

BADANIA I STUDIA – RESEARCH AND STUDIES

Barbara Szudrowicz*

CZAS POGŁOSU POMIESZCZEŃ W BUDYNKACH MIESZKALNYCH I UŻYTECZNOŚCI PUBLICZNEJ – ZAGADNIENIA NORMALIZACYJNE

Czas pogłosu jest jednym z parametrów oceny akustycznej pomieszczeń. W przypadku pomieszczeń typowych dla budownictwa mieszkaniowego i użyteczności publicznej regulacje prawne dotyczące czasu pogłosu związane są z wymaganiem ochrony przed hałasem, w tym hałasem pogłosowym. W wielu pomieszczeniach czas pogłosu powinien być regulowany ze względu na konieczność zapewnienia odpowiednich warunków akustycznych do odbioru mowy i muzyki. W Polsce nie ma norm dotyczących tych zagadnień. Przewiduje się, że zestaw norm PN-B-02151 *Ochrona przed hałasem w budynkach* zostanie uzupełniony częścią 4, obejmującą wymagania dotyczące czasu pogłosu. W artykule przedstawiono przegląd norm dotyczących czasu pogłosu stosowanych w wielu państwach europejskich, poddano analizie ich wymagania i na tej podstawie sformułowano wnioski do opracowania odpowiedniej PN.

1. Wprowadzenie

Czas pogłosu jest jednym z istotnych parametrów oceny warunków akustycznych w pomieszczeniach. W zależności od funkcji pomieszczenia parametr ten jest kształtowany albo przez rozwiązania architektoniczno-budowlane i/lub stosowanie odpowiednich adaptacji akustycznych wnętrza, albo jest wielkością zależną głównie od rodzaju wyposażenia (umeblowania) wnętrza wynikającego z jego funkcji [1, 2].

Pierwszy przypadek dotyczy pomieszczeń, w których warunki akustyczne muszą być dostosowane do odbioru specyficznych dla danego pomieszczenia sygnałów akustycznych (np. mowy, muzyki), lub pomieszczeń, w których dąży się do maksymalnego zmniejszenia energii akustycznej fal odbitych w celu ograniczenia poziomu hałasu pochodzącego od źródeł usytuowanych w danym pomieszczeniu (np. pomieszczenia przemysłowe, niektóre rodzaje pomieszczeń w budynkach użyteczności publicznej, obszary komunikacji ogólnej w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej).

dr hab. inż – Zakład Akustyki ITB

Drugi przypadek dotyczy przede wszystkim pomieszczeń w budynkach mieszkalnych oraz wielu typowych pomieszczeń w budynkach użyteczności publicznej. W tego rodzaju pomieszczeniach czas pogłosu zależy przede wszystkim od wyposażenia wnętrza, a tylko w stosunkowo niewielkim stopniu od ich objętości, kształtu i rodzaju przegród ograniczających pomieszczenie. Występuje więc znacząca różnica między czasem pogłosu pomieszczenia pustego i zagospodarowanego.

Dyrektywa EEC 89/106 [3] określająca 6 wymagań podstawowych, jakim powinny odpowiadać budynki, w wymaganiu nr 5 „Ochrona przed hałasem” [4] uwzględnia obowiązek ochrony pomieszczeń przed hałasem pogłosowym. Jest to równoznaczne z wymaganiem odnoszącym się do minimalizacji czasu pogłosu pomieszczenia.

Czas pogłosu pomieszczeń w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej ma także wpływ na izolacyjność akustyczną między pomieszczeniami.

2. Standaryzowanie izolacyjności akustycznej przegród wewnętrznych w budynku względem wzorcowego czasu pogłosu i wzorcowej chłonności akustycznej

Związki łączące izolacyjność akustyczną między pomieszczeniami i czas pogłosu pomieszczenia odbiorczego wynikają z definicji określającej tę izolacyjność.

Powszechnie stosowane są dwa rodzaje zależności do określania izolacyjności akustycznej w budynku:

A. Izolacyjność od dźwięków powietrznych

– przybliżona izolacyjność akustyczna właściwa

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \quad (1)$$

– wzorcowa różnica poziomów ciśnienia akustycznego

$$D_{n,T} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{T_0} \quad (2)$$

B. Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych określana poziomem uderzeniowym

– znormalizowanym

$$L_n = L_i + 10 \log \frac{A}{A_0} \quad (3)$$

– wzorcowym

$$L_{n,T} = L_i + 10 \log \frac{T_0}{T} \quad (4)$$

We wzorach od (1) do (4):

L_1 – średni poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu nadawczym, dB,

L_2 – średni poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym, dB,

- S – powierzchnia przegrody rozdzielającej pomieszczenia (wspólna w obu pomieszczeniach), m^2 ,
- A – chłonność akustyczna pomieszczenia odbiorczego, m^2 ,
- T – czas pogłosu pomieszczenia odbiorczego, s,
- A_0 – chłonność akustyczna odniesienia, m^2 ,
- T_0 – czas pogłosu odniesienia, s,
- L_i – średni poziom uderzeniowy występujący w pomieszczeniu odbiorczym spowodowany działaniem na stropie stukacza wzorcowego, dB.

Wartości czasu pogłosu i chłonności akustycznej stosowane przy standaryzowaniu izolacyjności akustycznej są określone w normach europejskich EN, a także międzynarodowych ISO i wynoszą:

$$A_0 = 10 \text{ m}^2$$

$$T_0 = 0,5 \text{ s}$$

Przyjmuje się, że wartości te odpowiadają warunkom pogłosowym wumeblowanych pokojach mieszkalnych, z tym, że w normalizacji odnosi się je także do innych pomieszczeń w budynkach użyteczności publicznej.

W normach dotyczących akustyki budowlanej przyjmuje się, że między czasem pogłosu a chłonnością akustyczną pomieszczenia występuje związek

$$A + \frac{0,161 V}{T}, \text{ m}^2 \quad (5)$$

gdzie V – objętość pomieszczenia, m^3 .

Jest to zależność wynikająca z modelu obliczeniowego, w którym zakłada się, że pole akustyczne w pomieszczeniu jest rozproszone. Model taki, zgodnie z EN 12354-6:2005 [5], może być stosowany przy obliczeniach czasu pogłosu w większości pomieszczeń występujących w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej, z wyłączeniem pomieszczeń specjalnych, w których zagadnienia kształtowania akustyki wewnątrz muszą być potraktowane w sposób szczególny.

Ze wzoru (5) wynika, że wzorcowe wartości A_0 i T_0 odnoszą się do pomieszczenia o objętości $V = 31 \text{ m}^3$, są to więc pomieszczenia stosunkowo małe.

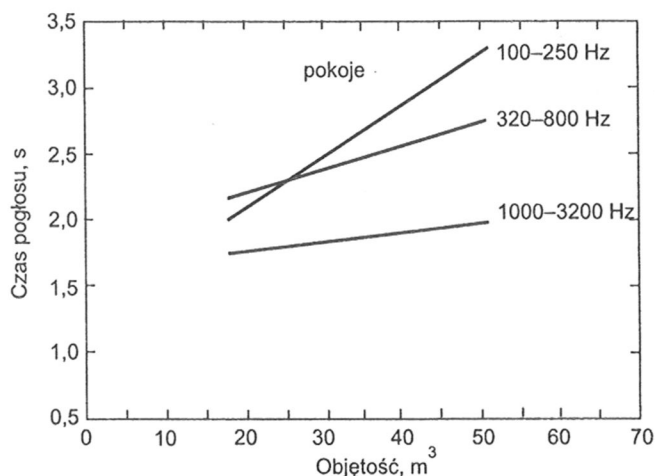
W normie PN-B-02151-3:1999 [6] wymagania w stosunku do izolacyjności od dźwięków powietrznych sformułowane są za pomocą przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej R' określonej wzorem (1), z wyjątkiem sytuacji, gdy pomieszczenia rozdzielone rozpatrywaną przegrodą są w stosunku do siebie przesunięte, lub jeżeli powierzchnia przegrody $S < 10 \text{ m}^2$. W tych przypadkach wymagania dotyczą wzorcowej różnicy poziomów D_{nT} określonej wzorem (2), czyli różnicy poziomu ciśnienia akustycznego odniesionej do wzorcowego czasu pogłosu T_0 . W normach wielu państw europejskich wymagania dotyczą wielkości Dn_T , bez względu na wymiary powierzchni przegrody i wzajemne usytuowanie przyległych pomieszczeń.

Wymagania w stosunku do izolacyjności od dźwięków uderzeniowych przedstawiane są za pomocą znormalizowanego poziomu uderzeniowego wyrażonego wzorem (3), czyli poziomu uderzeniowego odniesionego do wzorcowej wartości chłonności akustycznej A_0 .

Jeżeli rzeczywisty czas pogłosu i chłonność akustyczna pomieszczenia odbiegają od warunków odniesienia, wówczas mamy do czynienia z przewartościowaniem albo niedowartościowaniem wyznaczonej pomiarowo izolacyjności od dźwięków powietrznych lub poziomu uderzeniowego. Powstaje zatem pytanie, jak kształtuje się czas pogłosu (a więc i chłonność akustyczna) w pomieszczeniach.

Szeroko zakrojone badania akustyczne w tym zakresie odnoszące się do budynków mieszkalnych były prowadzone w Zakładzie Akustyki ITB pod koniec lat siedemdziesiątych i zostały uzupełnione badaniami wykonanymi w latach 2003–2004 [7].

Na podstawie tych badań można stwierdzić, że czas pogłosu pomieszczeń pustych (nieumeblowanych, bez wyposażenia) znacznie przekracza wartości odniesienia i jest w istotny sposób zależny od częstotliwości. Uśrednione wartości czasu w zakresie częstotliwości niskich (100–250 Hz), średnich (315–800 Hz) i wysokich (1000–3150 Hz) przedstawiono na rysunku 1.



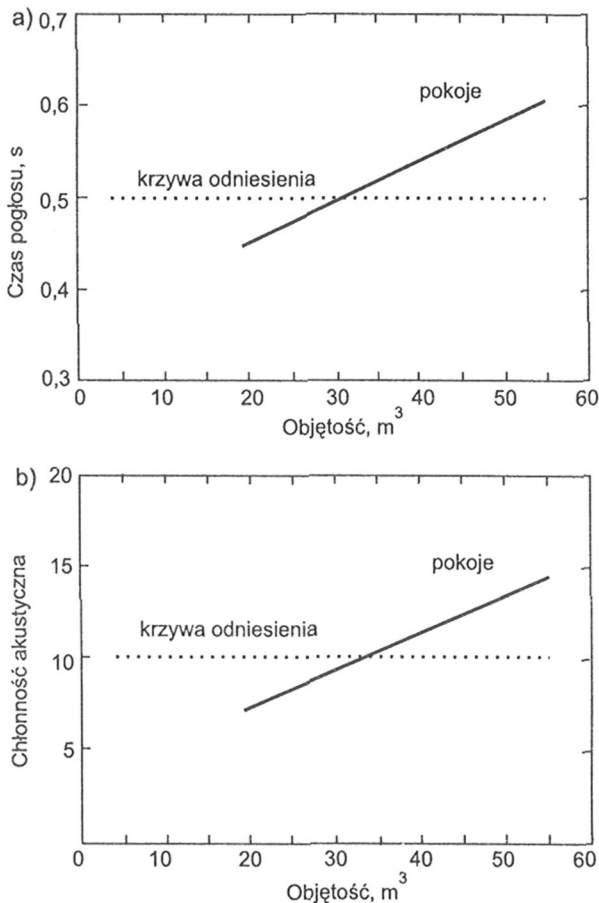
Rys. 1. Pomieszczenia nieumeblowane – zależność średniego (w przedziale częstotliwości niskich, tj. 100–250, średnich, tj. 320–800 Hz, i wysokich, tj. 1000–3150 Hz), czasu pogłosu od objętości pomieszczenia (na podstawie [7])
 Fig. 1. Non-furnished rooms relationship between the reverberation time (within low (100–250 Hz), medium (320–800 Hz) and high (1000–3150 Hz) frequency range) and room volume (based on [7])

Umeblowanie i wyposażenie pomieszczeń znacznie obniża czas pogłosu – do wartości zbliżających się do wzorcowego czasu pogłosu, w zależności od objętości pomieszczeń. Przy objętości $V \approx 30 \text{ m}^3$ występuje całkowita zbieżność rzeczywistych i przyjmowanych jako poziom odniesienia wartości czasu pogłosu i chłonności akustycznej (rys. 2).

W przypadkach gdy $T < T_0$ rzeczywista izolacyjność akustyczna między pomieszczeniami jest większa niż wskaźniki izolacyjności wyznaczone według wzorów (2) i (4). Dotyczy to zarówno izolacyjności od dźwięków powietrznych, jak i uderzeniowych. Zagadnienia oceny izolacyjności akustycznej odniesionej do normowego czasu pogłosu (lub do normowej chłonności akustycznej) omówiono bliżej w publikacjach [7] i [8].

Rys. 2. Pomieszczenia umeblowane – zależność od objętości pomieszczenia: a – czasu pogłosu, b – chłonności akustycznej (wartości średnie w przedziale częstotliwości 100–3150 Hz); wartość odniesienia czasu pogłosu $T_0 = 0,5$ s, chłonności akustycznej $A_0 = 10$ m² (na podstawie [7])

Fig. 2. Furnished room – relationship between the room volume and a – reverberation time; b – sound absorption (average values of 100–3150 Hz range); reference reverberation time $T_0 = 0.5$ s; reference sound absorption area $A_0 = 10$ m² (based on [7])



Przedstawione wyniki badań, wskazujące na różnicę czasu pogłosu (chłonności akustycznej) w pomieszczeniach mieszkalnych umeblowanych i nieumeblowanych, są również istotne ze względu na podejście do normowania czasu pogłosu w wielu pomieszczeniach w budynkach użyteczności publicznej.

3. Normowanie czasu pogłosu w pomieszczeniach budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej w świetle wybranych norm państw europejskich

3.1. Materiały źródłowe

W wielu państwach europejskich istnieją normy, które uwzględniają wymagania w zakresie czasu pogłosu w pomieszczeniach budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej. Mowa tu o normach, które odnoszą się do najczęściej występujących rodzajów

pomieszczeń, natomiast nie obejmują pomieszczeń specjalnych takich jak sale do odbioru mowy i muzyki przeznaczone dla publiczności.

Wymagania w zakresie czasu pogłosu pomieszczeń w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej występują bądź w normach zawierających komplet wymagań związanych z ochroną przeciwdźwiękową, gdzie czas pogłosu pomieszczeń o różnej funkcji uwzględniony jest równoległe z dopuszczalnymi poziomami hałasu i wymaganą izolacyjnością akustyczną przegród, bądź czas pogłosu jest podstawowym przedmiotem normy i w odniesieniu do niektórych rodzajów pomieszczeń powiązany jest także z innymi parametrami określającymi jakość akustyczną wnętrza. Do pierwszej grupy można zaliczyć na przykład normę fińską [9], islandzką [10], norweską [11], szwajcarską [12], szwedzką [13], do drugiej grupy należy zaliczyć normę niemiecką [14] i prawie identyczną z nią normę austriacką [15]. Normy te zestawiono w tabelicy 1, zaznaczając uwzględnione w normie rodzaje wymagań – poza czasem pogłosu – odnoszące się do zagadnień akustyki wnętrza.

Tablica 1. Zestawienie przeanalizowanych norm dotyczących czasu pogłosu w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej

Table 1. List of the reviewed standards concerning reverberation time in residential and public buildings

Państwo	Nr dokumentu	Podane w normie wymagania poza czasem pogłosu
A. Normy uwzględniające czas pogłosu jako element kompleksowych wymagań dotyczących ochrony przeciwdźwiękowej w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej		
Finlandia [9]	SFS 5907:2004	1) dla klas szkolnych – minimalna wartość ST1, 2) zalecenia do projektowania (w załącznikach): <ul style="list-style-type: none"> • akustyka wnętrz klas szkolnych, • projektowanie pomieszczeń wieloprzestrzennych (typu <i>open space</i>), <ul style="list-style-type: none"> • obliczenia czasu pogłosu, • klasyfikacja materiałów dźwiękochłonnych (na podstawie EN ISO 11654), • tabelaryczne zestawienie zalecanej wielkości powierzchni dźwiękochłonnych sufitów podwieszonych klasy A w zależności od wysokości pomieszczenia i wymaganego czasu pogłosu
Islandia [10]	IST 45:2003	–
Norwegia [11]	NS 8175:2005	–
Szwajcaria [12]	SN 520 181 wyd. 2006	wskazówki dotyczące słyszalności (ogólne, bez podawania wymaganych wartości wskaźników); uwaga: 1) wymagania w zakresie czasu pogłosu odnoszą się tylko do klas szkolnych i hal sportowych 2) w normie istnieją odwołania do DIN
Szwecja [13]	SS 25267:2004	–

Państwo	Nr dokumentu	Podane w normie wymagania poza czasem pogłosu
B. Normy odnoszące się wyłącznie do zagadnień akustyki wnętrza		
Niemcy [14]	DIN 18041 wyd. 2004	<ol style="list-style-type: none"> 1) dopuszczalny poziom zakłóceń akustycznych, 2) wskazówki dotyczące zwiększenia izolacyjności akustycznej przegród budowlanych (w nawiązaniu do DIN 4109:1989-11), 3) ukształtowanie wnętrza (geometria), rozmieszczenie powierzchni dźwiękochłonnych, 4) wyposażenie elektroakustyczne, 5) zalecenia dotyczące pomieszczeń, w których zastosowanie materiałów dźwiękochłonnych ma na celu zmniejszenie poziomu hałasu pogłosowego, 6) w załącznikach (informacyjnych): <ul style="list-style-type: none"> • pojęcia i określenia odnoszące się do zrozumiałości mowy, • wartości współczynników pochłaniania dźwięku przez materiały dźwiękochłonne oraz wartości chłonności akustycznej wprowadzanych przez osoby, przedmioty wyposażenia wnętrz, • wskazówki dotyczące poprawy zrozumiałości mowy w przypadkach zbyt dużego poziomu zakłóceń akustycznych, • wskazówki dotyczące komunikacji słownej
Austria [15]	ÖNORM B 8115-3 wyd. 2005	<ol style="list-style-type: none"> 1) dopuszczalny poziom zakłóceń (z powołaniem się na ÖNORM B 8115-2:2002), 2) wymagania dotyczące słyszalności w pomieszczeniach przeznaczonych dla ludzi z ubytkiem słuchu, 3) wymagania dotyczące słyszalności w pomieszczeniach przeznaczonych do komunikacji w językach obcych, 4) wymagania dotyczące zmniejszenia poziomu hałasu – minimalna wartość średniego współczynnika pochłaniania w pomieszczeniu w zależności od wyposażenia, 5) wskazówki dotyczące sposobu spełnienia wymagań

3.2. Czas pogłosu jako element kompleksowych wymagań dotyczących ochrony przeciwdźwiękowej w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej

Zestawione w tablicy 1 w poz. A normy obejmujące kompleksowe wymagania w zakresie ochrony przeciwdźwiękowej pomieszczeń odnoszą je kolejno do budynków mieszkalnych i budynków użyteczności publicznej o określonym przeznaczeniu. Wymagania dotyczące czasu pogłosu obejmują następujące rodzaje pomieszczeń:

- budynki mieszkalne** – klatki schodowe, korytarze, pomieszczenia klubowe;
- hotele** – pokoje hotelowe, korytarze, hole, klatki schodowe, pomieszczenia klubowe;
- szpitale** – korytarze komunikacji ogólnej, klatki schodowe, sale chorych, gabinety lekarskie (ogólne), gabinety lekarskie do badań słuchu, pokoje dziennego pobytu, poczekalnie, pokoje wypoczynkowe, pokoje do fizykoterapii, sale gimnastyczne, baseny, kuchnie, oddziały cateringowe;
- szkoły** – klatki schodowe, korytarze, hole, klasy szkolne, audytoria do zajęć grupowych, sale gimnastyczne i baseny, pomieszczenia do zajęć technicznych, klasy do zajęć muzycznych (różnego typu), pokoje nauczycielskie, pokoje administracyjne;

przedszkola – klatki schodowe, korytarze komunikacji ogólnej, pomieszczenia do zajęć, sale zabaw, pomieszczenia do zajęć wizualnych i słuchowych, pomieszczenia przeznaczone do zajęć muzycznych i fizycznych;

budynki biurowe – korytarze, hole, klatki schodowe, pokoje biurowe, małe sale konferencyjne, pomieszczenia biurowe typu *open space*, małe audytoria, kawiarnie, restauracje.

W odniesieniu do większości wymienionych pomieszczeń ograniczenie czasu pogłosu ma na celu zmniejszenie poziomu hałasu wywołanego w pomieszczeniu obecnością i działalnością ludzi (np. klatki schodowe, korytarze, hole, sale klubowe, kawiarniane, restauracje, pomieszczenia wypoczynkowe, małe pomieszczenia biurowe, pokoje nauczycielskie, pomieszczenia do zajęć technicznych). W tych przypadkach normy podają maksymalne wartości czasu pogłosu T_{max} , który odnosi się do pomieszczeń wykończonych, wyposażonych, lecz bez ludzi. W poszczególnych normach istnieje dość duże zróżnicowanie w podejściu do normowania czasu pogłosu T_{max} w zależności od częstotliwości – odnosi się on do pasm oktawowych w przedziale częstotliwości 250–4000 Hz, 500–2000 Hz, 125–2000 Hz lub tylko 500 Hz. W niektórych normach w odniesieniu do pewnych pomieszczeń przyjmuje się, że w oktawowym paśmie częstotliwości $f = 125$ Hz czas pogłosu może być o 20% większy.

Przeanalizowane normy uwzględniają kategoryzację akustyczną budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej. Wymagania dotyczące czasu pogłosu są zależne od klasy akustycznej budynku. Im wyższa klasa akustyczna budynku, tym maksymalny czas pogłosu jest mniejszy, przy czym różnice w wartości T_{max} między poszczególnymi klasami akustycznymi dochodzą w niektórych przypadkach nawet do 50%.

Przedziały, w których mieszczą się wartości czasu pogłosu w poszczególnych pomieszczeniach budynków klasy standardowej, zestawiono w tabelicy 2.

Tablica 2. Przeciętne wartości dopuszczalnego maksymalnego czasu pogłosu w pomieszczeniach budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej klasy akustycznej standardowej według norm zestawionych w tabelicy 1 w poz. A (wybór)

Table 2. Average values of maximum permissible reverberation time in the residential and public buildings of typical acoustic class according to the standards listed under letter A in Table 1 (selection)

Rodzaj budynku	Rodzaj pomieszczenia	T_{max}^* , s
Budynki mieszkalne wielorodzinne	klatki schodowe**	1,3 ÷ 1,5
	korytarze komunikacji ogólnej	1,0 ÷ 1,3
Hotele	klatki schodowe, korytarze komunikacji ogólnej	0,8 ÷ 1,3
	pokoje hotelowe	0,6 ÷ 0,8
Szpitale	klatki schodowe	1,3
	korytarze komunikacji ogólnej	0,8 ÷ 1,0
	sale chorych, gabinety lekarskie (ogólne)	0,8
	pokoje dziennego pobytu, poczekalnie	0,5 ÷ 0,8
	sale gimnastyczne, baseny	1,2

Rodzaj budynku	Rodzaj pomieszczenia	T_{\max}^* , s
Szkoly	klatki schodowe, korytarze, hole	1,0 ÷ 1,3
	klasy szkolne	0,6 ÷ 0,8
	klasy do zajęć muzycznych	0,9 ÷ 1,3
	pokoje nauczycielskie	0,6 ÷ 0,8
	pomieszczenia do zajęć technicznych	0,5 ÷ 0,9
	sale gimnastyczne	1,2 ÷ 1,9
	baseny	2,0
Przedszkola	klatki schodowe, korytarze, hole	0,6 ÷ 1,0
	sale zabaw, sale do zajęć ogólnych	0,5 ÷ 0,6
	sale do zajęć muzycznych i ćwiczeń fizycznych	0,9
Budynki biurowe	korytarze, hole	0,8 ÷ 1,0
	klatki schodowe	1,3
	pokoje biurowe	0,5 ÷ 0,8
	małe sale konferencyjne	0,7 ÷ 0,8
	sale typu <i>open space</i>	0,4
Budynki różne	kawiarnie, restauracje	0,6 ÷ 0,9
	pomieszczenia klubowe	0,8
* Odnosi się do pomieszczeń umeblowanych, wyposażonych, bez ludzi.		
** Norma fińska ogranicza wymagania tylko do przypadku, gdy z klatki schodowej jest wejście do więcej niż dwóch mieszkań.		

Nie jest możliwe bezpośrednie szczegółowe porównywanie danych zawartych w tabelicy 2, określają one bowiem czas pogłosu nie w jednakowych pasmach częstotliwości, co już zasygnalizowano wcześniej. Niezależnie od tego nasuwa się spostrzeżenie, że między wartościami dopuszczalnego czasu pogłosu, określonymi w poszczególnych normach dla niektórych rodzajów pomieszczeń, są znaczne różnice.

Wymagany czas pogłosu w pomieszczeniach umeblowanych, zagospodarowanych, takich jak pokoje hotelowe, pokoje łóżkowe w szpitalach, ma praktycznie taką samą wartość, jak rzeczywisty czas pogłosu w tego rodzaju pomieszczeniach (przykład: umeblowane pokoje w budynkach mieszkalnych – rys. 2).

Ograniczenia czasu pogłosu pomieszczeń klatek schodowych i korytarzy, szczególnie w budynkach szkolnych oraz w aulach i salach gimnastycznych, ma istotne znaczenie przy projektowaniu pod względem akustycznym tego rodzaju obiektów, bowiem rzeczywisty czas pogłosu tych pomieszczeń bez wprowadzenia dźwiękochłonnych adaptacji akustycznych jest bardzo często znacznie większy. Na przykład według badań przepro-

wadzonej w 2003 r. w jednej ze szkół warszawskich czas pogłosu na korytarzu i w holu klatki schodowej wynosił $1,8 \div 2,2$ s, w auli szkolnej $1,5 \div 1,8$ s, a w sali gimnastycznej nawet $2,1 \div 3,8$ s.

3.3. Ujęcie wymagań odnośnie do czasu pogłosu w normach poświęconych akustyce wewnątrz w pomieszczeniach budynków użyteczności publicznej

Podstawową normą dotyczącą akustyki wewnątrz w pomieszczeniach budynków użyteczności publicznej, na której wzorowane są normy innych państw europejskich (tych, w których takie normy istnieją), jest norma niemiecka DIN 18041 [14]. W normie tej wymagania dotyczące akustyki wewnątrz odnoszą się do małych i średnich pomieszczeń (sformułowanie według normy). Zestaw wymagań został podzielony na dwie grupy: A i B, w zależności od odległości między miejscem usytuowania źródła dźwięku (nadawcą) a odbiorcą:

- **grupa A** (średnia i duża odległość) – sale konferencyjne, audytoryjne, sale lekcyjne i wykładowe, pomieszczenia dla grup dzieci przedszkolnych, sale obrad, hale sportowe, pływalnie,
- **grupa B** (mała odległość) – sale sprzedaży, jadalnie, kawiarnie, restauracje, sale dostępne dla klientów, np. bankowe, pokoje rozmów, wieloosobowe sale biurowe, sale operacyjne i rehabilitacyjne w szpitalach, czytelnie w bibliotekach, pomieszczenia z dużym ruchem publicznym, korytarze, poczekalnie, klatki schodowe.

Wymagania odnoszące się do pomieszczeń zaliczonych do grupy B mają na celu wyłącznie ograniczenie poziomu hałasu pogłosowego. Zgodnie z normą cel ten jest osiągnięty, jeżeli w wyniku zastosowania dodatkowej chłonności akustycznej w pomieszczeniu zmniejszenie poziomu hałasu w poszczególnych oktaowych pasmach częstotliwości wyniesie minimum 3 dB. Norma zaleca, aby współczynnik pochłaniania dźwięku α w pasmach oktaowych w przedziale 250–2000 Hz, średni ze wszystkich powierzchni ograniczających pomieszczenie, nie przekraczał 0,35. Większą wartość średniego współczynnika pochłaniania uznano w normie jako korzystną, jednak zaleca się, aby takie przypadki traktować indywidualnie, sprawdzając techniczne możliwości realizacji oraz zasadność ekonomiczną.

Optymalny czas pogłosu w pomieszczeniach należących do grupy A jest uzależniony od rodzaju przeznaczenia pomieszczenia oraz od objętości. Zgodnie z konkretnym przeznaczeniem pomieszczenia określa się go za pomocą wzoru $T = f(V)$, gdzie V oznacza objętość pomieszczenia wyrażoną w m^3 . Zmiennosc czasu pogłosu w funkcji częstotliwości w stosunku do wartości obliczonej według wzoru odnoszącego się do konkretnego przeznaczenia pomieszczenia jest określona za pomocą zależności $T/T_{wymagane} = F(f)$, gdzie f – środkowe częstotliwości pasm oktaowych. Zależność ta w normie DIN 18041 [14] jest przedstawiona w formie graficznej odrębnie dla mowy i dla muzyki. W przypadku mowy $T/T_{wymagane}$ w oktaowych pasmach częstotliwości od 250 do 2000 Hz powinno się zawierać w przedziale $0,8 \div 1,2$ (nieco inna wartość $T/T_{wymagane}$ jest przyjmowana w paśmie oktaowym poniżej 250 Hz i powyżej 2000 Hz).

Charakterystyczne jest, że określona konkretnym wzorem wartość optymalnego czasu pogłosu odnosi się do pomieszczeń przy zapełnieniu ludźmi, zgodnie z przeznaczeniem.

czeniu pomieszczenia. Norma podaje tzw. wskaźnik k zapelnienia, określający objętość w m^3 przypadającą na 1 miejsce. I tak w pomieszczeniach:

- przeznaczonych do występów słownych $k = 3 \div 6 m^3 / 1$ miejsce,
- przeznaczonych do występów słownych i muzycznych $k = 5 \div 8 m^3 / 1$ miejsce,
- przeznaczonych do występów muzycznych $k = 7 \div 12 m^3 / 1$ miejsce.

Zestawienie wzorów określających optymalny czas pogłosu w zależności od 5 rodzajów przeznaczenia pomieszczeń, wraz z przynależnymi przykładami pomieszczeń, zestawiono w tablicy 3.

Tablica 3. Optymalny czas pogłosu pomieszczeń według danych zawartych w normie DIN 18041:2004 [14] (przy całkowitym zapelnieniu ludźmi, zgodnie z przeznaczeniem)

Table 3. Optimum reverberation time in the rooms (filled with people, according to the room purpose) compliant with the data given in DIN 18041:2004 [14]

Lp.	Rodzaj przeznaczenia pomieszczenia	Przykłady pomieszczeń w budynkach użyteczności publicznej (wybór)	Czas pogłosu wyrażony zależnością $T = f(V)$ w przedziale objętości pomieszczeń
1	Wystąpienia muzyczne	1) sale do ćwiczeń muzyków: instrumentalistów i śpiewaków*, 2) sale do przedstawień muzycznych	Przy $V = 30 \div 1000 m^3$ (możliwość zwiększenia zakresu zależności do $V = 30\,000 m^3$) $T = 0,45 \lg V + 0,07$
2	Wystąpienia słowne	1) sale narad i sale sądowe, 2) sale zgromadzeń, sale w urzędach gminnych, 3) sale do ćwiczeń w szkołach muzycznych*, 4) hale sportowe i pływalnie z dostępem publiczności	Przy $V = 50 \div 5000 m^3$ (możliwość zastosowania zależności w przedziale $V = 30 \div 50 m^3$ i $V = 5000 \div 30\,000 m^3$) $T = 0,37 \lg V - 0,14$
3	Lekcje, wykłady	1) pomieszczenia lekcyjne (z wyjątkiem zajęć muzycznych), 2) pomieszczenia do zajęć muzycznych z prezentacją audiowizualną, 3) pomieszczenia do zajęć grupowych w przedszkolach, domach dziennego pobytu dzieci oraz w domach seniorów, 4) sale seminaryjne, 5) sale konferencyjne	Przy $V = 30 \div 1000 m^3$ (możliwość zwiększenia zakresu zależności do $V = 30\,000 m^3$) $T = 0,32 \lg V - 0,17$
4	Pomieszczenia do zajęć sportowych – wariant 1	hale sportowe i pływalnie bez dostępu publiczności przeznaczone do użytkowania przez jedną klasę lub jedną grupę sportową	Przy $V = 2000 \div 8500 m^3$ $T = 1,27 \lg V - 2,49$
5	Pomieszczenia do zajęć sportowych – wariant 2	hale sportowe i pływalnie bez dostępu publiczności przeznaczone do równoczesnego użytkowania przez kilka klas lub kilka grup sportowych	Przy $V = 2000 \div 8500 m^3$ $T = 0,95 \lg V - 1,74$
* Według normy austriackiej ÖNORM B 8115-3 [15] czas pogłosu dla tych pomieszczeń jest określony wzorem $T = 0,47 \lg V - 0,37$			

W normie DIN 18041 [14] zawarta jest uwaga, że czas pogłosu pomieszczeń bez ludzi powinien być nie więcej niż o 0,2 s większy od wartości wynikającej ze wzorów podanych w tabelicy 3 (z tolerancją $T/T_{wymagane} = F(f)$ podanej w normie w formie graficznej). Zalecenie to sprawdzono obliczeniowo na przykładach klasy szkolnej oraz hal sportowych przeznaczonych do prowadzenia zajęć dla jednej lub dwóch grup uczestników. W obliczeniach uwzględniono wartości chłonności akustycznej wprowadzanej przez osoby (siedzące na twardych krzesłach lub stojące) podane w PN-EN 12354-6:2005 [5] w załączniku informacyjnym C, przyjmując podane w tym załączniku wartości minimalne i maksymalne oraz pośrednie. Obliczenia przeprowadzono w odniesieniu do pasma o środkowej częstotliwości $f = 500$ Hz według ogólnie znanego wzoru łączącego czas pogłosu i chłonność akustyczną pomieszczenia [5], [1], [2].

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabelicy 4.

Tablica 4. Zmiana czasu pogłosu pomieszczenia po obliczeniowym wyeliminowaniu chłonności wprowadzanej przez ludzi (obliczenia przy $f = 500$ Hz)

Table 4. Modification of the acoustic reverberation time in a room after the simulation to eliminate of absorption caused by the presence of people (calculations made for $f = 500$ Hz)

Pomieszczenie – objętość	Dane dotyczące zapełnienia ludźmi	Normowy czas po- głosu wg tabl. 3	Czas pogłosu w pomieszczeniu bez ludzi przy uwzględnieniu chłonności akustycznej ludzi wg PN-EN 12354-6:2003, zał. C – wynik obliczeń zaokrąglony do 0,1 s (A_{obj} – chłonność akustyczna wprowadzana przez 1 osobę)		
			przy A_{obj} , min.	przy A_{obj} , max	przy A_{obj} , śred.
Klasa szkolna $V = 150 \text{ m}^3$	dzieci w klasie umeblowanej twardymi krzesłami $S = 45 \text{ m}^2$	$T = 0,5 \text{ s}$ wg poz. 3	–	–	$A_{obj} =$ $= 0,25 \text{ m}^2/1 \text{ m}^2$ $T_1 = 0,7 \text{ s}$
Sala gimnastyczna do zajęć jednej grupy (bez dostępu publiczności) $V = 2000 \text{ m}^3$	pojedyncza osoba w grupie, stojąca; przyjęto 30 osób	$T = 1,7 \text{ s}$ wg poz. 4	$A_{obj} =$ $= 0,20 \text{ m}^2/\text{os.}$ $T_1 = 1,8 \text{ s}$	$A_{obj} =$ $= 0,50 \text{ m}^2/\text{os.}$ $T_1 = 2,0 \text{ s}$	$A_{obj} =$ $= 0,80 \text{ m}^2/\text{os.}$ $T_1 = 1,9 \text{ s}$
sala gimnastyczna do zajęć dwóch grup (bez dostępu publiczności) $V = 2000 \text{ m}^3$	pojedyncza osoba w grupie, stojąca; przyjęto 60 osób	$T = 1,4 \text{ s}$ wg poz. 5	$A_{obj} =$ $= 0,20 \text{ m}^2/\text{os.}$ $T_1 = 1,8 \text{ s}$	$A_{obj} =$ $= 0,50 \text{ m}^2/\text{os.}$ $T_1 = 1,5 \text{ s}$	$A_{obj} =$ $= 0,80 \text{ m}^2/\text{os.}$ $T_1 = 1,6 \text{ s}$

Z przedstawionych danych obliczeniowych wynika, że wskazówka zawarta w normie DIN [14], uwzględniająca możliwość przeliczenia wymagań w stosunku do czasu pogłosu pomieszczenia z ludźmi, w przypadku wymagań odnoszących się do czasu pogłosu

pomieszczenia bez ludzi daje w przybliżeniu prawidłowe wyniki, zważywszy na mały stopień dokładności określenia chłonności akustycznej wprowadzanej przez ludzi, jak również na tolerancję wartości wymaganych, wynoszącą (w przedziale pasm oktawowych 250–2000 Hz) $\pm 20\%$.

4. Prognozowanie czasu pogłosu

Ustalając warunki pogłosowe w pomieszczeniach budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej w postaci wymagania normowego, należy się odnieść do metod prognozowania czasu pogłosu.

Wzory służące do obliczania przewidywanego czasu pogłosu wynikają z przyjętych modeli pola akustycznego w pomieszczeniach. W najprostszym modelu przyjmuje się rozproszone pola akustyczne, co według zapisu PN-EN 12354-6:2006 [5] oznacza, że model ten odnosi się do pomieszczeń, których wymiary liniowe są zbliżone, a pochłanianie jest równomiernie rozłożone w przestrzeni. Uściślenie tych ograniczeń w normie wskazuje, że model może być stosowany do pomieszczeń:

- mających regularny kształt: żaden z wymiarów pomieszczenia nie może przekraczać pięciokrotności pozostałych wymiarów,
- mających równomierny rozkład pochłaniania: współczynnik pochłaniania przeciwnych powierzchni ograniczających pomieszczenie nie powinien różnić się więcej niż 3-krotnie, chyba że w pomieszczeniu znajdują się obiekty rozpraszające dźwięk,
- wypełnionych niezbyt dużą liczbą obiektów: objętość obiektów znajdujących się w pomieszczeniu nie powinna przekraczać 20% objętości pustego pomieszczenia.

Przy takim modelu związek między czasem pogłosu a chłonnością akustyczną pomieszczenia przyjmuje postać wzoru (5), który określa się jako wzór Sabina. Występująca w tym wzorze chłonność akustyczna pomieszczenia (całkowite równoważne pole powierzchni dźwiękochłonnej) może być określona na podstawie wzoru

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{s,i} S_i + \sum_{j=1}^o A_{\text{obj},j} + \sum_{k=1}^p \alpha_{s,k} S_k + A_{\text{air}}, \text{ m}^2 \quad (6)$$

- gdzie: A – całkowita chłonność akustyczna pomieszczenia, m^2 ,
 $A_{\text{obj},k}$ – chłonność akustyczna obiektu k znajdującego się w pomieszczeniu, m^2 ,
 A_{air} – chłonność akustyczna wprowadzana przez powietrze w pomieszczeniu, w m^2 , $A_{\text{air}} = 4 m V_{\text{netto}}$ (gdzie m – mocowy współczynnik pochłaniania w powietrzu, w Neperach na metr, V_{netto} – objętość pomieszczenia po odjęciu objętości obiektów znajdujących się w pomieszczeniu),
 $\alpha_{s,i}, \alpha_{s,k}$ – współczynnik pochłaniania dźwięku (wielkość bezwymiarowa) odpowiednio: powierzchni ograniczających pomieszczenie, powierzchni obiektu w pomieszczeniu,
 S_i, S_k – pole powierzchni, w m^2 , odpowiednio ograniczającej pomieszczenie, pokrytej przez obiekt.

Jeżeli warunki stosowania opisanego najprostszego modelu nie są spełnione, powinny być stosowane inne, bardziej skomplikowane zależności, na przykład wzór Norrissa-Eyringa lub wzór Knudsen [2]. W odniesieniu do takich przypadków PN-EN 12354-6:2005 [5] podaje w załączniku informacyjnym zasady oszacowania wartości chłonności akustycznej i czasu pogłosu. Zasady te odnoszą się do pomieszczeń, które mają nieregularny kształt oraz pomieszczeń, w których rozkład pochłaniania jest nieregularny (np. właściwościami dźwiękochłonnymi charakteryzuje się tylko sufit, podczas gdy pozostałe powierzchnie są silnie odbijające).

5. Wskazówki do sformułowania założeń do nowego arkusza PN-B-02151 dotyczącego czasu pogłosu w pomieszczeniach budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej wynikające z przeglądu norm zagranicznych

Formułując założenia do normy dotyczącej czasu pogłosu pomieszczeń w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej, należy mieć na względzie, że norma ta będzie przygotowana pod ogólnym tytułem *Akustyka budowlana. Ochrona przed dźwiękami. Ochrona przed hałasem w budynkach*, a zatem uwzględnione rodzaje budynków i pomieszczeń w budynkach powinny być dostosowane do układu istniejących arkuszy tej normy (przy wzięciu pod uwagę przygotowanych założeń do nowelizacji tych arkuszy). Ponieważ norma ta będzie w przyszłości przywołana w Rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, lub wymagania odnośnie do czasu pogłosu będą wprowadzone bezpośrednio do rozporządzenia, to niezbędne zalecenia dotyczące zasad projektowania akustyki wewnątrz (np. sposób rozmieszczenia materiałów dźwiękochłonnych, inne – poza czasem pogłosu – parametry decydujące o jakości akustycznej pomieszczenia) powinny być wprowadzone do informacyjnego załącznika normy.

Ponieważ wymagania dotyczące czasu pogłosu będą miały charakter obligatoryjny, lista objętych tymi wymaganiami pomieszczeń powinna być ograniczona do niezbędnego minimum. Opracowanie normy wchodzącej w skład zestawu PN-B-02151 nie wyklucza opracowania innej normy, która, bardziej rozbudowana, odnosiłaby się do wielu aspektów projektowania akustyki pomieszczeń, jak też mogłaby objąć pomieszczenia o szczególnych wymaganiach akustycznych.

Szczegółowe wskazówki do opracowania arkusza 4 normy PN-B-02151 *Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach* można ująć w następujących punktach:

1. Arkusz 4 (PN-B-02151-4) powinien obejmować zalecany czas pogłosu pomieszczeń w budynkach mieszkalnych i użyteczności publicznej ze względu na:

- zmniejszenie w pomieszczeniach hałasu pogłosowego traktowane jako środek ograniczenia ogólnego poziomu hałasu w pomieszczeniu (w tym przypadku wartość normowa czasu pogłosu jest wartością maksymalną, która nie powinna być przekroczona),
- kształtowanie pogłosu w pomieszczeniach w celu uzyskania odpowiednich warunków do komunikacji słownej i w niewielkim zakresie odbioru muzyki (w tym przypadku

wartość normowa czasu pogłosu jest wartością optymalną, która powinna być spełniona z określoną tolerancją).

2. Norma nie powinna dotyczyć pomieszczeń o specjalnych wymaganiach w zakresie akustyki wnętrz, takich jak teatry, sale koncertowe, sale kinowe, pomieszczenia sakralne, studia nagrań, laboratoria akustyczne itp. (analogicznie jak arkusz 2 i 3 nie dotyczy tego rodzaju pomieszczeń w zakresie dopuszczalnego poziomu hałasu i izolacyjności akustycznej).

3. Maksymalny czas pogłosu przyjmowany ze względu na ograniczenie hałasu pogłosowego powinien – tak jak w innych normach państw europejskich – odnosić się do pomieszczeń wykończonych, umeblowanych, lecz bez obecności ludzi. Nie jest celowe normowanie czasu pogłosu pomieszczeń zagospodarowanych (umeblowanych), takich jak pokoje hotelowe, sale chorych w szpitalach, gabinety lekarskie, pokoje nauczycielskie itp. w budynkach klasy standardowej. Czas pogłosu w tego rodzaju pomieszczeniach umeblowanych (zagospodarowanych) o przeciętnej objętości jest zazwyczaj bliski wartościom wymaganych, podanych w omówionych normach państw europejskich. Wprowadzenie tego wymagania w normie PN oznaczałoby konieczność wykonywania dodatkowych obliczeń, które nie skutkowałyby istotnymi zmianami rozwiązań projektowych. W budynkach hotelowych, domach studenckich, internatach, przychodniach lekarskich, budynkach biurowych (z wyłączeniem pomieszczeń typu *open space*) itp. ograniczenie czasu pogłosu powinno dotyczyć tylko klatek schodowych i korytarzy komunikacji ogólnej. Wymaganie w takim zakresie powinno obejmować także budynki mieszkalne, lecz o wyższych klasach akustycznych.

4. Optymalny czas pogłosu przyjmowany ze względu na warunki odbioru w pomieszczeniu pożądaných sygnałów akustycznych powinien – analogicznie jak w innych normach państw europejskich – odnosić się do pomieszczeń wykończonych, umeblowanych, z obecnością ludzi (przy założeniu 100-procentowego projektowanego wypełnienia). Wynika to z faktu, że w tym przypadku mamy do czynienia z pomieszczeniami o większej objętości, w których udział chłonności akustycznej wprowadzanej przez ludzi ma istotne znaczenie w ogólnym bilansie chłonności akustycznej pomieszczenia, co przekłada się bezpośrednio na czas pogłosu pomieszczenia. Według zapisu w normie niemieckiej zmniejszenie wypełnienia pomieszczenia ludźmi ze 100% do 75% nie ma znaczącego wpływu na czas pogłosu pomieszczenia.

5. Uwzględnienie umeblowania pomieszczenia lub/i obecności ludzi w normowym czasie pogłosu pomieszczenia komplikuje warunki kontroli czasu pogłosu pod kątem spełnienia wymagań normowych. Z tego względu powinno się przewidzieć w normie możliwość przeprowadzenia kontroli spełnienia wymagań normowych, przeprowadzając pomiary w pomieszczeniach bez mebli lub/i bez ludzi. Wymagać to będzie dopuszczenia do sytuacji, gdy czas pogłosu zmierzony w pomieszczeniu bez mebli lub/i bez ludzi będzie mógł być w normie porównywany z wymaganiem czasem pogłosu skorygowanym stosownie do obliczonego wpływu umeblowania i/lub obecności ludzi w tym pomieszczeniu. Korekcję tę można wyznaczyć na podstawie obliczeń według PN-EN 12354-6:2005 [5]. Orientacyjnie można przyjąć, analogicznie jak w DIN 18041:2004 [13], że czas pogłosu pomieszczenia bez ludzi może być o 0,2 s większy od wartości normowych.

Bibliografia

- [1] Fasold W., Veres E.: Schallschutz + Raumakustik in der Praxis. Verlag für Bauwesen 1998
- [2] Sadowski J.: Akustyka architektoniczna. PWN, Warszawa 1976
- [3] Dyrektywa Rady Wspólnot Europejskich w sprawie zbliżenia ustaw i aktów wykonawczych państw członkowskich dotyczących wyrobów budowlanych (89/106/EEC). Dokumenty Wspólnoty Europejskiej dotyczące budownictwa, z. 1. ITB, Warszawa 1994
- [4] Dokument interpretacyjny do dyrektywy 89/106/EEC dotyczącej wyrobów budowlanych. Wymaganie podstawowe nr 5 „Ochrona przed hałasem”. Dokumenty Wspólnoty Europejskiej dotyczące budownictwa, z. 6. ITB, Warszawa 1996
- [5] PN-EN 12354-6:2005 Akustyka budowlana. Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów. Część 6: Pochłanianie dźwięku w pomieszczeniach
- [6] PN-B-02151-3:1999 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych
- [7] Nowicka E., Szudrowicz B.: Wpływ czasu pogłosu na ocenę izolacyjności akustycznej przegród międzymieszkaniowych. 51. Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Krynica 2005, t. IV. Geotechnika
- [8] Szudrowicz B.: Analiza parametrów oceny izolacyjności akustycznej przegród wewnętrznych. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik*, 4(140), 2006
- [9] SFS 5907:2004 Rakennusten akustinen luokitus (Acoustic classification of space in buildings)
- [10] IST 45:2003 Hljóoist – Flokkun íbúoarhúsnæois (Sond classification of dwellings)
- [11] NS 8175:2005 Lydforhold i bygninger. Lydklasser for ulike bygningstyper (Acoustic condition in buildings. Sound quality classification of various types of buildings)
- [12] SN 520 181 Schallschutz im Hochbau (Wyd. 2006)
- [13] SS 25267:2004 Byggakustik – Ljudklassning av utrymmen i byggnader – Bostäder (Acoustics – Sound classification of spaces in buildings – Dwellings)
- [14] DIN 18041 Horsamkeit in kleinen bis mittelgrossen Raumen (Wyd. 2004)
- [15] ÖNORM B 8115-3 Schallschutz und Raumakustik im Hochbau. Teil 3: Raumakustik (wyd. 2005)

REVERBERATION TIME IN RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS, THE PROBLEMS OF STANDARDIZATION

Summary

Reverberation time is one of the assessment criteria for the acoustic performance of a room. In case of typical residential and public buildings legal regulations for reverberation time are associated with the protection against noise problem and also with the reverberation noise control. In many rooms the reverberation time should be controlled in order to ensure good acoustic conditions for speech and music reception. In Poland, there is no legal regulations or standard for reverberation time in a building. The set of PN-B-02151 „Noise control in buildings” standards is expected to be supplemented with Part 4 concerning reverberation time. The article presents a review of reverberation time control requirements applied in different European countries. The requirements have been analysed and conclusions for preparation of a relevant PN standards have been drawn.

Praca wpłynęła do Redakcji 11 VI 2008