

# Ochrona akustyczna w budynkach mieszkalnych

**Problem ochrony przed hałasem wynika często z powszechności stosowania nowoczesnych, lekkich technologii, których głównym zadaniem jest ograniczenie ciężaru własnego konstrukcji i strat ciepła. Podstawową wadą tych rozwiązań jest znacznie niższa izolacyjność akustyczna od materiałów „tradycyjnych” takich jak cegła pełna czy żelbet.**

**Użycie tego samego materiału na ścianę międzylokalową nie zawsze będzie skutkowało osiągnięciem takiej samej izolacyjności. Ważne jest jeszcze z czego wykonana jest ściana zewnętrzna, przegrody działowe, strop, podłoga oraz jak te wszystkie elementy zostały połączone w węzle.**

## Wymagania

Ustawa Prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. wraz z późniejszymi zmianami (tekst jednolity Dz.U. z 2013 r. Nr 0, poz. 409 [1]) w artykule 5.1. stanowi: „...obiekt budowlany wraz ze związanymi z nim urządzeniami budowlanymi należy (...) projektować i budować w sposób określony w przepisach, w tym techniczno-budowlanych oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej zapewniając spełnienie wymagań podstawowych...”. Jednym z sześciu podstawowych wymagań jest konieczność zapewnienia ochrony przed hałasem i drganiami. Powyższe określenie zbliżone jest do sformułowania zawartego w Dyrektywie Rady 89/106/EWG z dnia 21 grudnia 1988 r. [7]. Wymaganie nr 5 stanowi: „...Obiekty budowlane muszą być zaprojektowane i wykonane w taki sposób, aby hałas, na który narażeni są mieszkańcy lub ludzie znajdujący się w pobliżu obiektów, nie przekraczał poziomu stanowiącego zagrożenie dla ich zdrowia oraz pozwalał im spać, odpoczywać i pracować w zadowalających warunkach”.

Do wymienionych w ustawie przepisów, zalicza się także Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2002 r. Nr 75, poz. 690 [2]), wraz z rozporządzeniami zmieniającymi (w szczególności Dz.U. z 2009 r. Nr 56, poz. 461 [5]). W dziale IX §323 stwierdza się: „...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 §323 pomieszczenia w budynkach mieszkalnych i zamieszkania zbiorowego należy chronić przed hałasem:

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

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 10 grudnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. z 2010 r. Nr 239, poz. 1597 [6]) zawiera wykaz polskich norm przywołanych w zakresie ochrony przed hałasem i drganiami.

Zestaw tych norm i wymagania w nich zawarte należy uznać za obowiązkowe do stosowania:

- PN-B-02170:1985 – Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłoże na budynki [8]
  - 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 [11]
- PN-B-02151-3:1999 – Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach – Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych. Wymagania [10].



Zgodnie z harmonogramem prac normalizacyjnych Komitetu Technicznego nr 253 PKN ds. Akustyki Architektonicznej na marzec 2015 r. planowane jest wprowadzenie normy dot. kształtowania warunków pogłosowych w pomieszczeniu (PN-B-02151-4P – Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach). Na ten sam okres zaplanowano publikację zmienionej wersji normy PN-B-02151-3:1999.

W dalszej części działu IX rozporządzenia [5] ustawodawca precyzuje jakie przegrody i elementy budynku podlegają weryfikacji:

- ściany zewnętrzne i wewnętrzne, stropodachy, okna i drzwi w przegrodach zewnętrznych oraz wewnętrznych – od dźwięków powietrznych

- stropy i podłogi – od dźwięków powietrznych i uderzeniowych

- podesty i biegi klatek schodowych w obrębie lokali mieszkalnych – od dźwięków uderzeniowych.

Brak jest niestety w aktualnych przepisach oraz projektach ich nowelizacji obowiązku kontroli jakości akustycznej budynków przed ich oddaniem do użytku, a poprawa stanu istniejącego okazuje się niejednokrotnie niemożliwa do realizacji. Tam, gdzie to jest możliwe zaleca się przeprowadzanie badań kontrolnych w trakcie realizacji obiektu, zwłaszcza nietypowych rozwiązań.

PN-B-02151-3:1999 jest podstawowym normatywem dla projektanta i zawiera wymagania zestawione w tablicach, dotyczące:

- izolacyjności akustycznej przegród wewnętrznych (ściany, stropy i drzwi)
- izolacyjności akustycznej ścian zewnętrznych i stropodachów.

### **Izolacyjność akustyczna przegród wewnętrznych**

Przykładową tablicę z wymaganiami dla budynków mieszkalnych wielorodzinnych przedstawiono poniżej w tab. 1. Norma zawiera także tablice dla pozostałych rodzajów budynków: jednorodzinnych bliźniaczych i szeregowych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Wymagania przedstawione są w postaci jednolicebnowych wskaźników:

- $R'_{A1}$  – wskaźnik oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej (dB)

- $D_{nT,A1}$  – wskaźnik oceny wzorcowej różnicy poziomów (dB)

- $L'_{n,W}$  – wskaźnik ważony przybliżonego poziomu uderzeniowego znormalizowanego (dB).

Wskaźniki  $R'_{A1}$  i  $D_{nT,A1}$  dotyczą dźwięków powietrznych (głośna muzyka, rozmowy, włączone urządzenia RTV i

AGD itp.) i przegród takich jak: ściany, stropy i drzwi. Wskaźnik  $D_{nT,A1}$  stosujemy zamiast wskaźnika  $R'_{A1}$  wówczas, gdy przylegające pomieszczenia są w stosunku do siebie przesunięte tak, że wspólna część przegrody stanowi tylko fragment ściany lub stropu pomieszczenia lub jeżeli powierzchnia wspólnej części przegrody jest mniejsza od  $10 \text{ m}^2$ . W przypadkach, kiedy mamy do czynienia z niskoczęstotliwościowym źródłem hałasu (np. transformatorownie), wskaźnik  $R'_{A1}$  lub  $D_{nT,A1}$  należy zastąpić wskaźnikiem  $R'_{A2}$  lub  $D_{nT,A2}$ . Natomiast  $L'_{n,w}$  określa izolacyjność od dźwięków uderzeniowych (odgłos kroków, uderzenia piłką o podłogę itp.) i dotyczy tylko stropów.

Osiągnięcie minimalnej wartości (dźwięki powietrzne) lub nieprzekroczenie maksymalnej (dźwięki uderzeniowe) jest równoznaczne ze spełnieniem wymagań izolacyjności akustycznej pomiędzy określonymi układami pomieszczeń.

Tablica 1. Wymagana izolacyjność akustyczna przegród wewnętrznych w budynkach mieszkalnych wielorodzinnych (wg PN-B-02151-3:1999)

Funkcje pomieszczeń rozdzielonych przegrodą		Wymagane wartości wskaźników (dB)			
		stropy		ściany bez drzwi	drzwi
		$R'_{A1}$ lub $D_{nT,A1}$ min	$L'_{n,w}$ max	$R'_{A1}$ lub $D_{nT,A1}$ min	$R'_{A1}$ min
Wszystkie pomieszczenia mieszkania	wszystkie pomieszczenia przyległego mieszkania	51	58	50	określa się indywidualnie
	korytarz, klatka schodowa	określa się indywidualnie	53	50	25
	pomieszczenia techniczne wyposażenia instalacyjnego budynku	55	58	55	określa się indywidualnie
	sklepy, punkty usługowe o poziomie dźwięku A hałasu wewnętrznego $L_A < 70 \text{ dB}$	55	53, 58	55	określa się indywidualnie
	punkty usługowe o poziomie dźwięku $L_A = 70-75 \text{ dB}$	55-60	48-53, 58	55-60	określa się indywidualnie
	kawiarnie, jadalnie, restauracje (z wyłączeniem dyskotek), kluby	55-60	48-53, 58	57-67	określa się indywidualnie
Pokój	pomieszczenia sanitarne w tym samym mieszkaniu	określa się indywidualnie	określa się indywidualnie	35	brak
	wszystkie pomieszczenia w tym samym mieszkaniu poza pomieszczeniami sanitarnymi	45-51 <sup>1)</sup>	58 <sup>2)</sup>	30-35	brak

<sup>1)</sup> Wymaganie dotyczy stropów w mieszkaniach dwupoziomowych, większa wartość zalecana.

<sup>2)</sup> Wymaganie dotyczy stropów w mieszkaniach dwupoziomowych i odnosi się do przenikania dźwięków uderzeniowych do mieszkań przyległych; ze względu na rozprzestrzenianie się hałasu w obrębie mieszkania, maksymalna wartość wskaźnika  $L'_{n,w} \leq 63 \text{ dB}$ .

#### Izolacyjność akustyczna ścian zewnętrznych i stropodachów

Wymaganą izolacyjność akustyczną ścian zewnętrznych i stropodachów uzależnia się od miarodajnego poziomu dźwięku A hałasu zewnętrznego, występującego w odległości 2 m od fasady budynku na poziomie rozpatrywanego fragmentu przegrody zewnętrznej. Wymagania przedstawiono w tablicy 2 i dotyczą one wypadkowej izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej dla ścian zewnętrznych z oknami.

Wymagana izolacyjność akustyczna ścian zewnętrznych i stropodachów określona jest wskaźnikiem  $R'_{A2}$  lub  $R'_{A1}$ . Użycie wskaźnika z indeksem „1” lub „2” uzależnione jest od rodzaju hałasu występującego na zewnątrz budynku. Dobór wskaźnika ilustruje tab. 3. Należy zaznaczyć, że dla zdecydowanej większości przypadków przegród zewnętrznych konieczne jest użycie wskaźnika  $R'_{A2}$ .

Dla ścian i stropodachów bez okien izolacyjność akustyczna właściwa wyrażona wskaźnikiem  $R'_{A2}$  lub  $R'_{A1}$  powinna być większa o 10 dB od wartości podanej w tablicy 2. Jeżeli w pomieszczeniu znajduje się więcej niż jedna przegroda zewnętrzna z oknami, to wymagania należy zwiększyć o wartość  $10 \log n$  ( $n$  - liczba przegród zewnętrznych z oknami w danym pomieszczeniu) w stosunku do wymagań z tablicy 2. Jeżeli miarodajny poziom dźwięku A hałasu zewnętrznego jest wyznaczony wyłącznie na podstawie obliczeń, to wyniki obliczeń należy zwiększyć o 3 dB. Najlepszym sposobem uzyskania informacji na temat

miarodajnego poziomu hałasu na zewnątrz budynku jest wykonanie pomiarów hałasu. Dla pory dziennej równoważny poziom dźwięku A określamy dla 8 najniekorzystniejszych godzin między 6<sup>00</sup> a 22<sup>00</sup>. Dla pory nocnej natomiast poziom wyznaczamy dla jednej najniekorzystniejszej godziny między 22<sup>00</sup> a 6<sup>00</sup>. W przypadku projektowanych budynków, poziom hałasu może zmienić się w trakcie realizacji inwestycji na skutek zwiększenia się natężenia ruchu, czy też powstania nowych ciągów komunikacyjnych, często związanych z projektowanym obiektem. W takiej sytuacji konieczne jest wykonanie dodatkowo analizy akustycznej, w której będzie zawarta prognoza zwiększenia się poziomu hałasu w otoczeniu projektowanego budynku. Pomocny w tej kwestii powinien być aktualny miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego oraz odczytane dla niego wartości dopuszczalnych poziomów hałasu ([3], [4]). Niestety w wielu przypadkach wartości te są przekroczone i w związku z powyższym, dobranie izolacyjności akustycznej przegród zewnętrznych na tej podstawie, często okazuje się niewystarczające.

Norma PN-B-02151-02:1987 [11] określa dopuszczalne poziomy dźwięku A hałasu przenikającego do pomieszczeń przeznaczonych do przebywania ludzi w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej. Służy głównie kontroli dopuszczalnych poziomów oraz może być także przydatna do ustalenia wymaganej izolacyjności przegrody w sytuacjach specyficznych. Norma różnicuje wymagania w zależności od źródła pochodzenia hałasu i rozróżnia dwa przypadki:

- hałasu przenikającego do pomieszczenia od wszystkich źródeł hałasu łącznie
- hałasu przenikającego do pomieszczenia od wyposażenia technicznego budynku oraz innych urządzeń w budynku i poza nim (np. centralnego ogrzewania, wentylacji, klimatyzacji, stacji transformatorowych, urządzeń dźwigowych itp.).

Tablica 2. Wybrane przypadki wymaganej, wypadkowej izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej ścian zewnętrznych z oknami dla budynków mieszkalnych (wg PN-B-02151-3:1999)

Rodzaj budynku	Przegroda zewnętrzna w pomieszczeniu	Minimalny wskaźnik oceny wypadkowej izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej $R'_{A1}$ lub $R'_{A2}$ (dB), w zależności od miarodajnego poziomu dźwięku A (dB) w ciągu dnia i nocy na zewnątrz budynku						
		dzień	46-50	51-55	56-60	61-65	66-70	71-75
	noc	<35	36-40	41-45	46-50	51-55	56-60	61-56
Budynki mieszkalne	pokoje <sup>1)</sup>	20	20	23	23	28	33	38
	kuchnie	20	20	20	20	23	28	33
	klatki schodowe i piwnice	nie stawia się wymagań						
Budynki hotelowe kategorii *** i wyższej, internaty	pokoje hotelowe <sup>1)</sup>	20	20	23	23	28	33	38
	pomieszczenia gospodarcze, klatki schodowe	nie stawia się wymagań						
Budynki hotelowe kategorii niższych niż podano wyżej	pokoje hotelowe <sup>1)</sup>	20	20	20	23	23	28	33
	pomieszczenia gospodarcze, klatki schodowe	nie stawia się wymagań						

<sup>1)</sup> Należy wyznaczyć minimalną wartość wskaźnika w zależności od miarodajnego poziomu dźwięku A odrębnie dla dnia i nocy i jako wymaganie należy przyjąć tę wartość wskaźnika, która jest większa.

Tablica 3. Rodzaj widmowego wskaźnika adaptacyjnego i wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej dla różnych źródeł hałasu (wg PN-EN ISO 717-1:1999)

Rodzaj źródła hałasu	Odpowiedni widmowy wskaźnik adaptacyjny i przyporządkowany mu wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej
<ul style="list-style-type: none"> <li>■ źródła hałasu bytowego (rozmowa, muzyka, radio, TV)</li> <li>■ zabawa dzieci</li> <li>■ ruch kolejowy ze średnią i dużą prędkością</li> <li>■ ruch na drodze szybkiego ruchu &gt; 80 km/h</li> <li>■ samoloty odrzutowe w małej odległości</li> <li>■ zakłady przemysłowe emitujące głównie hałas średnio- i wysokoczęstotliwościowy</li> </ul>	C (widmo nr 1) $R'_{A1}$

<ul style="list-style-type: none"> <li>■ ruch uliczny miejski</li> <li>■ ruch kolejowy z małymi prędkościami</li> <li>■ śmigłowce</li> <li>■ samoloty odrzutowe, w dużej odległości</li> <li>■ muzyka dyskotekowa</li> <li>■ zakłady przemysłowe emitujące głównie hałas nisko- i średniczęstotliwościowy</li> </ul>	$C_{tr}$ (widmo nr 2) $R'_{A2}$
--	---------------------------------------

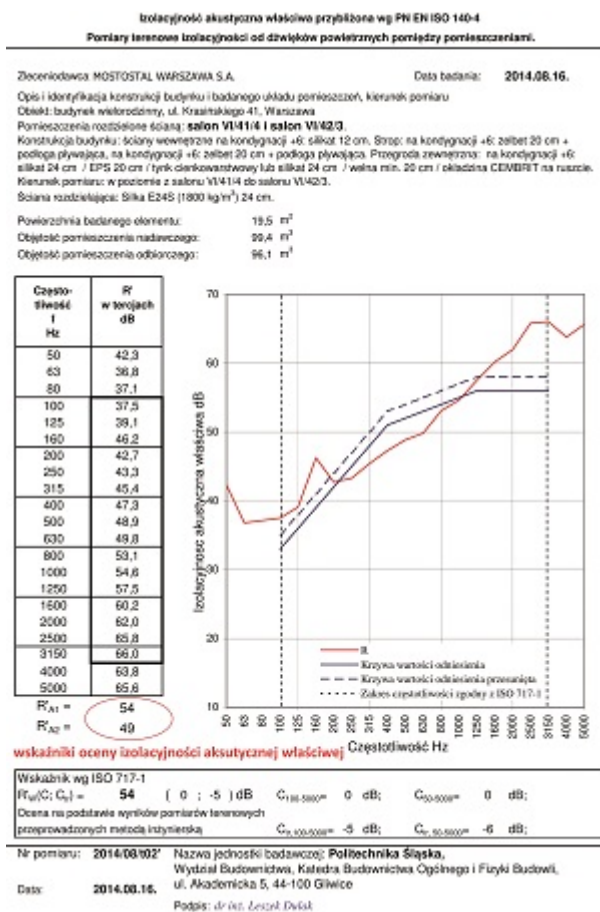
### Określenie izolacyjności akustycznej w budynkach

W celu sprawdzenia wymagań dotyczących izolacyjności akustycznej, należy porównać wartości wskaźników z normy PN-B-02151-3:1999 [10] z obliczonymi lub wyznaczonymi na drodze pomiarów terenowych wartościami wskaźników oceny izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej:

$$R'_{A1} \geq R'_{A1 \text{ min}} \text{ lub } R'_{A2} \geq R'_{A2 \text{ min}} \text{ (dB) (1)}$$

$$L'_{nW} \leq L'_{nW \text{ max}} \text{ (dB) (2)}$$

Badania terenowe dają jednoznaczną odpowiedź co do dźwiękoizolacyjności przegród w budynku. W wyniku ich przeprowadzenia otrzymuje się informację dotyczącą zarówno charakterystyki izolacyjności w funkcji częstotliwości oraz wartości wskaźników jednoliczbowych, które w większości przypadków można bezpośrednio porównać z wymaganiami normowymi. Badania wykonuje się zgodnie z normami PN-EN ISO 140-4, 5 i 7. Oczywistą wadą tej drogi uzyskania informacji o jakości akustycznej przegród jest fakt, że badania można zrealizować dopiero po wykonaniu budynku. Na rys. 1 pokazano przykładowy raport z badań terenowych między mieszkaniami przez ścianę wykonaną z silikatów o zwiększonej gęstości (1800 kg/m<sup>3</sup>). Raport w tym przypadku potwierdził wysoką skuteczność zaproponowanego w projekcie rozwiązania. Na rysunku zaznaczono wartości wskaźników oceny izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej.



Rys. 1. Przykładowy raport z pomiarów terenowych

izolacyjności od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami [19]

Na etapie projektu jednym sposobem na weryfikację proponowanych rozwiązań jest wykonanie obliczeń

teoretycznych. Jako dane wejściowe do obliczeń wskaźników izolacyjności akustycznej przybliżonej, należy przyjmować dane uzyskane podczas badań w laboratorium. W przypadku braku danych pomiarowych dopuszcza się korzystanie z wzorów empirycznych „prawa masy”. Dobierając rodzaje przegród budowlanych na podstawie wskaźników uzyskanych w badaniach laboratoryjnych wzorów tych przegród, zaleca się, aby w projektach były przyjmowane wartości tych wskaźników skorygowane o 2 dB. Nazywane są one wartościami projektowanymi i oznaczane odpowiednim wskaźnikiem z literą R w indeksie dolnym.

$$R_{A1R} = R_{A1} - 2 \text{ lub } R_{A2R} = R_{A2} - 2 \text{ (dB) (3)}$$

$$L_{nWR} = L_{nW} + 2 \text{ (dB) (4)}$$

$$\Delta_{LWR} = \Delta_{LW} - 2 \text{ (dB) (5)}$$

gdzie:

$R_{A1R}$ ,  $R_{A2R}$ ,  $L_{nWR}$ ,  $\Delta_{LWR}$  - wartości projektowe wskaźników

$R_{A1}$ ,  $R_{A2}$ ,  $L_{nW}$ ,  $\Delta_{LW}$  - wartości „laboratoryjne” wskaźników.

Wartości wskaźników oceny izolacyjności akustycznej właściwej uzyskuje się poprzez zsumowanie jednoliczbowego ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej właściwej  $R_w$  (wyznaczonego na podstawie charakterystyki izolacyjności w funkcji częstotliwości) i odpowiedniego widmowego wskaźnika adaptacyjnego C lub  $C_{tr}$ :

$$R_{A1} = R_w + C \text{ (dB) (6)}$$

$$R_{A2} = R_w + C_{tr} \text{ (dB) (7)}$$

### Przegrody wewnętrzne

Oprócz przedstawionej wyżej korekty „wartości laboratoryjnej” elementy budowlane przeznaczone do wykonywania przegród wewnętrznych w budynku powinny charakteryzować się na tyle dużą izolacyjnością od dźwięków powietrznych i na tyle małą wartością znormalizowanego poziomu uderzeniowego, aby po uwzględnieniu wpływu bocznego przenoszenia dźwięku, przegrody wewnętrzne wykonane z tych elementów osiągnęły wymaganą izolacyjność akustyczną wyrażoną w postaci wskaźnika oceny izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej ( $R'_{A1}$  lub  $R'_{A2}$  min) oraz w postaci ważonego wskaźnika znormalizowanego poziomu uderzeniowego przybliżonego ( $L'_{n,w}$  max) – „prim” oznacza uwzględnienie przenoszenia bocznego.

Pojęcie „przenoszenia bocznego” odnosi się do części energii akustycznej wypromieniowanej innymi drogami niż droga bezpośrednia.

Poniżej przedstawiono uproszczony model przenoszenia dźwięku drogami materiałowymi wg PN-EN 12354-1:2002 [13].

Wskaźnik izolacyjności akustycznej właściwej zapisany za pomocą równania wynikającego z tego modelu przedstawiono poniżej.

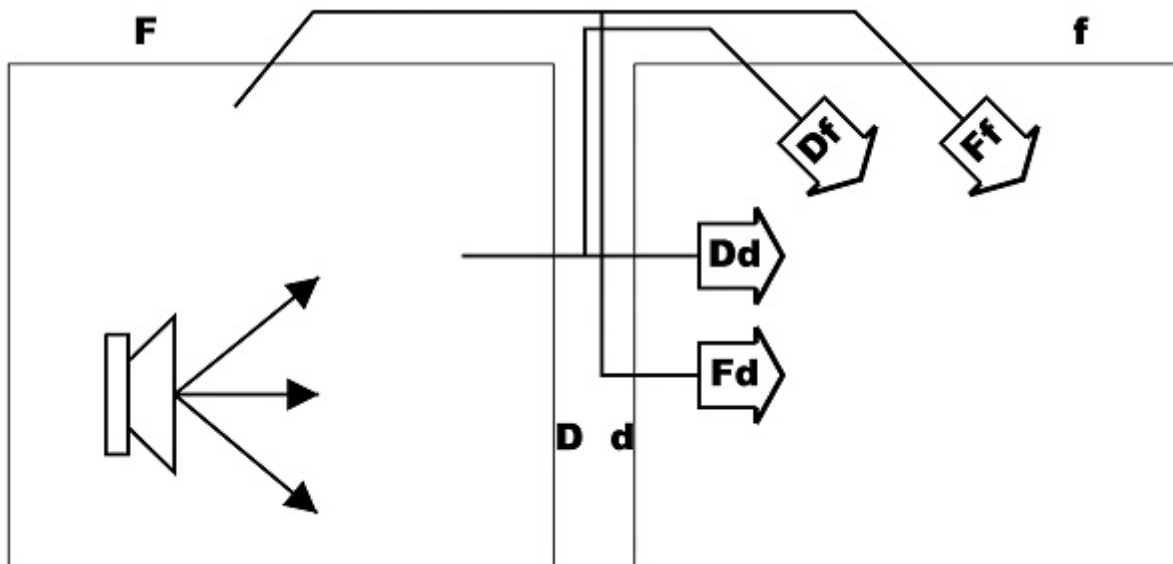
$$R'_w = -10 \lg \left[ 10^{-R_{Dd,w}/10} + \sum_{F=f=1}^n 10^{-R_{Ff,w}/10} + \sum_{F=1}^n 10^{-R_{Df,w}/10} + \sum_{F=1}^n 10^{-R_{Fd,w}/10} \right], \text{ dB} \quad (8)$$

gdzie:

$R_{Dd,w}$  - ważony wskaźnik izolacyjności akustycznej właściwej dla przenoszenia bezpośredniego (dB)

$R_{Ff,w}$ ,  $R_{Df,w}$ ,  $R_{Fd,w}$  - ważne wskaźniki bocznej izolacyjności akustycznej właściwej dla drogi przenoszenia odpowiednio: Ff, Df i Fd (dB).

Niniejszy model odnosi się do jednoliczbowego ważonego wskaźnika przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej  $R'_w$ , jednak w myśl normy może być również stosowany do wyznaczenia wskaźnika oceny izolacyjności akustycznej właściwej  $R'_{A1}$  lub wskaźnika wzorcowej różnicy poziomów  $D_{nT,A1}$ . Poszczególne drogi bocznego przenoszenia dźwięku Ff, Df i Fd pokazano na rys. 2.



Rys.

2. Schemat przenoszenia dźwięków drogami materiałowymi (Dd - droga bezpośrednia i Ff, Df, Fd - drogi boczne)

### Sufity podwieszane oraz podłogi podniesione

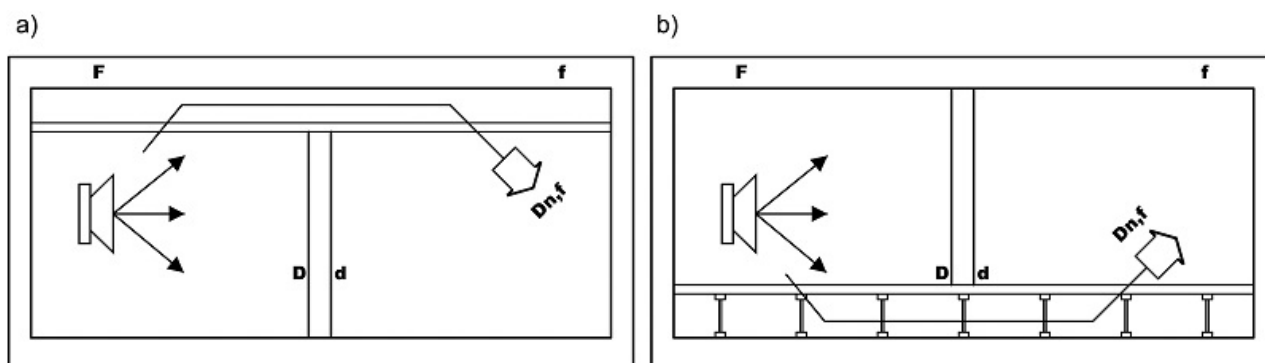
Należą do konstrukcji, dla których najczęściej dominującą drogą przenikania energii akustycznej jest droga Ff. Często w takich przypadkach izolacyjność pozostałych dróg bocznych ma niewielkie znaczenie, a końcowy efekt uzależniony jest od parametrów akustycznych tychże konstrukcji. Schemat przenoszenia dźwięku pomiędzy pomieszczeniami z sufitem podwieszonym i podłogą podniesioną pokazano na rys. 3. W celu wykorzystania uproszczonego modelu obliczeniowego dla celów inżynierskich Zakład Akustyki ITB opracował metodę szacunkową (instrukcja ITB nr 406/2005 [15]). Określa ona wskaźnik  $R'_{A1}$  wg wzoru:

$$R'_{A1} = R_{A1R} - K_a \text{ (dB)} \quad (9)$$

gdzie:

$K_a$  - wpływ bocznego przenoszenia dźwięku na wartość wskaźnika oceny  $R'_{A1}$  przybliżonej izolacyjności akustycznej przegrody rozdzielającej dane pomieszczenia w budynku ( $K_a \geq 0$ ).

Wartość poprawki  $K_a$  odczytuje się z tablic zamieszczonych w instrukcji nr 406/2005 [15] na podstawie rodzaju przegrody rozdzielającej i przegród bocznych (materiału z jakiego są wykonane, grubości i długości).



Rys. 3. Schemat przenoszenia dźwięków dominującą drogą Ff w przypadku: a) podwieszonego sufitu b) podłogi podniesionej

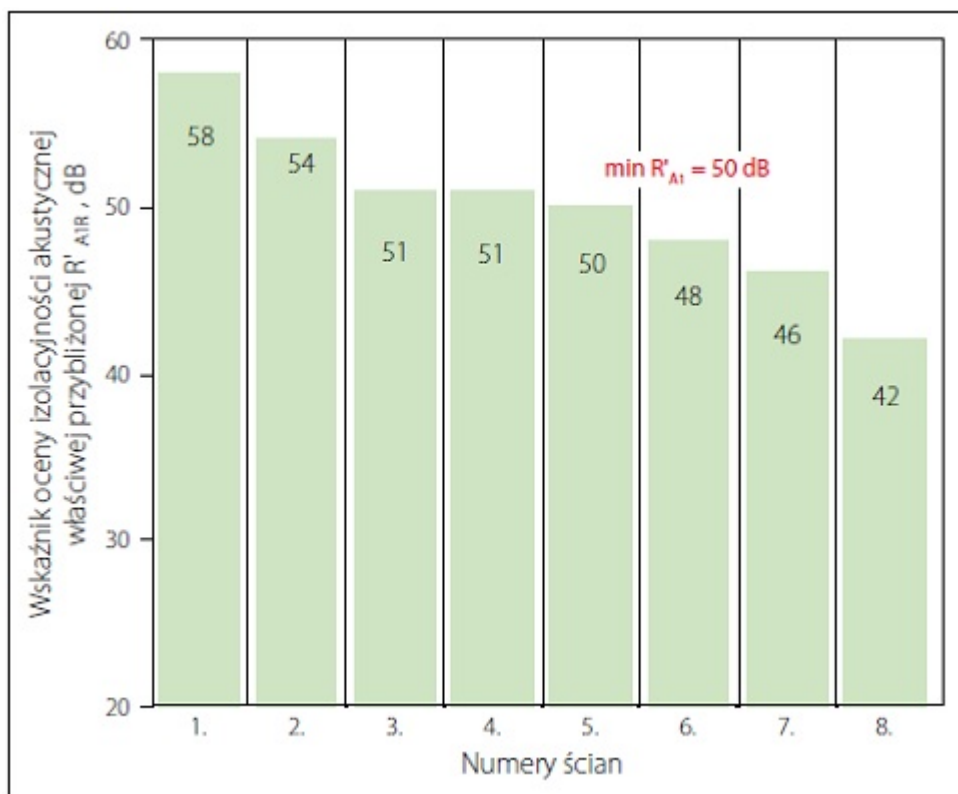
### Rozwiązania materiałowe ścian

Na rys. 4 przedstawiono wartości wskaźnika oceny izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej  $R'_{A1R}$  różnych rozwiązań materiałowych dla ścian gr. 25 cm (wyjątek stanowią ściany z betonu komórkowego i bloczków silikatowych, które miały gr. 24 cm), porównane z wymaganiami dotyczącymi ścian między mieszkaniami w budynku wielorodzinnym. Wszystkie ściany miały obustronny tynk cementowo-wapienny gr. 1,0 cm.

Wartości uzyskano na podstawie wyników badań laboratoryjnych wzorców tychże przegród, a następnie



skorygowano wartość wskaźników o 2 dB do wartości projektowych (wzór (3)) oraz o kolejne 2 dB w celu uwzględnienia wpływu przenoszenia bocznego. Należy zwrócić uwagę, że powyższa korekta o kolejne 2 dB stanowi tylko i wyłącznie przykład. W rzeczywistym projekcie musi być obliczana indywidualnie dla każdej sytuacji na podstawie danych projektowych.



Rys. 4. Izolacyjność

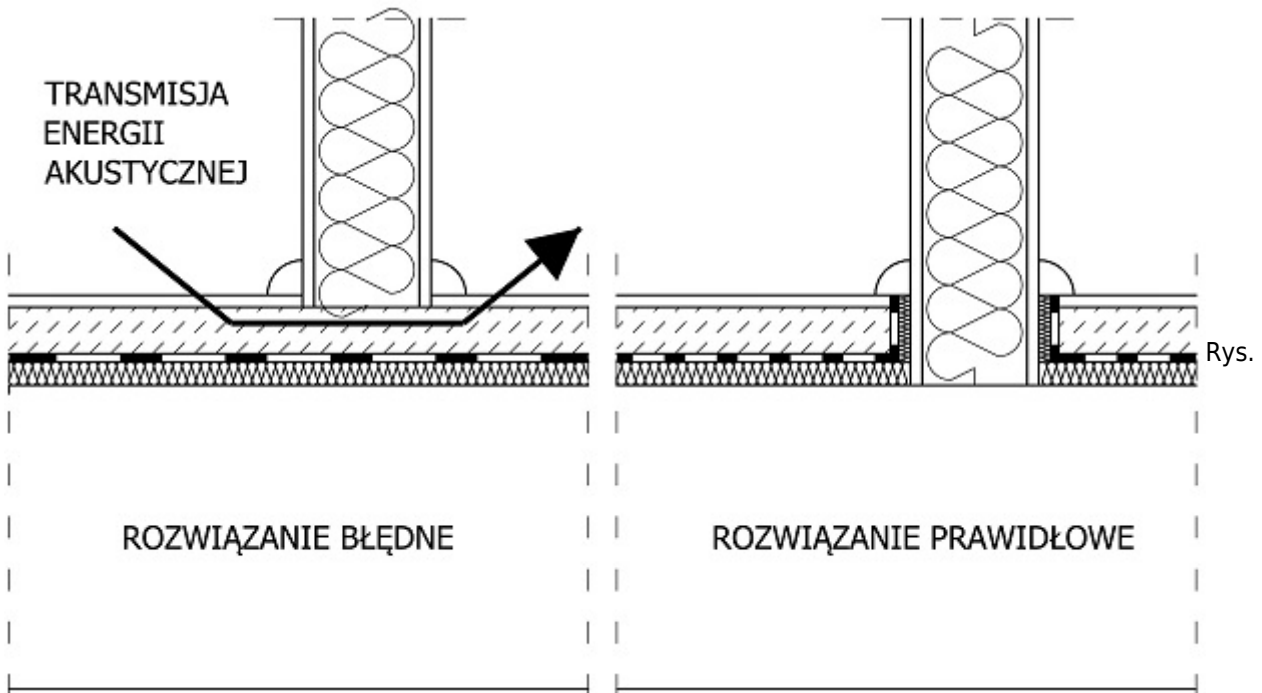
akustyczna przykładowych ścian na podstawie Instrukcji ITB nr 448/2009 [23]

Legenda: 1. Beton zwykły ( $600 \text{ kg/m}^2$ ), 2. Silikat A ( $466 \text{ kg/m}^2$ ), 3. Silikat NP 24 P+W ( $384 \text{ kg/m}^2$ ), 4. Cegła pełna ( $450 \text{ kg/m}^2$ ), 5. Pustak ceramiczny PROTHERM 25/30 AKU ( $339 \text{ kg/m}^2$ ), 6. Pustak ceramiczny PROTHERM 25 P+W ( $230 \text{ kg/m}^2$ ), 7. Beton komórkowy  $700 \text{ kg/m}^3$  ( $170 \text{ kg/m}^2$ ), 8. Beton komórkowy  $500 \text{ kg/m}^3$  ( $120 \text{ kg/m}^2$ )

Największą wartość wskaźnika uzyskano dla ściany betonowej monolitycznej  $R'_{A1} = 58 \text{ dB}$ . Wysoką wartość wskaźnika uzyskano również dla ściany silikatowej. Spełnienie wymagań daje też zastosowanie materiału 3, 4 i 5. Najniższą izolacyjność uzyskały bloczki z betonu komórkowego (obecnie rzadko już popełniany jest błąd polegający na zastosowaniu tego materiału do wykonania ściany międzylokalowej).

Wartość poprawki na „przenoszenie boczne” waha się, w zależności od rodzaju przegród, od 0 do kilkunastu dB (nawet 20 dB dla ścian działowych wykonanych jako szkieletowe z płyt g-k, opartych na podłodze pływającej). Wykonanie takie pokazano na rys. 5 i opisano jako nieprawidłowe.





5. Przykład błędnego i prawidłowego oparcia ścianki działowej na stropie

Model obliczeniowy dla dźwięków uderzeniowych podaje norma PN-EN 12354-2:2002 [14]. Poniżej wskazano metodykę wyznaczenia ważonego wskaźnika poziomu uderzeniowego znormalizowanego. Skorzystano z obliczeniowego modelu uproszczonego [14]. Dla wspomnianej metody wskaźnik obliczamy z równania przedstawionego poniżej:

$$L'_{n,w} = L_{n,w,eq} - \Delta L_{wR} + K \text{ (dB)} \quad (10)$$

gdzie:

$L_{n,w,eq}$  - równoważny ważony wskaźnik poziomu uderzeniowego znormalizowanego dla stropu bez dodatkowych warstw (dB)

$\Delta L_{wR}$  - ważony wskaźnik zmniejszenia poziomu uderzeniowego przez podłogę (dB)

$K$  - poprawka uwzględniająca przenoszenie dźwięków uderzeniowych przez jednorodne elementy boczne (dB), tab. 1 normy PN-EN 12354-2:2002.

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

$$m_{b,\bar{s}r} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n S_{bi}} \sum_{i=1}^n (m_{bi} \cdot S_{bi}), \text{ kg/m}^2 \quad (11)$$

gdzie:

$m_{bi}$  - masa powierzchniowa i-tej przegrody bocznej ( $\text{kg/m}^2$ )

$S_{bi}$  - powierzchnia i-tej przegrody bocznej (po odliczeniu powierzchni otworów drzwiowych lub okiennych w przegrodzie) ( $\text{m}^2$ )

$n$  - liczba uwzględnionych przegród bocznych.

### Przegrody zewnętrzne

Przy wyznaczaniu wymaganej izolacyjności akustycznej elementów budowlanych przeznaczonych do wykonywania przegród zewnętrznych (PN-B-02151-3:1999 [10]), dopuszcza się pominięcie wpływu bocznego przenoszenia dźwięku. Oznacza to, że wynik oceny izolacyjności akustycznej  $R_{A2}$  lub  $R_{A1}$  elementów przeznaczonych do wykonania przegrody zewnętrznej, powinien być liczbowo co najmniej równy

odpowiedniemu wskaźnikowi  $R'_{A2}$  lub  $R'_{A1}$ .

W przypadku przegród z oknami lub drzwiami, dopuszcza się obliczanie wypadkowej izolacyjności akustycznej wyrażonej za pomocą wskaźnika  $R_{A1}$  lub  $R_{A2}$  według uproszczonej zależności podanej poniżej.

Wzór można odnieść także do wskaźników  $R_{A2,wyp}$ ,  $R'_{A1,wyp}$ ,  $R'_{A2,wyp}$ :

$$R_{A1,wyp} = -10 \lg \left[ \frac{1}{\sum_{i=1}^n S_i} \sum_{i=1}^n S_i \cdot 10^{-R_{A1,i}/10} \right], \text{ dB} \quad (12)$$

gdzie:

$R_{A1,i}$  - wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej poszczególnych części ściany lub dachu (dB)

$S_i$  - powierzchnia poszczególnych części ściany lub dachu ( $m^2$ )

$n$  - liczba poszczególnych części przegrody uwzględnionych w obliczeniu odpowiednich wskaźników wypadkowej izolacyjności akustycznej przegrody zewnętrznej.

### System ETICS

W przypadku ścian zewnętrznych z izolacją cieplną wykonaną w systemie ETICS należy wziąć pod uwagę niekorzystny efekt obniżenia izolacyjności takiej ściany w stosunku do przegrody bazowej (bez ocieplenia).

Na podstawie wyników badań przedstawionych w tabelicy 4 należy stwierdzić, że obniżenie wartości wskaźnika oceny izolacyjności akustycznej właściwej  $R_{A2}$  może wynieść 4 dB i więcej dla przegród masywnych. Spadek izolacyjności obserwuje się zarówno dla ścian z izolacją cieplną na bazie styropianu jak i wełny mineralnej.

Tablica 4. Rodzaj widmowego wskaźnika adaptacyjnego i wskaźnika oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej dla różnych źródeł hałasu (na podstawie badań Zakładu Akustyki ITB [17] oraz Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej [18])

Ścian bazowa (bez ocieplenia) $R_w$ (C, $C_{tr}$ ) (dB)	System ETICS	Wskaźniki izolacyjności akustycznej dla ściany ocieplonej (dB)			
		$R_w$ (C, $C_{tr}$ )	$\Delta R_w$	$\Delta R_{A1}$	$\Delta R_{A2}$
Beton komórkowy ( $500 \text{ kg/m}^3$ ) gr. 25 cm 48 (-2, -5) [17]	wełna mineralna lamelowa $90 \text{ kg/m}^3$ , gr. 80 mm + tynk 3 mm	44 (-1, -3)	-4	-3	-2
	styropian EPS $15 \text{ kg/m}^3$ , gr. 100 mm + tynk 3 mm	44 (-1, -3)	-4	-3	-2
Ceramika drażona gr. 18,8 cm 46 (-1, -3) [17]	wełna mineralna lamelowa $90 \text{ kg/m}^3$ , gr. 150 mm + tynk 3 mm	44 (-1, -4)	-2	-2	-3
Błoczki wapienno-piaskowe NP 24 gr. 24 cm 52 (0, -5) [18]	styropian EPS 040, gr. 150 mm + tynk 2 mm	47 (0, -4)	-5	-5	-4
Pustaki ceramiczne drażone MEGA-MAX 240 P+W gr. 24 cm 45(0, -3) [18]	styropian EPS 040, gr. 150 mm + tynk 2 mm	43 (0, -3)	-2	-2	-2

### Podsumowanie

Przedstawiony w artykule zakres stanowi jedynie szkic zagadnienia. Szereg problemów akustycznych wynika nie tyle z błędów popełnionych na etapie projektu, co wręcz z pominięcia tego zagadnienia. Na etapie projektu konieczne jest nie tylko uwzględnienie zagadnień związanych z izolacyjnością ścian, stropów, podłóg, okien czy nawiewników, ale także sposobu oparcia biegów schodowych, podestów, rozwiązań związanych z izolacyjnością wzdłużną podłóg podniesionych lub sufitów podwieszonych, pogłosowością pomieszczeń, kończąc na określeniu poziomów hałasu od urządzeń wyposażenia technicznego. W sytuacjach bardziej skomplikowanych konieczna jest ścisła współpraca akustyka z architektem, zarówno na etapie projektu jak i wykonawstwa.

dr inż. Leszek Dulak

### Literatura

1. Ustawa z 7.07.1994 r. Prawo budowlane [Dz.U. Nr 49, poz. 414] wraz z późniejszymi zmianami.
2. Rozporządzenie MI z 12.04.2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Dz.U. Nr 75, poz. 690] wraz z późniejszymi zmianami.
3. Rozporządzenie MŚ z 14.06.2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku [Dz.U. Nr 120, poz. 826].
4. Rozporządzenie MŚ z 1.10.2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku [Dz.U. Nr 0, poz.1109].
5. Dz.U. 2009 Nr 56, poz. 461 Rozporządzenie MI z 12.03.2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
6. Dz.U. z 2010 r. Nr 239, poz. 1597 Rozporządzenie MI z 12.03.2009 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie.
7. Dyrektywa Rady 89/106/EWG z 21.12.1988 r. w sprawie zbliżenia przepisów prawnych i administracyjnych państw członkowskich dotyczących wyrobów budowlanych.
8. PN-B-02170:1985 Ocena szkodliwości drgań przekazywanych przez podłóżę na budynki
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-02151-02:1987 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach - Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach.
12. PN-EN 12354-3:2003 Akustyka budowlana. Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów. Izolacyjność od dźwięków powietrznych przenikających z zewnątrz.
13. PN-EN 12354-1:2002 Akustyka budowlana. Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów. Izolacyjność od dźwięków powietrznych pomiędzy pomieszczeniami.
14. PN-EN 12354-2:2002 Akustyka budowlana. Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów. Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych między pomieszczeniami.
15. B. Szudrowicz, *Metody obliczania izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami w budynku wg PN-EN 12354-1:2002 i PN-EN 12354-2:2002*, Instrukcje, wytyczne, poradniki, nr 406, Warszawa 2005.
16. B. Szudrowicz, P. Tomczyk, *Właściwości dźwiękoizolacyjne ścian, dachów, okien i drzwi oraz nawiewników powietrza zewnętrznego*, Instrukcje, wytyczne, poradniki, nr 448, Warszawa 2009.
17. B. Szudrowicz, *Akustyka budowlana. Budownictwo ogólne, Tom 2, Fizyka budowli*, Praca zbiorowa pod kierunkiem prof. dr. hab. inż. P. Klemma, Arkady, Warszawa 2005.
18. I. Żuchowicz-Wodnikowska, *Zasady doboru podłóg z uwagi na izolacyjność od dźwięków uderzeniowych stropów masywnych*, Instrukcje, wytyczne, poradniki, nr 394, Warszawa 2004.
19. R. Żuchowski, L. Dulak, A. Nowoświat, *Ocena właściwości akustycznych mieszkań*, MBJ2030 Miejski Budynek Jutra - zadanie W10.1.1. Projektu Celowego „Miejski Budynek Jutra 2030”, numer 6 ZR6 2009 C/07319 współfinansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.