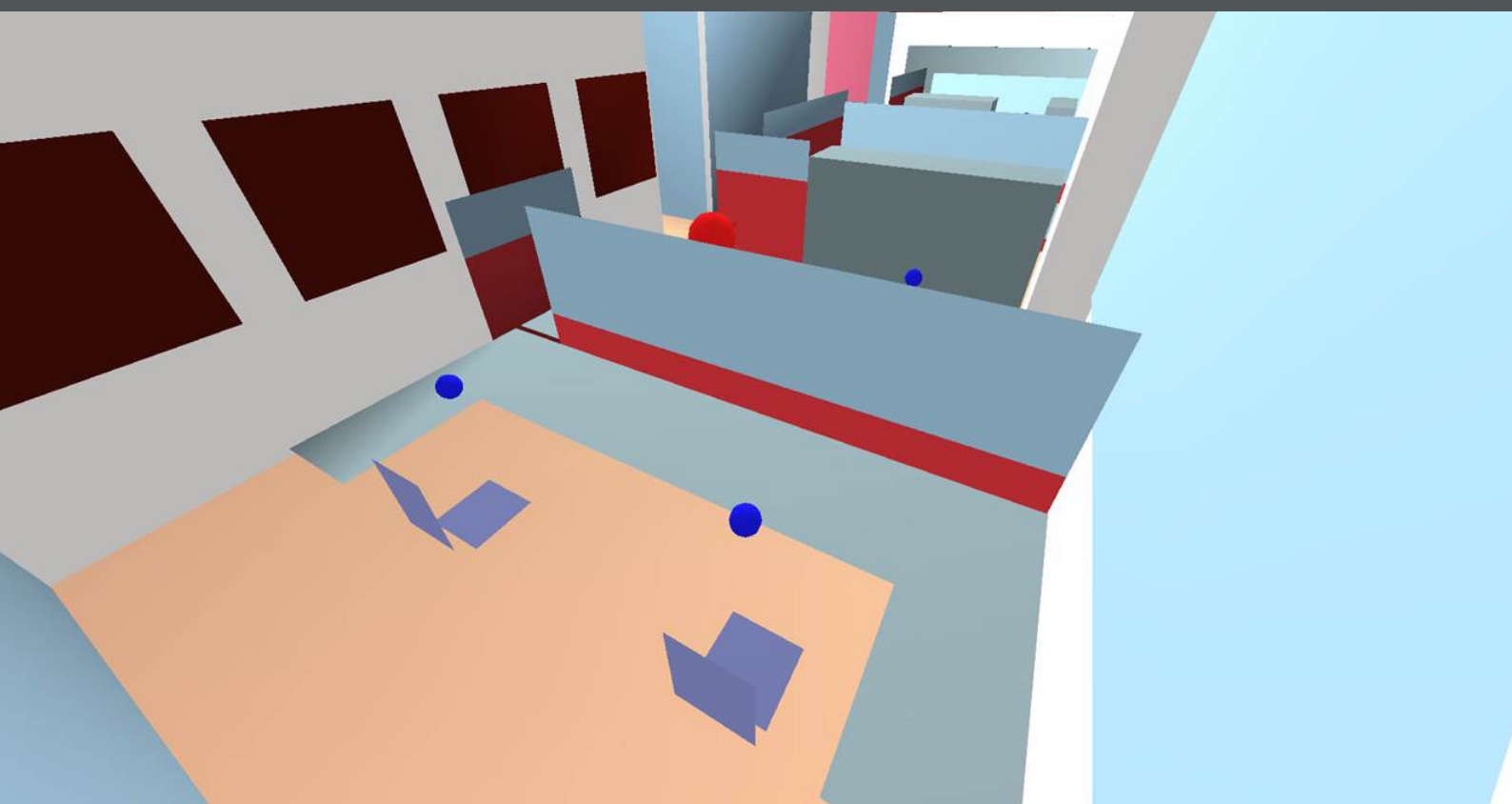


Witold Mikulski

ADAPTACJA AKUSTYCZNA WIELKOPRZESTRZENNYCH POMIESZCZEŃ DO PRACY UMYSŁOWEJ

MATERIAŁY INFORMACYJNO-SZKOLENIOWE DLA PROJEKTANTÓW
POMIESZCZEŃ, PROJEKTANTÓW ADAPTACJI AKUSTYCZNYCH,
PRACOWNIKÓW BHP I PRACODAWCÓW



Materiały informacyjne CIOP-PIB

Adaptacja akustyczna wieloprzestrzennych pomieszczeń do pracy umysłowej. Materiały informacyjno-szkoleniowe dla projektantów pomieszczeń, projektantów adaptacji akustycznych, pracowników BHP i pracodawców

Opracowano na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2017-2019 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

Projekt II.N.01: Badania oraz opracowanie metody kształtowania akustycznego środowiska pracy w wieloprzestrzennych pomieszczeniach do pracy umysłowej

Autor:

dr inż. Witold Mikulski – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych, Pracownia Zwalczania Hałasu

Zdjęcie na okładce: CIOP-PIB

© Copyright by
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Warszawa 2019

CIOP  **PIB**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa
tel. (48-22) 623 36 98, www.ciop.pl

Projektowanie akustyczne otwartych pomieszczeń do prac administracyjnych – tzw. biurowych open space – polega na takim uwzględnieniu w pomieszczeniu różnych rozwiązań technicznych (w tym wyrobów dźwiękochłonnych), aby uzyskać wymagane przez przepisy warunki akustyczne oraz właściwości akustyczne pomieszczenia. W Polsce obligatoryjne jest uzyskanie w pomieszczeniu wymaganych warunków pogłosowych (uzyskanie w pomieszczeniu odpowiedniej chłonność akustycznej pomieszczenia). Wartość kryterialna oraz metoda obliczeń chłonności akustycznej pomieszczeń podana jest w normie PN-B-02151-4:2015 (przywołana w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 14 listopada 2017 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie; Dz.U. 2017 poz. 2285), tj. w systemie obowiązkowym. Nieobligatoryjne (system dobrowolny), traktowane więc jako zalecenie, jest uwzględnienie dodatkowych wymagań określonych w PN-EN ISO 3382-3:2012 (nie będą w tym tekście omówione).

Kryterium oceny właściwości akustycznych pomieszczeń biurowych open space

Projektowanie akustyczne polega na takim zaplanowaniu w pomieszczeniu wyrobów dźwiękochłonnych, aby po ich zainstalowaniu uzyskać wymaganą w przepisach *chłonność akustyczną pomieszczenia*.

Minimalną chłonność akustyczną pomieszczenia biurowego open space A_{\min} określa się, w m^2 , ze wzoru:

$$A_{\min} = 1,1 \cdot S_p \quad (1)$$

gdzie:

1,1 – jest wartością minimalnej chłonności pomieszczenia otwartego do prac administracyjnych odniesionej do $1 m^2$ rzutu pomieszczenia (podana w PN-B-02151-4:2015),

S_p – jest polem powierzchni rzutu pomieszczenia, w m^2 .

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

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

gdzie:

$A_{obliczona}$ – chłonność akustyczna pomieszczenia obliczona wg metody podanej w PN-B-02151-4:2015, w m^2 ,

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

Metoda obliczania chłonności akustycznej pomieszczenia wg PN-B-02151-4:2015

Chłonność akustyczną pomieszczenia określa się ze wzoru:

$$A_{obliczona} = A_{powierzchni} + A_{wyposazenia} + A_{air} = \sum_{i=0}^n (\alpha_i \cdot S_i) + \sum_{j=0}^o A_{wyp,j} + 4mV \quad (3)$$

gdzie:

$A_{powierzchni}$ – chłonność akustyczna powierzchni pomieszczenia (ścian, podłogi, stropu itp.), w m^2 ,

$A_{wyposazenie}$ – chłonność akustyczna elementów wyposażenia, w m^2 ,

A_{air} – chłonność akustyczna wynikająca z pochłaniania dźwięku w powietrzu, w m^2 ,

n – liczba powierzchni pomieszczenia,

α_i – współczynnik pochłaniania dźwięku i -tej powierzchni pomieszczenia,

S_i – pole powierzchni i -tej powierzchni pomieszczenia, m^2 ,

o – liczba elementów wyposażenia, dla których określono chłonność akustyczną,

$A_{wyp,j}$ – chłonność akustyczna j -tego elementu wyposażenia, w m^2 ,

m – mocowy współczynnik pochłaniania dźwięku w powietrzu, w neperach na metr (tabela 1),

V – kubatura pomieszczenia, w m^3 .

Współczynnik pochłaniania dźwięku powierzchni α (np. ściany, stropu, podłogi) to wielkość, za pomocą której określa się właściwości dźwiękochłonne materiałów i wyrobów dźwiękochłonnych (dalej, w tym tekście, zwanych materiałami dźwiękochłonnymi). Jego wartość jest zawarta w granicach od 0 do 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 oznacza, że materiał w całości odbija padającą na niego energię dźwiękową (np. beton $\alpha \approx 0,03$). Wartość współczynnika pochłaniania dźwięku zależy od częstotliwości. Wg PN-B-02151-4:2015 uwzględnia się właściwości akustyczne rozpatrywanych pomieszczeń w trzech oktaowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych 0,5; 1 i 2 kHz.

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

Lp.	Temperatura/wilgotność względna powietrza	Mocowy współczynnik pochłaniania dźwięku, m , w powietrzu w pasmach oktaowych o środkowej częstotliwości, f , Np/m		
		0,5 kHz	1 kHz	2 kHz
11.	20 °C / 30 – 50%	0,0006	0,0010	0,0019
22.	20 °C / 50 – 70%	0,0006	0,0010	0,0017

Przykład

Wymiary pomieszczenia 20 x 12 x 3,5 m, objętość pomieszczenia 840 m³, pole powierzchni rzutu pomieszczenia (podłogi) $S_p = 240$ m². W pomieszczeniu znajduje się 50 stanowisk pracy.

Wymagana minimalna chłonność akustyczna rozpatrywanego pomieszczenia wynosi:

$$A_{\min} = S_p \cdot A_{1\text{m}^2, \min} = 240 \text{ m}^2 \cdot 1,1 = 264 \text{ m}^2 \quad (4)$$

gdzie:

S_p – pole powierzchni rzutu pomieszczenia, m²,

$A_{1\text{m}^2, \min}$ – minimalna, wg PN-B-02151-4:2015, chłonność akustyczna pomieszczenia odniesiona do 1m² powierzchni rzutu pomieszczenia, równa 1,1 m².

W projektowaniu uwzględniono pomieszczenie z sufitem dźwiękochłonnym i materiałami dźwiękochłonnymi na czterech ścianach oraz 50 ekranami akustycznymi o wysokości od podłoża 1,5 m.

Uwzględniono pokrycie podłogi wykładziną dywanową.

Współczynniki pochłaniania materiałów podano na tabeli 2.

Dane pomieszczenia zastosowane w obliczeniach:

- pole powierzchni podłogi (rzutu pomieszczenia) $S_p = 240$ m² (wykładzina dywanowa),
- pole powierzchni sufitu pomieszczenia $S_s = 240$ m² (w tym: część otynkowana – 60 m²; materiał dźwiękochłonny – 166 m²; lampy – 14 m²),
- pole powierzchni ściany dłuższej bez okien $S_3 = 70$ m² (w tym: część otynkowana 43 m²; materiał dźwiękochłonny 27 m²),
- pole powierzchni ściany dłuższej z oknami $S_1 = 70$ m² (w tym: część otynkowana 43 m²; okna 27 m²),
- pole powierzchni ścian krótszych $S_2 = S_4 = 42$ m² (w tym każdej: część otynkowana 27 m²; drzwi 3,0 m², materiał dźwiękochłonny 15 m²),
- liczba stanowisk pracy 50 (biurko, siedzisko, ekran akustyczny),
- współczynnik pochłaniania dźwięku w powietrzu $m_{1000 \text{ Hz}} = 0,001$ Np/m (20 °C i 50%).

W tabeli 3 podano wszystkie elementy wpływające na obliczoną wartość chłonności akustycznej powierzchni pomieszczenia $A_{\text{powierzchni}}$ wg wzoru 3.

Tabela. 2. Współczynniki pochłaniania dźwięku materiałów α oraz chłonność akustyczna powierzchni $A_{\text{powierzchni}}$ (S – pole powierzchni w m^2)

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	60	1,8	2,4	3
Sufit pokryty materiałem dźwiękochłonnym (bez obszaru lamp)	0,55	0,7	0,6	166	91,3	116,2	99,6
Lampy sufitowe	0,06	0,08	0,1	14	0,84	1,12	1,4
Ściana długa bez okien, część otynkowana	0,03	0,04	0,05	43	1,29	1,72	2,15
Ściana długa bez okien, pokryta materiałem dźwiękochłonnym	0,8	0,9	0,9	27	21,6	24,3	24,3
Ściana długa z okami, część otynkowana	0,03	0,04	0,05	43	1,29	1,72	2,15
Ściana długa z okami, część przeszklona	0,03	0,03	0,02	27	0,81	0,81	0,54
Ściana krótka lewa, część otynkowana	0,03	0,04	0,05	27	0,81	1,08	1,35
Ściana krótka lewa, część z drzwiami	0,06	0,08	0,1	3	0,18	0,24	0,3
Ściana krótka lewa, część pokryta materiałem dźwiękochłonnym	0,8	0,9	0,9	12	9,6	10,8	10,8
Ściana krótka prawa, część otynkowana	0,03	0,04	0,05	27	0,81	1,08	1,35
Ściana krótka prawa, część pokryta materiałem dźwiękochłonnym	0,8	0,9	0,9	15	12	13,5	13,5
Podłoga, pokryta wykładziną dywanową	0,21	0,26	0,27	240	50,4	62,4	64,8

Chłonność akustyczna powierzchni $A_{\text{powierzchni}}$, m²	192,73	237,37	225,24
--	--------	--------	--------

Tabela. 3. Chłonność akustyczna wyposażenia: pojedynczego elementu typu $j - A_{wyp,j,1}$, wszystkich elementów typu $j - A_{wyp,j}$

Typ	$A_{wyp,j}, m^2$			Liczba elementów	$A_{wyp,i}, m^2$		
	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz		500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
Siedziska z materiałem	0,55	0,64	0,59	50	27,5	32	29,5
Biurka	0,22	0,36	0,43	50	11	18	21,5
Ekrany	1,9	2,7	2,5	50	95	135	125
Chłonność akustyczna elementów wyposażenia A_{wyp}, m^2					133,5	185	176

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

Temperatura/wilgotność względna powietrza	Mocowy współczynnik pochłaniania dźwięku, m , w pasmach oktaowych o środkowej częstotliwości, f , Np/m			Objętość 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 °C / 30 – 50%	0,0006	0,0010	0,0019	840	2,016	3,36	6,384

Chłonność akustyczna wynikająca z tłumienia dźwięku w powietrzu jest podana w tabeli 4.

Chłonność akustyczna pomieszczenia wynosi:

- dla częstotliwości 500 Hz:

$$A_{obliczona,500Hz} = A_{powierzchni,500Hz} + A_{wyposazenia,500Hz} + A_{air,500Hz} = 192,73 + 133,5 + 2,016 m^2 = 328,2 m^2 \quad (5)$$

- dla częstotliwości 1000 Hz:

$$A_{obliczona,1000Hz} = A_{powierzchni,1000Hz} + A_{wyposazenia,1000Hz} + A_{air,1000Hz} = 237,37 + 185 + 3,36 m^2 = 425,7 m^2 \quad (6)$$

- dla częstotliwości 2000 Hz:

$$A_{obliczona,2000Hz} = A_{powierzchni,2000Hz} + A_{wyposazenia,2000Hz} + A_{air,2000Hz} = 225,24 + 176 + 6,384 m^2 = 407,6 m^2 \quad (7)$$

gdzie:

$A_{\text{powierzchni}}$ – chłonność akustyczna powierzchni ograniczających pomieszczenia obliczona w tabeli 2, w m^2 ,

$A_{\text{wyposażenia}}$ – chłonność akustyczna wyposażenia obliczona w tabeli 3, w m^2 ,

A_{air} – chłonność akustyczna wynikająca z tłumienia dźwięku w powietrzu obliczona w tabeli 4, w m^2 .

Ponieważ chłonność akustyczna pomieszczenia jest równa: $328,2 \text{ m}^2$ – w paśmie częstotliwości 500 Hz, $425,7 \text{ m}^2$ – w paśmie częstotliwości 1000 Hz i $407,6 \text{ m}^2$ – w paśmie częstotliwości 2000 Hz, a minimalna chłonność akustyczna pomieszczenia w każdym z tych pasm częstotliwości wynosi 264 m^2 , to warunek określony wzorem nr 2 jest spełniony (chłonność akustyczna pomieszczenia jest nawet o 23% większa od wymaganej), tzn. projektowane pomieszczenie ma wymaganą obligatoryjnie przez wg PN-B-02151-4:2015 chłonność akustyczną.

Można by pominąć zastosowanie materiałów dźwiękochłonnych na ścianach. Wówczas chłonność akustyczna wynosiłaby: $286,7 \text{ m}^2$ – w paśmie częstotliwości 500 Hz, $379,3 \text{ m}^2$ – w paśmie częstotliwości 1000 Hz i $361,7 \text{ m}^2$ – w paśmie częstotliwości 2000 Hz (minimalna chłonność akustyczna pomieszczenia wynosi 264 m^2). Przy takiej adaptacji akustycznej również byłyby spełnione wymagania wg PN-B-02151-4:2015 z zapasem ok. 8,5%.

Z badań autora wynika, że przy projektowaniu adaptacji akustycznych z wykorzystaniem tej metody bezpieczniej jest uwzględnić margines bezpieczeństwa 10-15%. Dlatego adaptacja z uwzględnieniem dźwiękochłonnego sufitu podwieszanego (na ok 70% jego powierzchni), materiałów dźwiękochłonnych na ścianach (na ok. 25% ich powierzchni), wykładziny podłogowej dźwiękochłonnej oraz ekranów akustycznych o wysokości 1,5 m pokrytych materiałami dźwiękochłonnymi – umożliwia spełnienie wymagań normy PN-B-02151-4: 2015 z bezpiecznym marginesem.