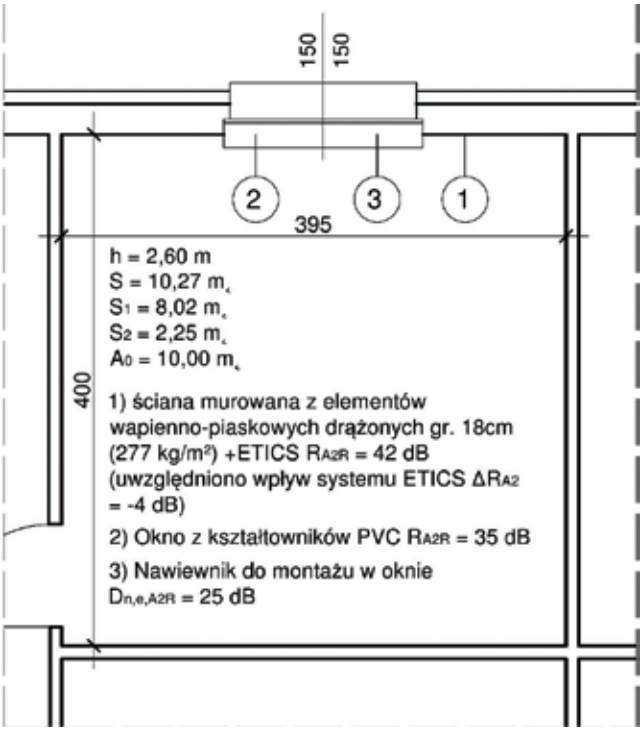
11.3. Wypadkowa izolacyjność akustyczna przybliżona ściany zewnętrznej

Treść zadania:

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

Dane:

Dane obliczeniowe przyjęto jak na rysunku.



Rys. 19. 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 przyjęto jako wartości projektowe wskaźników dla konkretnych rozwiązań dostępnych na rynku [33], [35] skorygowane o 2 dB wg normy [11]. Wskaźnik $R_{A,2,R}$ ściany zewnętrznej obniżono o 4 dB, uwzględniając w ten sposób wpływ systemu ETICS [29].
Obliczenia przeprowadzono przy wykorzystaniu wzoru (30):

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

Podstawiono odpowiednie wartości wskaźników oraz powierzchni i liczby nawiewników:

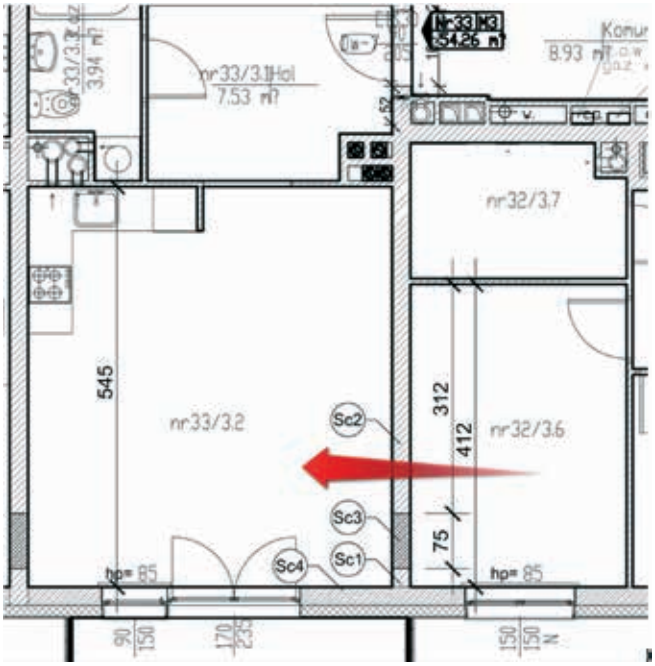
$$R'_{A,2,wyp} = -10 \cdot \log\left(\frac{8.02}{10.27} \cdot 10^{-0.1 \cdot 42} + \frac{2.25}{10.27} \cdot 10^{-0.1 \cdot 35} + \frac{10}{10.27} \cdot 10^{-0.1 \cdot 25}\right)$$

$$R'_{A,2,wyp} = -10 \cdot \log\left(4.9 \cdot 10^{-5} + 6.9 \cdot 10^{-5} + 3.1 \cdot 10^{-3}\right) = 24.95 \approx 25\text{dB}$$

Odpowiedź:
Izolacyjność akustyczna właściwa wypadkowa wyrażona wartością wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej $R'_{A,2}$ 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, który 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 $R'_{A,2,wyp.}$ = 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 $D_{n,e,A2R}$, 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" [34] 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 rys. 1 i rys. 2.



Rys. 20. 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/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 11.1. Dodatkowo w obliczeniach przyjęto:

– stropy w postaci żelbetowych płyt kanałowych gr. 24 cm z podłogą pływającą,
– wysokość użytkowa 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 [35]),

K_a = 3 dB (na podst. tablicy II.1-6.2. wiersz 1.1. Instrukcji ITB nr 406/2005 [34]),

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

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

W tablicy 20 przedstawiono porównanie wyników pomiarów terenowych oraz obliczeń wykonanych za pomocą „metody szacunkowej" [34]. 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.

Tablica 20. Porównanie wyników pomiarów terenowych izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych oraz obliczeń wykonanych za pomocą „metody szacunkowej" [34] 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 drążony gr. 25 cm 21 kg	pokój nr 32/3.6 pokój dzienny nr 33/3.2	pomiar terenowy	$R'_{A,1}$ = 53
2.	ściana Sc1 blok wapienno-piaskowy drążony gr. 25 cm 19 kg	pokój nr 32/3.6 pokój dzienny nr 33/3.2	obliczenia wg [34]	$R'_{A,1}$ = 50

LITERATURA

[1] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 roku „Prawo budowlane" [Dz. U. Nr 49, poz. 414] z późniejszymi zmianami.

[2] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku Prawo ochrony środowiska [Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627] z późniejszymi zmianami.

[3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12.04.2002 w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Dz. U. Nr 75, poz. 690] z późniejszymi zmianami.

[4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku [Dz.U. 2007 nr 120, poz. 826] z późniejszymi zmianami.

[5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 10 listopada 2010 r. w sprawie sposobu ustalania wartości wskaźnika hałasu *LDWN* (Dz.U. 2010 nr 215, poz. 1414).

[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-02170:1985 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki.

[8] PN-B-02151:02:1987 Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach – Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach.

[9] PN-B-02171:1988 Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach.

[10] PN-B-02151-3:1999 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach – Izolacyjność akustyczna elementów budowlanych. Wymagania.

[11] 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.

[12] 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.

[13] PN-EN ISO 717-1:2013 Akustyka – Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych.

[14] PN-EN ISO 717-2:2013 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 12354-2:2002 Akustyka Budowlana - określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów. Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych między pomieszczeniami.

[17] PN-EN 12354-3:2003 Akustyka budowlana – Określanie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów – Część 3: Izolacyjność od dźwięków powietrznych przenikających z zewnątrz.

[18] PN-B-02153:2002 Akustyka budowlana – Terminologia, symbole literowe i jednostki.

[19] PN-B-02156:1987 Akustyka budowlana – Metody pomiaru poziomu dźwięku *A* w budynkach.

[20] 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.

[21] 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.

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

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

[24] 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.

[25] 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.

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

[27] 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.

[28] 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.

[29] Dulak L., Wpływ ocieplenia na izolacyjność akustyczną ściany zewnętrznej. *Materiały Budowlane 2012 nr 8*, s. 10-12.

[30] Szudrowicz B., Żuchowicz-Wodnikowska B., Tomczyk P., *Właściwości dźwiękoizolacyjne przegród budowlanych i ich elementów. Instrukcje, wytyczne, poradniki,* nr 369, Warszawa 2002.

[31] Szudrowicz B., *Akustyka budowlana. Budownictwo ogólne*, tom 2: *fizyka budowli* Praca zbiorowa pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. Piotra Klemma, Arkady, Warszawa 2005.

[32] Żuchowicz-Wodnikowska I., *Zasady doboru podłóg z uwagi na izolacyjność od dźwięków uderzeniowych stropów masywnych. Instrukcje, wytyczne, poradniki,* nr 394, Warszawa 2004.

[33] Szudrowicz B., Tomczyk P., *Właściwości dźwiękoizolacyjne ścian, dachów, okien i drzwi oraz nawiewników powietrza zewnętrznego. Instrukcje, wytyczne, poradniki,* nr 448, Warszawa 2009.

[34] 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.

[35] *Katalog techniczny Grupa Silikaty* 2'2013.

[36] *Ochrona przed hałasem w systemie Nowoczesne SILIKATY* „Materiały Budowlane' 8'2009 (nr 444), s. 20-21.

ANEKS 1

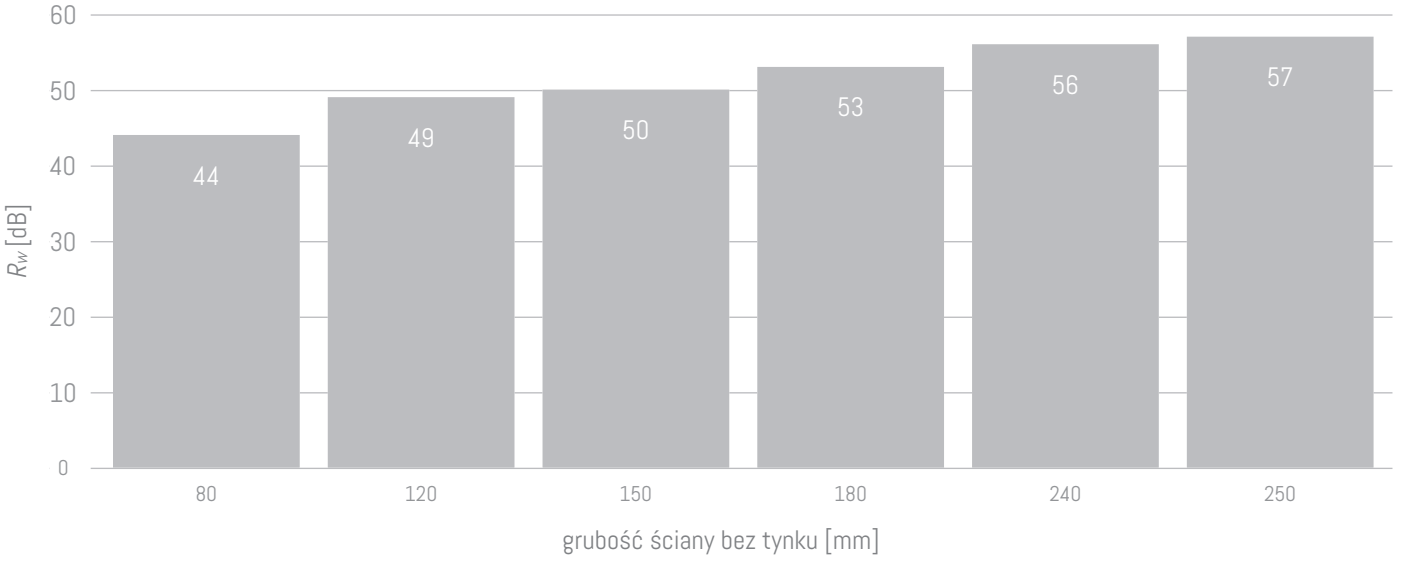
W tablicach poniżej przedstawiono zestawienie izolacyjności akustycznej ścian z elementów murowych silikatowych. Podane wartości określono na podstawie wieloletnich badań akustycznych ścian prowadzonych w certyfikowanych jednostkach badawczych.
Izolacyjność akustyczna ścian silikatowych pozwala na spełnienie niemal wszystkich wymagań dotyczących przegród pionowych opisanych w polskich normach. Dzięki temu wyroby te są dziś powszechnie stosowane m.in. w obiektach wielorodzinnych i użyteczności publicznej, w których ochrona przed hałasem jest jednym z kluczowych elementów zapewnienia komfortu użytkowania.

Tablica 1. Zestawienie wskaźników izolacyjności akustycznej elementów murowych silikatowych drążonych (tynk cementowo-wapienny gr. 12 mm lub gipsowy gr. 10 mm) – klasyfikacja wg grubości ściany bez tynku.

grubość ściany bez tynku [mm]	R_w [dB]	C [dB]	C_{tr} [dB]	$R_{A,1}$ [dB]	$R_{A,2}$ [dB]	$R_{A,1,R}$ [dB]	$R_{A,2,R}$ [dB]	masa powierzchniowa ściany bez tynku [kg]
80	44	-1	-4	43	40	41	38	109
120	49	-1	-5	47	44	45	42	173
150	50	-1	-5	49	45	47	43	218
180	53	-1	-5	52	48	50	46	287
240	56	-1	-5	55	51	53	49	337
250	57	-2	-5	55	52	53	50	359

* wartości wskaźników stanowią średnią z wyników pomiarów laboratoryjnych członków SPBMŚ

Wykres 1 . Izolacyjność akustyczna w zależności od grubości ściany z elementów drążonych.

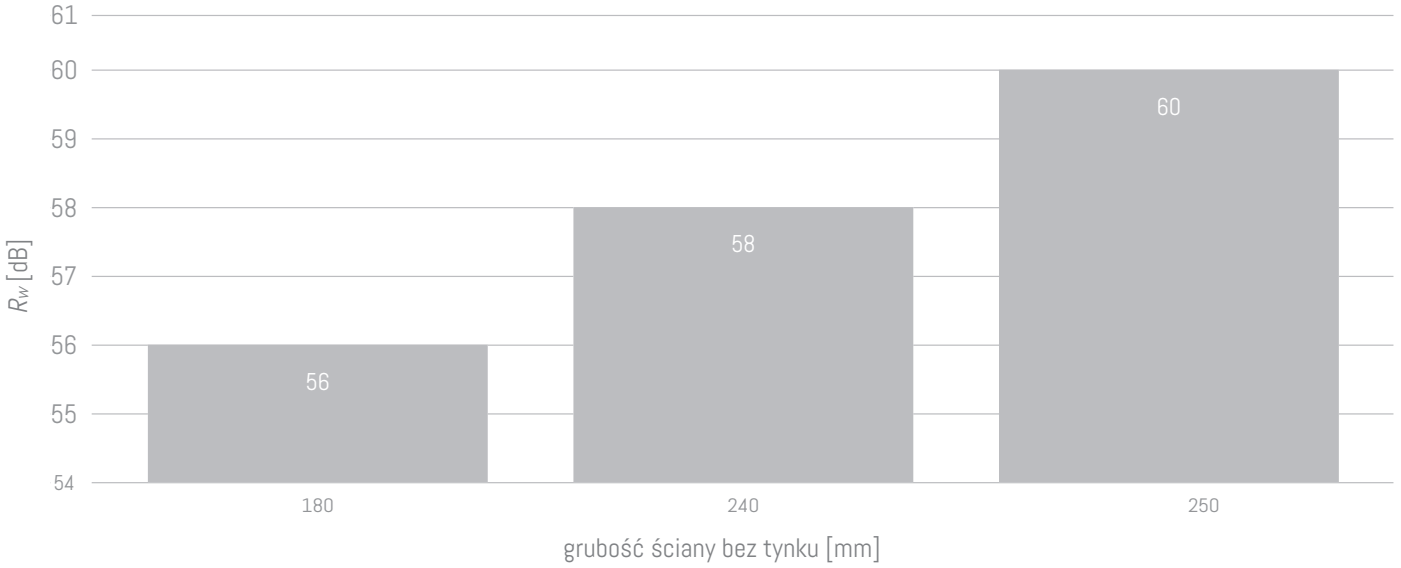


Tablica 2. Zestawienie wskaźników izolacyjności akustycznej elementów murowych silikatowych pełnych (tynk cementowo-wapienny gr. 12 mm lub gipsowy gr. 10 mm) – klasyfikacja wg grubości ściany bez tynku.

grubość ściany bez tynku [mm]	R_w [dB]	C [dB]	C_{tr} [dB]	$R_{A,1}$ [dB]	$R_{A,2}$ [dB]	$R_{A,1,R}$ [dB]	$R_{A,2,R}$ [dB]	masa powierzchniowa ściany bez tynku [kg]
180	56	-1	-5	55	51	53	49	350
240	58	-1	-5	57	53	55	51	400
250	60	-2	-5	58	55	56	53	466

* wartości wskaźników stanowią średnią z wyników pomiarów laboratoryjnych członków SPBMŚ

Wykres 2. – Izolacyjność akustyczna w zależności od grubości ściany z elementów pełnych.

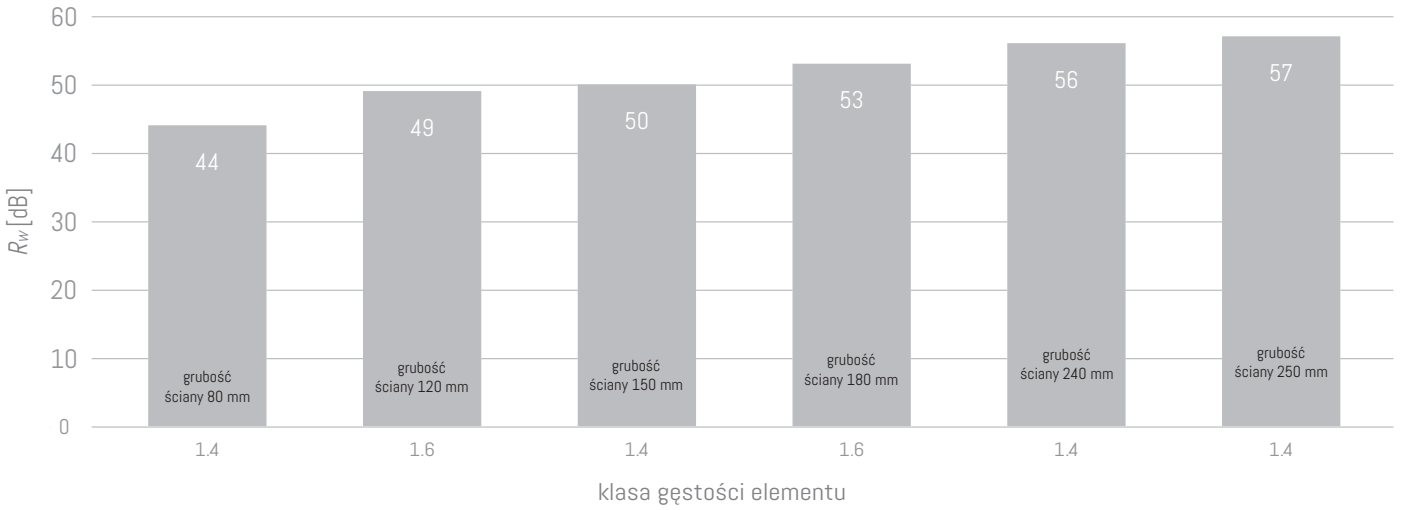


Tablica 3. Zestawienie wskaźników izolacyjności akustycznej elementów murowych silikatowych drążonych (tynk cementowo wapienny gr. 12 mm lub gipsowy gr. 10 mm) – klasyfikacja wg klasy gęstości elementów murowych.

kl. gęstości	*grubość ściany bez tynku [mm]*	*Rw* [dB]	*C* [dB]	*Ctr* [dB]	*RA,1* [dB]	*RA,2 [dB]*	*RA,1,R [dB]*	*RA,2,R [dB]*	*masa powierzchniowa ściany bez tynku [kg]*
1.4	80	44	-1	-4	43	40	41	38	109
1.6	120	49	-1	-5	48	44	46	42	173
1.4	150	50	-1	-5	49	45	47	43	218
1.6	180	53	-1	-5	52	48	50	46	287
1.4	240	56	-1	-5	55	52	53	50	335
1.4	250	57	-2	-5	55	52	53	50	367

*wartości wskaźników stanowią średnią z wyników pomiarów laboratoryjnych członków SPBMŚ

Wykres 3. Izolacyjność akustyczna w zależności od gęstości elementów drążonych.

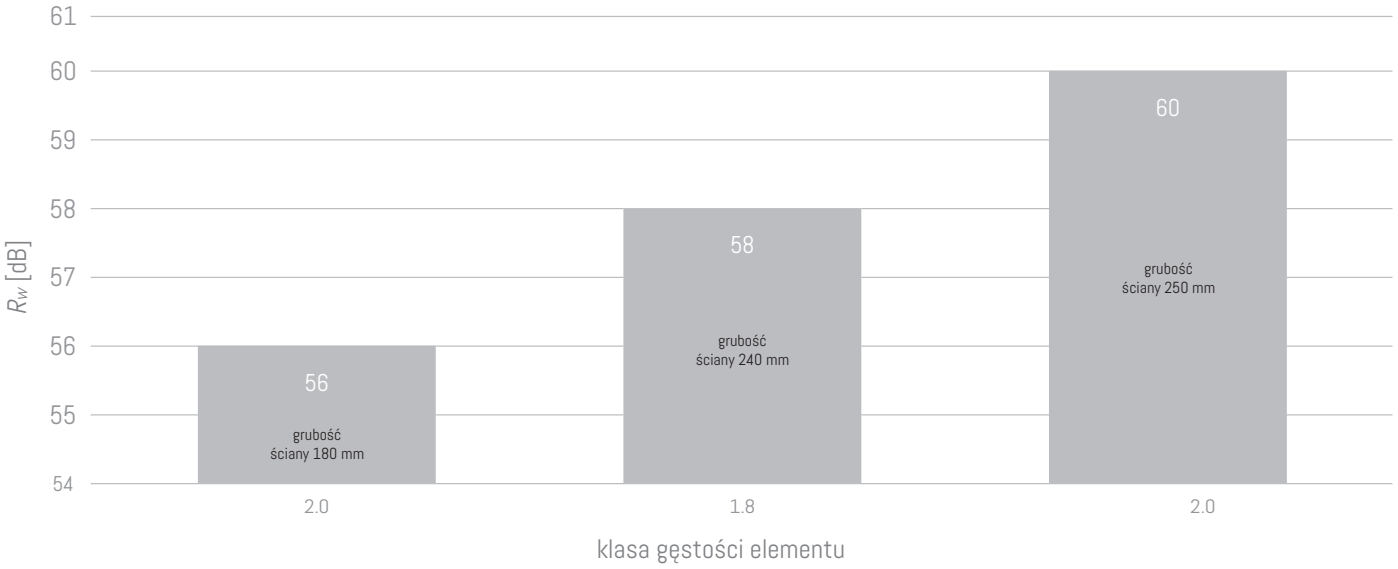


Tablica 4. Zestawienie wskaźników izolacyjności akustycznej elementów murowych silikatowych pełnych (tynk cementowo wapienny gr. 12 mm lub gipsowy gr. 10 mm) – klasyfikacja wg klasy gęstości elementów murowych.

kl. gęstości	*grubość ściany bez tynku [mm]*	R_w [dB]	C [dB]	C_{tr} [dB]	$R_{A,1}$ [dB]	*$R_{A,2}$ [dB]*	*$R_{A,1,R}$ [dB]*	*$R_{A,2,R}$ [dB]*	*masa powierzchniowa ściany bez tynku [kg]*
2.0	180	56	-1	-5	55	51	53	49	348
1.8	240	58	-1	-5	57	53	55	51	400
2.0	250	60	-2	-5	58	55	56	53	466

*wartości wskaźników stanowią średnią z wyników pomiarów laboratoryjnych członków SPBMŚ

Wykres 4. Izolacyjność akustyczna w zależności od gęstości elementów pełnych.



BIAŁE MUROWANIE

Stowarzyszenie Producentów
Białych Materiałów Ściennych
„Białe murowanie"
ul. Nowy Świat 41a
00-042 Warszawa
tel.: +48 607 707 165
stowarzyszenie@bialemurowanie.pl

Nasi członkowie

www.bialemurowanie.pl