

dr inż. Witold Mikulski¹⁾

Projektowanie adaptacji akustycznej otwartych pomieszczeń do prac administracyjnych.

Część 1. Projektowanie podstawowe

Acoustic adaptation designing of open space for administrative works. Part 1. Basic design

DOI: 10.15199/33.2019.08.02

Streszczenie. Projektowanie akustyczne pomieszczeń biurowych open space polega na takim uwzględnieniu w pomieszczeniu różnych wyrobów dźwiękochłonnych, aby uzyskać wymagane przepisami warunki akustyczne. W artykule projektowanie podzielono na dwa etapy.

Etap pierwszy, wymagany przez przepisy polskie, to uzyskanie w pomieszczeniu wymaganej chłonności akustycznej. Natomiast etap drugi polega na takiej aranżacji akustycznej pomieszczenia i stanowisk pracy, aby uzyskać w nim wymagane warunki propagacji (a właściwie separacji) dźwięków mowy między stanowiskami pracy.

Ze względu na objętość, artykuł podzielono na dwie części. W części pierwszej opisano pierwszy etap projektowania (podano metodę obliczeniową wg PN-B-02151-4:2015 i przykład). W części drugiej, w następnym artykule, opisany zostanie etap drugi projektowania wraz z podaniem przykładu (z wykorzystaniem programu ODEON).

Słowa kluczowe: akustyka pomieszczeń; chłonność akustyczna; adaptacja akustyczna pomieszczeń.

Abstract. The acoustic design of the open plan office consists in taking into account various sound-absorbing products in the room to achieve the required acoustic conditions. In the article design is divided into two stages.

The first stage, obligatory by Polish regulations, is to obtain the room's required sound absorption. The second stage consists in such an acoustic arrangement of the room and workstations to obtain the required conditions for the propagation (or actually separation) of speech sounds between workstations.

Due to the volume, the article has been divided into two parts. The first part (this one) describes the first design stage (the calculation method according to PN-B-02151-4:2015 standard and example are given). In the second part, in the next article, the second design stage (using the ODEON software) will be described.

Keywords: room acoustics; sound absorption; rooms acoustic adaptation.

W nowoczesnych biurach coraz częściej wykorzystywane są otwarte pomieszczenia do prac administracyjnych (biurowe open space). Praca w tych pomieszczeniach powoduje dodatkową uciążliwość wynikającą z tego, że w jednym pomieszczeniu pracuje kilkudziesięciu pracowników [9]. Skutkiem tego jest występowanie hałasu głównie od rozmów, który przeszkadza innym pracownikom. Rozpatrując hałas z punktu widzenia czynnika środowiska pracy, można wyróżnić: hałas o poziomie stwarzających ryzyko uszkodzenia słuchu (obligatoryjne wartości dopuszczalnych poziomów hałasu podane są w Rozporządzeniu Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej

z 12 czerwca 2018 r. [14]); hałas utrudniający realizację podstawowych zadań pracy (zalecane wartości dopuszczalne poziomów hałasu podane są w polskiej normie PN-N-01307:1994 [10]); hałas pogłosowy (charakteryzowany pośrednio przez minimalną chłonność akustyczną pomieszczenia; obligatoryjne wartości kryterialne podane w przywołanej w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Budownictwa z 14 listopada 2017 r. polskiej normie PN-B-02151-4:2015 [11]); zbyt dalekie rozprzestrzenianie się dźwięku mowy i zbyt duża zrozumiałość rozmów prowadzonych na innych stanowiskach pracy (charakteryzowane pośrednio przez zalecane wartości podane w normie międzynarodowej PN-EN ISO 3382-3:2012 [12] oraz w [8, 9]).

Wyniki badań hałasu w otwartych pomieszczeniach do prac administracyjnych wskazują, że nie występuje w nich

ryzyko uszkodzenia słuchu [4]. Prawdopodobieństwo wystąpienia hałasu o poziomie, który utrudniałby realizację podstawowych zadań pracy (zalecany równoważny poziom dźwięku A 55 dB [10]), jest również w większości przypadków małe [4]. Z tego powodu przy projektowaniu otwartych pomieszczeń do prac administracyjnych konieczne jest przede wszystkim **zapewnienie odpowiednich właściwości pogłosowych** pomieszczenia określonych w normie PN-B-02151-4:2015 [11]. **Ponadto należy dążyć do uzyskania tzw. dobrych właściwości akustycznych pomieszczeń** podanych w PN-EN ISO 3382-3:2012 [12].

Uwzględniając aktualny stan prawny w Polsce, obecnie kryteria oceny akustycznej otwartych pomieszczeń do pracy administracyjnej można podzielić na: obligatoryjne wg PN-B-02151-4:2015 [11] i zalecane wg PN-EN ISO 3382-3:2012 [12].

¹⁾ Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy; wimik@ciop.pl

Te pierwsze dalej w artykule określone są jako **podstawowe**, a te drugie jako **dotatkowe**. Obecnie trudno określić, w jakiej perspektywie czasowej kryteria dodatkowe staną się obowiązujące, ale uwzględnianie ich w projektowaniu należy uznać za jak najbardziej celowe.

Proces uwzględnienia w projekcie akustycznym elementów kształtujących właściwości akustyczne pomieszczenia składa się z dwóch etapów projektowania akustycznego: podstawowego i dodatkowego.

Etap podstawowego projektowania akustycznego (obligatoryjny) obejmuje uwzględnienie w projekcie takich elementów kształtujących właściwości akustyczne pomieszczenia, aby uzyskać odpowiednie właściwości dźwiękochłonne (minimalizacja hałasu pogłosowego), określone jako **chłonność akustyczna pomieszczenia**. Metoda obliczania tego parametru oraz jego wartość kryterialna podana jest w PN-B-02151-4:2015 przywołanej w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Budownictwa z 14 listopada 2017 r. [11]. Z praktycznego punktu widzenia etap projektowania podstawowego dotyczy działań, które powinny być realizowane na etapie realizacji budynku i pomieszczeń (przed ich eksploatacją). W etapie tym uwzględnia się różne wyroby dźwiękochłonne w pomieszczeniu (na stropie, ścianach i podłodze) oraz wstępne wyposażenie.

Etap dodatkowego projektowania akustycznego obejmuje uwzględnienie w projekcie takiej aranżacji stanowisk pracy oraz takich elementów kształtujących właściwości akustyczne pomieszczenia, aby finalnie uzyskać zadane właściwości propagacji dźwięków i zrozumiałości mowy w pomieszczeniu między stanowiskami pracy. Zakres i charakter tych działań wiąże się z ostateczną aranżacją przestrzeni pracy i dlatego czynności w ramach tego etapu wykonuje najczęściej właściciel obiektu, najemca lub pracodawca. Kryteria oceny i metody określania wielkości stosowanych do oceny akustycznej propagacji dźwięku w pomieszczeniu podane są w PN-EN ISO 3382-3:2012 [12]. W związku z tym, że norma ta nie ma statusu obligatoryjnego w Polsce, ocena oraz cały etap drugi należy traktować jako zalecenia do stosowania, w celu uzyskania

z tych dobrych właściwości akustycznych rozpatrywanych pomieszczeń. Wyznaczenie tych wartości metodą obliczeniową jest skomplikowane, dlatego też stosuje się specjalne narzędziowe programy komputerowe (np. [13]).

W artykule omówiony zostanie etap podstawowego projektowania akustycznego w otwartym pomieszczeniu do prac administracyjnych, natomiast w kolejnym (druga część artykułu) – etap projektowania dodatkowego.

Metoda podstawowego projektowania akustycznego pomieszczenia wg PN-B-02151-4:2015

Etap **podstawowego projektowania akustycznego** polega na uwzględnieniu w pomieszczeniu takich elementów (m.in. dźwiękochłonnych), aby uzyskać wymaganą, podaną w przepisach, **chłonność akustyczną**. Minimalną chłonność akustyczną pomieszczenia otwartego do prac administracyjnych A_{\min} określa się wg wzoru:

$$A_{\min} = 1,1 \cdot S_p \text{ [m}^2\text{]} \quad (1)$$

gdzie:

1,1 – wartość minimalnej chłonności akustycznej odniesionej do 1 m² rzutu pomieszczenia (podana w PN-B-02151-4:2015 [11]);
 S_p – pole powierzchni rzutu pomieszczenia [m²].

Obliczona chłonność akustyczna pomieszczenia $A_{\text{obliczone}}$ musi spełniać warunek:

$$A_{\text{obliczone}} \geq A_{\min} \quad (2)$$

gdzie:

$A_{\text{obliczone}}$ – chłonność akustyczna pomieszczenia obliczona wg metody podanej w normie PN-B-02151-4:2015 [11];

A_{\min} – minimalna chłonność akustyczna pomieszczenia otwartego do prac administracyjnych określona wg wzoru 1.

Metoda określenia chłonności akustycznej pomieszczenia podana jest w PN-B-02151-4:2015 [11]. Chłonność akustyczna pomieszczenia wynika z chłonności akustycznej wszystkich powierzchni (w tym ograniczających pomieszczenie), chłonności akustycznej znajdującego się w nim wyposażenia oraz chłonności akustycznej wynikającej z pochłaniania dźwięku w powietrzu. Określa się ją ze wzoru:

$$A_{\text{obliczone}} = A_{\text{powierzchni}} + A_{\text{wyposażenia}} + A_{\text{air}} \\ = \sum_{i=0}^n \alpha_i \cdot S_i + \sum_{j=0}^0 A_{\text{wypj}} + 4 mV \quad (3)$$

gdzie:

$A_{\text{powierzchni}}$ – chłonność akustyczna powierzchni pomieszczenia m.in. ścian, podłogi, stropu itp. [m²];

$A_{\text{wyposażenia}}$ – chłonność akustyczna elementów wyposażenia [m²];

A_{air} – chłonność akustyczna wynikająca z pochłaniania dźwięku w powietrzu [m²];

n – liczba powierzchni pomieszczenia;

α_i – współczynnik pochłaniania dźwięku i-tej powierzchni pomieszczenia;

S_i – pole powierzchni i-tej powierzchni pomieszczenia [m²];

o – liczba elementów wyposażenia, w przypadku których określono chłonność akustyczną;

A_{wypj} – chłonność akustyczna j-tego elementu wyposażenia [m²];

m – mocowy współczynnik pochłaniania dźwięku w powietrzu w neperach na metr [Np/m] – tabela 1;
 V – kubatura pomieszczenia [m³].

Tabela 1. Mocowy współczynnik pochłaniania dźwięku m wg PN-B-02151-4:2015 [11]

Table 1. Sound power absorption coefficient m to PN-B-02151-4:2015 [11]

Temperatura/wilgotność względna powietrza	Mocowy współczynnik pochłaniania dźwięku m [Np/m] w powietrzu w oktaowych pasmach o częstotliwości środkowej f		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
20°C/ 30 – 50%	0,0006	0,0010	0,0019
20°C/ 50 – 70%	0,0006	0,0010	0,0017

Współczynnik pochłaniania dźwięku powierzchni (np. materiału) α to wielkość, za pomocą której określa się właściwości dźwiękochłonne materiałów i wyrobów dźwiękochłonnych, zwanych dalej materiałami dźwiękochłonnymi. Jego wartość zawiera się w zakresie $0 \div 1$. Wartość 1 oznacza, że energia dźwiękowa padająca na materiał została w całości przez niego pochłonięta (materiały dźwiękochłonne o ekstremalnie silnych właściwościach pochłaniania dźwięku), natomiast wartość 0, że materiał w całości odbija padającą na niego energię dźwiękową (np. beton $\alpha \approx 0,03$). Wartość współczynnika pochłaniania dźwięku zależy od częstotliwości. Ze względów praktycznych określa się go także w postaci wartości jednoczłonowej, tzw. ważonego współczynnika pochłaniania dźwięku α_w .

W związku z tym, że **chłonność akustyczna pomieszczenia** (tak, jak i współczynnik pochłaniania dźwięku materiałów, patrz wzór 3) zależy od częstotliwości dźwięku, zgodnie z normą PN-B-02151-4:2015 [11], określa się ją niezależnie w trzech oktaowych pasmach o częstotliwościach środkowych 500, 1000 i 2000 Hz. Jest to metoda określania chłonności aku-

stycznej pomieszczenia o dokładności orientacyjnej (inżynierskiej), mająca zastosowanie praktyczne przede wszystkim przy projektowaniu akustycznym pomieszczeń.

Przykład podstawowego projektowania akustycznego pomieszczenia

Wymiary projektowanego pomieszczenia 22 x 10 x 3,5 m, kubatura 770 m³, pole powierzchni całkowitej S_v = 630 m², pole powierzchni rzutu (podłogi) S_p = 220 m². Wymagana minimalna chłonność akustyczna rozpatrywanego pomieszczenia wynosi:

$$A_{\min} = S_p \cdot 1,1 = 220 \text{ m}^2 \cdot 1,1 = 242 \text{ m}^2 \quad (4)$$

gdzie:

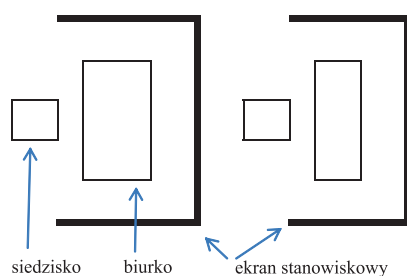
S_p – pole powierzchni rzutu pomieszczenia [m²]; 1,1 – minimalna wg PN-B-02151-4:2015 chłonność akustyczna pomieszczenia odniesiona do 1 m² powierzchni rzutu pomieszczenia wynosząca 1,1.

W projektowaniu akustycznym uwzględniono 2 warianty adaptacji akustycznych pomieszczenia:

■ „3” – pomieszczenie z sufitem dźwiękochłonnym i materiałami dźwiękochłonnymi na dwóch ścianach długich (rysunek 1);

■ „7” – pomieszczenie z sufitem dźwiękochłonnym i materiałami dźwiękochłonnymi na czterech ścianach z 55 ekranami stanowiskowymi (rysunek 2) o wysokości od podłoża 1,7 m.

Nazwy „3” i „7” przyjęto w taki sposób, aby odpowiadały numerom wariantów adaptacji akustycznej 3 i 7 zastosowanych w drugiej części artykułu. Na



Rys. 2. Widok ekranów akustycznych tzw. stanowiskowych na fragmencie rzutu pomieszczenia

Fig. 2. On the fragment of the room view, the view of workstation acoustic screens

Tabela 2. Współczynniki pochłaniania dźwięku materiałów α oraz chłonność akustyczna powierzchni pomieszczenia A_{powierzchni}. Wariant 3 adaptacji akustycznej

Table 2. Sound absorption coefficients of materials α and sound absorption of the room surface A_{surface area}. Variant 3 of acoustic treatment

Typ materiału	α [m ²]			S [m ²]	A _i [m ²]		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Sufit otynkowany część niezakryta materiałem dźwiękochłonnym i lampami	0,03	0,04	0,05	12,64	0,4	0,5	0,6
Sufit pokryty materiałem dźwiękochłonnym (bez obszaru lamp)	0,55	0,7	0,6	197,28	108,5	138,1	118,4
Lampy sufitowe	0,06	0,08	0,1	10,08	0,6	0,8	1,0
Ściana długa bez okien, część otynkowana	0,03	0,04	0,05	7,04	0,2	0,3	0,4
Ściana długa bez okien, pokryta materiałem dźwiękochłonnym	1	1	1	69,96	70,0	70,0	70,0
Ściana długa z oknami, część otynkowana	0,03	0,04	0,05	24,48	0,7	1,0	1,2
Ściana długa z oknami, część przeszklona	0,03	0,03	0,02	24,96	0,7	0,7	0,5
Ściana długa z oknami, część pokryta materiałem dźwiękochłonnym	1	1	1	27,56	27,6	27,6	27,6
Ściana krótka lewa, część otynkowana	0,03	0,04	0,05	32	0,96	1,28	1,6
Ściana krótka lewa, część z drzwiami	0,06	0,08	0,1	3	0,2	0,2	0,3
Ściana krótka prawa, część otynkowana	0,03	0,04	0,05	32	0,96	1,28	1,6
Ściana krótka prawa, część z drzwiami	0,06	0,08	0,1	3	0,2	0,2	0,3
Podłoga pokryta wykładziną dywanową	0,21	0,26	0,27	220	46,2	57,2	59,4
Chłonność akustyczna powierzchni A_{powierzchni} [m²]					257,2	299,2	282,9



Rys. 1. Rzut rozpatrywanego pomieszczenia (wygenerowany w programie ODEON) z zastosowaniem ekranów stanowiskowych (rysunek 2)

Fig. 1. Floor plan of the considered room (generated in the ODEON software) using acoustic screens (Fig. 2)

podłozie uwzględniono wykładzinę dywanową o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,25$. Współczynniki pochłaniania materiałów podano w tabeli 2 i na rysunku 3.

Wariant 3 adaptacji akustycznej.

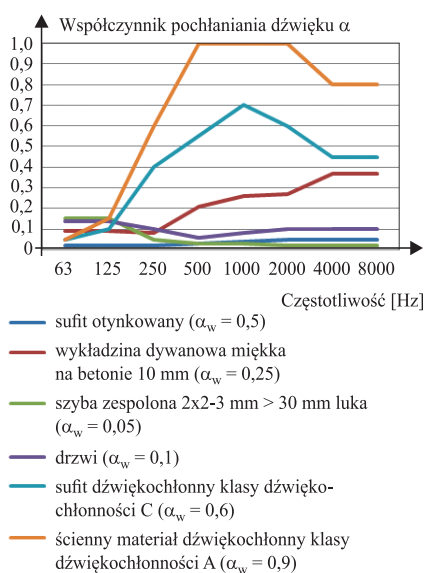
Dane pomieszczenia w konfiguracji zapewniającej wystarczającą chłonność akustyczną wg PN-B-02151-4:2015 są następujące:

● pole powierzchni podłogi (rzutu pomieszczenia) S_p = 220 m² (ważony współczynnik pochłaniania dźwięku

$\alpha_w = 0,25$; rysunek 3 – wykładzina dywanowa);

● pole powierzchni sufitu pomieszczenia S_s = 220 m² (w tym: 12,64 m² część otynkowana o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,05$; 197,28 m², materiał dźwiękochłonny o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,6$; 10,08 m² lampy o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,1$; rysunek 3);

● pole powierzchni ściany długiej bez okien S₃ = 77 m² (w tym: 7,04 m² część otynkowana o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,05$; 69,96 m², materiał dźwiękochłonny o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,9$; rysunek 3);



Rys. 3. Współczynniki pochłaniania dźwięku materiałów uwzględnianych w obliczeniach wg PN-B-02151-4:2015 [11] oraz z bazy danych programu ODEON [13]

Fig. 3. Sound absorption coefficients of the materials included in the calculations according to PN-B-02151-4:2015 [11] and the ODEON software [13]

- pole powierzchni ściany długiej z oknami $S_1 = 77 \text{ m}^2$ (w tym: $24,48 \text{ m}^2$ część otynkowana o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,05$; $24,96 \text{ m}^2$ okna o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,05$; $27,56 \text{ m}^2$ materiał dźwiękochłonny o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,9$; rysunek 3);

- pole powierzchni ścian krótszych $S_2 = S_4 = 35 \text{ m}^2$ (w tym każda: 32 m^2 część otynkowana o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,05$; $3,0 \text{ m}^2$ drzwi o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,1$; rysunek 3);

- liczba stanowisk pracy 55 (chłonność akustyczna jednego biurka $A_{1000 \text{ Hz}} = 0,36 \text{ m}^2$; chłonność akustyczna jednego siedziska $A_{1000 \text{ Hz}} = 0,64 \text{ m}^2$);

- współczynnik pochłaniania dźwięku w powietrzu $m_{1000 \text{ Hz}} = 0,001 \text{ Np/m}$ (20°C i 50%).

W tabeli 2 podano elementy ograniczające pomieszczenie, wpływające na chłonność akustyczną powierzchni $A_{\text{powierzchni}}$ wg wzoru 3. Dane o współczynnikach pochłaniania dźwięku materiałów α podano w tabeli 2 oraz na rysunku 3, a zaczerpnięto je z normy PN-B-02151-4:2015 oraz bazy danych

programu ODEON [13]. W tabeli 3 podano chłonność akustyczną wyposażenia, a w tabeli 4 chłonność akustyczną wynikającą z pochłaniania dźwięku w powietrzu.

porównawczych wykonano projektowanie podstawowe w przypadku wariantu 7 (tj. z jeszcze większą adaptacją akustyczną – uwzględniono mate-

Tabela 3. Chłonność akustyczna wyposażenia pojedynczego elementu typu j $A_{\text{wyp},j,1}$ i wszystkich elementów typu j $A_{\text{wyp},j}$. Wariant 3 adaptacji akustycznej

Table 3. Sound absorption of equipment single element of type j $A_{\text{wyp},j,1}$ and all elements of type j $A_{\text{wyp},j}$ Variant 3 of acoustic treatment

Typ	$A_{\text{wyp},j,1}$ [m^2]			Liczba	$A_{\text{wyp},j}$ [m^2]		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Siedziska z materiałem	0,55	0,64	0,59	55	30,25	35,2	32,45
Biuorka	0,22	0,36	0,43	55	12,1	19,8	23,65
Chłonność akustyczna elementów wyposażenia $A_{\text{wyposażenia}}$ [m^2]					42,35	55	56,1

Tabela 4. Chłonność akustyczna wynikająca z pochłaniania dźwięku w powietrzu A_{air}

Table 4. Sound absorption resulting from the absorption of sound in the air A_{air}

Temperatura/wilgotność względna powietrza	Mocowy współczynnik pochłaniania dźwięku (m) w powietrzu w pasmach oktawowych o środkowej częstotliwości f [Np/m]			Kubatura pomieszczenia [m^3]	Chłonność akustyczna wynikająca z pochłaniania dźwięku w powietrzu A_{air} [m^2]		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
$20^\circ\text{C}/30 - 50 \%$	0,0006	0,0010	0,0019	770	1,85	3,08	5,85

Chłonność akustyczna pomieszczenia, obliczona ze wzoru 3, wynosi:

- przy częstotliwości 500 Hz:

$$A_{\text{obliczone},500 \text{ Hz}} = A_{\text{powierzchni},500 \text{ Hz}} + A_{\text{wyposażenia},500 \text{ Hz}} + A_{\text{air},500 \text{ Hz}} = 257,2 + 42,35 + 1,85 \text{ m}^2 = 301,4 \text{ m}^2 \quad (5a)$$

- przy częstotliwości 1000 Hz:

$$A_{\text{obliczone},1000 \text{ Hz}} = A_{\text{powierzchni},1000 \text{ Hz}} + A_{\text{wyposażenia},1000 \text{ Hz}} + A_{\text{air},1000 \text{ Hz}} = 299,2 + 55 + 3,08 \text{ m}^2 = 357,3 \text{ m}^2 \quad (5b)$$

- przy częstotliwości 2000 Hz:

$$A_{\text{obliczone},2000 \text{ Hz}} = A_{\text{powierzchni},2000 \text{ Hz}} + A_{\text{wyposażenia},2000 \text{ Hz}} + A_{\text{air},2000 \text{ Hz}} = 282,9 + 56,1 + 5,85 \text{ m}^2 = 344,8 \text{ m}^2 \quad (5c)$$

gdzie:

$A_{\text{powierzchni}}$ – chłonność akustyczną powierzchni ograniczających pomieszczenie podano w tabeli 2 [m^2];

$A_{\text{wyposażenia}}$ – chłonność akustyczną wyposażenia podano w tabeli 3 [m^2];

A_{air} – chłonność akustyczną wynikającą z tłumienia dźwięku w powietrzu podano w tabeli 4 [m^2].

Z przedstawionych danych wynika, że warunek dotyczący uzyskania chłonności akustycznej pomieszczenia większej niż obligatoryjnie wymagana przez PN-B-02151-4:2015 zależność 4 jest spełniony i to z dużym nadmiarem (chłonność akustyczna pomieszczenia jest ok. 25% większa od wymaganej), ponieważ minimalna chłonność akustyczna pomieszczenia w każdym z pasm częstotliwości wynosi 242 m^2 . Mając jednak świadomość, że zalecane wymagania stawiane rozpatrywanym pomieszczeniom wg PN-EN ISO 3382-3:2012 są znacznie wyższe [5 – 7], w celach

riały dźwiękochłonne na ścianach krótszych oraz ekrany stanowiskowe o wysokości 1,7 m). Dodatkowo wyniki obliczeń chłonności akustycznej pomieszczenia wariantu 3 i 7 metodą wg normy PN-EN ISO 3382-3:2012 i metodami symulacji pola akustycznego w pomieszczeniach zostaną porównane.

Wariant 7 adaptacji akustycznej. Dane pomieszczenia w konfiguracji końcowej:

- podłoga, sufit, ściana dłuższa bez okien, ściana dłuższa z oknami – jak wariantu 3;

- pole powierzchni ścian krótszych $S_2 = S_4 = 35 \text{ m}^2$ (w tym każda: $6,92 \text{ m}^2$ część otynkowana o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,05$; $3,0 \text{ m}^2$ drzwi o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,1$; $25,08 \text{ m}^2$ materiał dźwiękochłonny o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku $\alpha_w = 0,9$; rysunek 2);

- liczba stanowisk pracy 55 (chłonność akustyczna jednego biurka $A_{1000 \text{ Hz}} = 0,36 \text{ m}^2$; chłonność akustyczna jednego siedziska $A_{1000 \text{ Hz}} = 0,64 \text{ m}^2$, chłonność akustyczna jednego ekranu stanowiskowego $H = 1,7 \text{ m}$, $A_{1000 \text{ Hz}} = 5,4 \text{ m}^2$);

- współczynnik pochłaniania dźwięku w powietrzu $m_{1000 \text{ Hz}}$ – jak wariantu 3.

Po przeprowadzeniu obliczeń chłonność akustyczna pomieszczenia jest równa: w paśmie częstotliwości 500 Hz

– 559 m², w paśmie częstotliwości 1000 Hz – 702,4 m², a w paśmie częstotliwości 2000 Hz – 661,9 m². W związku z tym, że minimalna chłonność akustyczna pomieszczenia w każdym z tych pasm częstotliwości wynosi 242 m² (wzór 4), to warunek określony wzorem 2 jest spełniony (chłonność akustyczna pomieszczenia jest nawet 2 – 3-krotnie większa od wymaganej), tzn. projektowane pomieszczenie ma wymaganą obligatoryjnie przez PN-B-02151-4:2015 chłonność akustyczną. Projektowanie podstawowe obu wariantów (3 i 7) wykonano, uzyskując spełnienie obligatoryjnego kryterium wg PN-B-02151-4:2015 dotyczącego pogłosu (określone chłonnością akustyczną pomieszczenia). W rozpatrywanych pomieszczeniach zalecane jest także spełnienie kryteriów podanych w PN-EN ISO 3382-3:2012, dotyczących tzw. dobrych właściwości akustycznych pomieszczenia, dlatego w części drugiej artykułu opisane zostanie dodatkowe projektowanie akustyczne.

Podsumowanie

W tej części artykułu podano metody projektowania adaptacji akustycznej otwartych pomieszczeń do prac administracyjnych (biurowe open space). Określa się w nich wielkości kryterialne oraz porównuje uzyskane wartości z dopuszczalnymi. Są to więc metody weryfikacji zaprojektowanych (zaproponowanych) przez projektanta różnych wariantów projektu, pod względem uzyskania zadanych właściwości akustycznych pomieszczenia.

Na przykładzie otwartego pomieszczenia do prac administracyjnych (biurowego open space) wykonano obliczenia chłonności akustycznej pomieszczenia metodą podaną w PN-B-02151-4:2015 (norma do obligatoryjnego stosowania). Obliczenia dotyczyły dwóch wariantów adaptacji akustycznej. W rozpatrywanym pomieszczeniu, w którym znajduje się 55 stanowisk pracy administracyjnej, wymagana chłonność akustyczna wg normy PN-B-02151-4:2015 wynosi 242 m² (tj. 1,1 m² na metr kwadratowy podłogi). Uwzględniając w pomieszczeniu (wariant 3 adaptacji akustycznej pomieszczenia) zastosowanie dźwiękochłonnej wykładziny dywanowej (o ważonym współczynniku pochłaniania

dźwięku α_w równym 0,25), materiału dźwiękochłonnego na suficie (o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku α_w równym 0,6) i materiałów dźwiękochłonnych na dwóch dłuższych ścianach pomieszczenia (o ważonym współczynniku pochłaniania dźwięku α równym 0,9), obliczona wg metody PN-B-02151-4:2015 chłonność akustyczna pomieszczenia wynosiła: 301,4 m² w paśmie częstotliwości 500 Hz; 357,3 m² w paśmie częstotliwości 1000 Hz i 344,8 m² w paśmie częstotliwości 2000 Hz (odpowiednio chłonność akustyczna przypadająca na metr kwadratowy podłogi 1,37; 1,62 i 1,57 m²). Byłaby więc o ok. 25% większa od minimalnej wymaganej.

Wnioski

W celu uzyskania odpowiednich warunków akustycznych w pomieszczeniach otwartych do prac administracyjnych (wg wymagań podstawowych, podanych w obligatoryjnej polskiej normie PN-B-02151-4:2015) konieczne jest uwzględnienie dużej chłonności akustycznej pomieszczenia, co wiąże się z zastosowaniem materiałów dźwiękochłonnych na suficie, ścianach i podłodze pomieszczenia. Działania te powinny doprowadzić do uzyskania chłonności akustycznej pomieszczenia odniesionej do 1 m² rzutu pomieszczenia równej lub większej od 1,1 m² w paśmie częstotliwości 500 – 2000 Hz. Ich zastosowanie musi być wykonane już na etapie realizacji budynku, przed oddaniem go do eksploatacji. Oczywiście zastosowanie tych działań w czasie późniejszym, np. na etapie eksploatacji pomieszczeń, też jest możliwe, ale bardziej uciążliwe i znacznie bardziej kosztowne [1, 2, 3, 15, 16].

Spełnienie wymagań na dobre właściwości akustyczne pomieszczenia wg PN-EN ISO 3382-3:2012 wymaga dodatkowego uwzględnienia odpowiedniej aranżacji stanowisk pracy oraz zastosowania wysokich ekranów akustycznych, co będzie omówione w drugiej części artykułu.

Literatura

[1] Kłosak Andrzej K., Mikołaj Jarosz. 2016. „Nowe wymagania akustyczne dla sal wykładowych i konferencyjnych oraz w zakresie ochrony przed hałasem pogłosowym w budynkach według normy PN-B-02151-4:2015-06”. *Izolacje* 7/8.

[2] Kłosak Andrzej K. 2016. „Praktyczne aspekty stosowania PN-B-02151-4:2015 w projektowaniu pomieszczeń do komunikacji słownej”. *Materiały Budowlane* 528 (8): 37 – 40. DOI: 10.15199/33.2016.08.10.

[3] Kłosak Andrzej K. 2017. „Wytyczne do projektowania pomieszczeń zgodnie z nową normą o akustyce wnętrza – PN-B-02151-4:2015-06”. *Materiały Budowlane* 540 (8): 143 – 146. DOI: 10.15199/33.2017.08.43.

[4] Mikulski Witold. 2019. „Wyniki badań hałasu w otwartym pomieszczeniu biurowym – case study w pomieszczeniu o dużej chłonności akustycznej”. *Materiały z Konferencji XLVII Szkoła Zimowa Akustyki Środowiska i Wibroakustyki*, Szczyrk, 25.02-1.3.2019: 7-17.

[5] Mikulski Witold. 2016. „Acoustic conditions in open plan rooms for administrative work – results of own pilot test”. *Medycyna Pracy*: 67 (5): 653 – 662. DOI: 10.13075/mp.5893.00425.

[6] Mikulski Witold. 2014. „Wpływ zastosowania adaptacji akustycznej na wskaźnik transmisji mowy i czas pogłosu pomieszczenia”. *Materiały Budowlane* 504 (8): 25 – 28.

[7] Mikulski Witold. 2019. „Badania obliczeniowe zrozumiałości mowy w pomieszczeniach biurowych open space”. *Medycyna Pracy* 70 (3): (on line first) <https://doi.org/10.13075/mp.5893.00726>.

[8] Nowicka Elżbieta. 2018. „Ocena właściwości akustycznych pomieszczeń typu open space”. *Materiały Budowlane* 552 (8): 16 – 18. DOI: 10.15199/33.2018.08.03.

[9] Nurzyński Jacek. 2018. „Warunki akustyczne w wielkoprzestrzennych pomieszczeniach biurowych”. *Materiały Budowlane* 552 (8): 10 – 12. DOI: 10.15199/33.2018.08.02.

[10] PN-N-01307:1994 Hałas – Dopuszczalne wartości parametrów hałasu w środowisku pracy – Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.

[11] PN-B-02151-4:2015 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach (podana w wykazie polskich norm powołanych w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Budownictwa z 14 listopada 2017 r. (Lp. 60a, paragraf 323 ust. 2.). Dz. U. 2017 r. poz. 2285.

[12] PN-EN ISO 3382-3:2012 Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 3: Pomieszczenia biurowe typu open space.

[13] Program ODEON, <https://odeon.dk/>.

[14] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z 12 czerwca 2018 r. (Dz.U. 2018 poz. 1286 z 3 lipca 2018) w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Zał. 2 punt A.).

[15] Szubert M. 2016. *Akustyka biur w nowej polskiej normie. Technika w architekturze. Zawód architekt*.

[16] Szudrowicz Barbara, Marek Niemas. 2006. „Wpływ sufitów podwieszonych na kształtowanie warunków akustycznych w pomieszczeniach”. *Materiały Budowlane* (3): 51 – 55.

Artykuł opracowano na podstawie wyników IV etapu wieloletniego programu „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2017 – 2019 przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Przyjęto do druku: 24.07.2019 r.