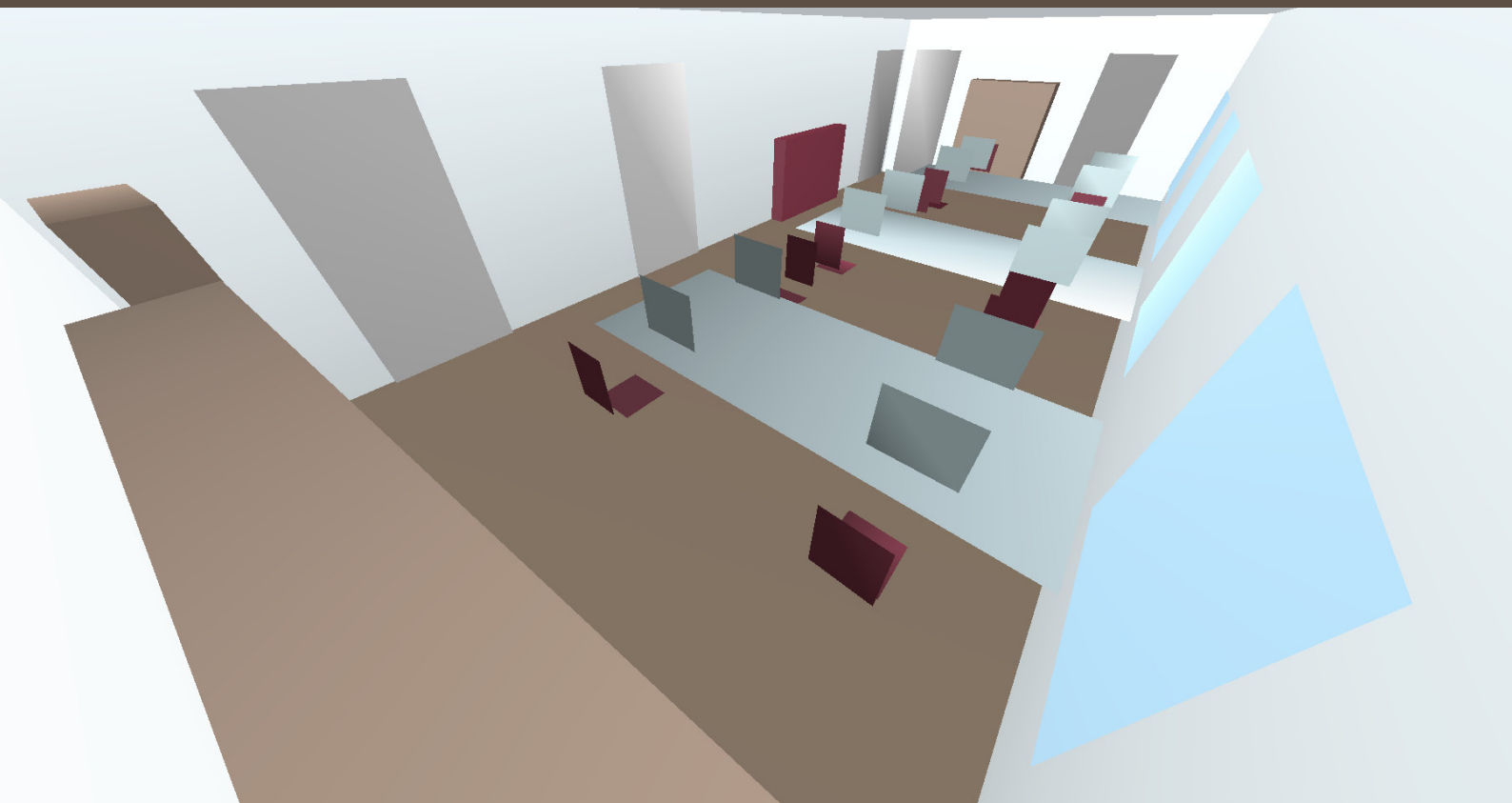


Witold Mikulski

# ADAPTACJA AKUSTYCZNA WIELKOPRZESTRZENNYCH POMIESZCZEŃ DO PRACY UMYSŁOWEJ

METODA TECHNICZNA I METODY ORGANIZACYJNE  
WYNIKI BADAŃ AKUSTYCZNYCH



Materiały informacyjne CIOP-PIB

*Adaptacja akustyczna wieloprzestrzennych pomieszczeń do pracy umysłowej. Metoda techniczna i metody organizacyjne, wyniki badań akustycznych*

*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](http://www.ciop.pl)

Celem adaptacji akustycznej jest dostosowanie akustyczne pomieszczenia biurowego open space do określonych wymagań.

Zgodnie z metodą podaną w PN-B-02151-4:2015 należy zapewnić odpowiednią (tj. powyżej minimalnej) chłonność akustyczną pomieszczenia. W związku z tym konieczne jest określenie istniejącej chłonności akustycznej (przed adaptacją) oraz, w przypadku gdy jest ona za mała, zaproponowanie takich dodatkowych elementów dźwiękochłonnych, które umożliwią uzyskanie odpowiedniej chłonności akustycznej. Punktem wyjścia, jest więc określenie chłonności akustycznej pomieszczenia przed adaptacją akustyczną. W powyższej normie podana jest stosunkowo prosta metoda obliczeniowa określania chłonności. Polega ona na obliczeniu jej, jako sumy chłonności cząstkowych wynikających z chłonności akustycznych wszystkich powierzchni ścian, podłogi i stropu, chłonności wyposażenia oraz chłonności akustycznej wynikającej z tłumienia dźwięku w powietrzu. Metoda ta ma dokładność inżynierską – szacunkową. Alternatywą jest obliczenie chłonności akustycznej ze wzoru Sabine'a – ze zmierzonego czasu pogłosu w rozpatrywanym pomieszczeniu. Ten sposób, jako bardziej dokładny, zastosowano w badaniach przedstawionych poniżej.

Przy opracowaniu i wykonaniu adaptacji akustycznej uwzględniono następujące etapy:

I – opis pomieszczenia

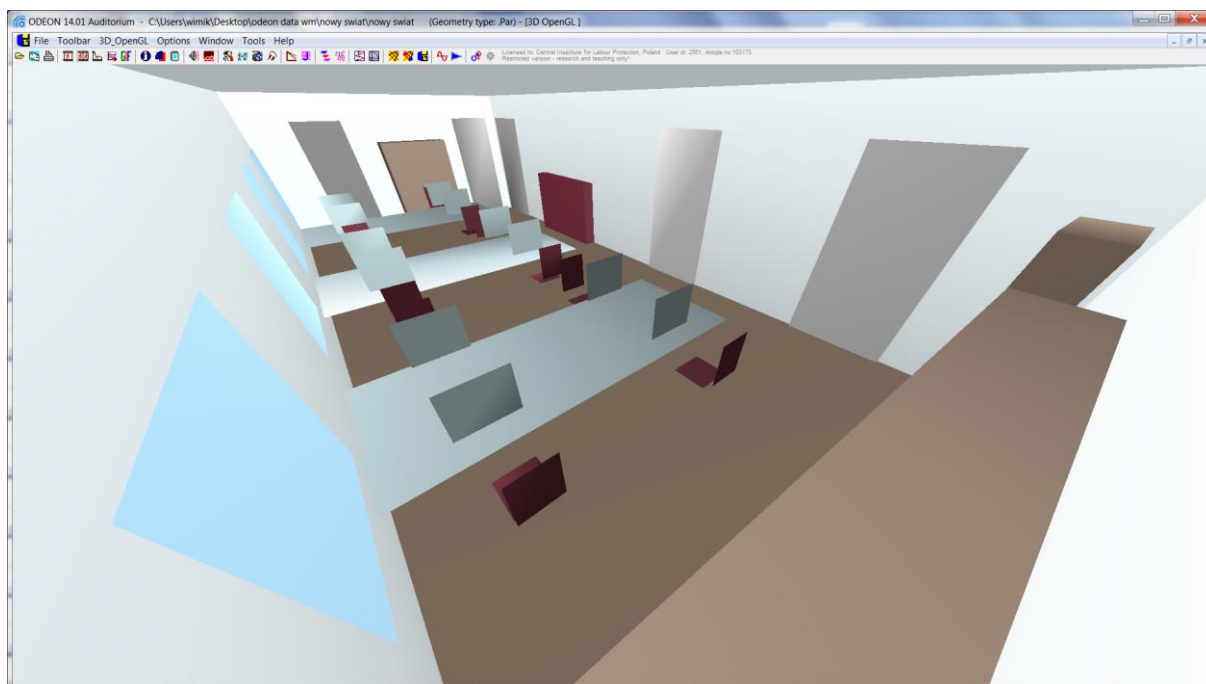
II – pomiary właściwości akustycznych pomieszczenia przed wykonaniem adaptacji akustycznej (czasu pogłosu i chłonności akustycznej pomieszczenia)

III – projekt adaptacji akustycznej wg PN-N-02154-4:2015

IV – pomiary właściwości akustycznych pomieszczenia po wykonaniu adaptacji akustycznej (czasu pogłosu i chłonności akustycznej pomieszczenia).

## **I. Opis pomieszczenia**

Widok pomieszczenia biurowego open space pokazano na rysunku 1. Pomieszczenie miało kształt zbliżony do równoległoboku o podstawie trapezu, o wymiarach pomieszczenia:  $12,3 \div 12,8 \times 5,85 \times 3$  m; kubatura wynosiła  $220,3 \text{ m}^3$ , pole powierzchni podłogi –  $73,4 \text{ m}^2$ . W pomieszczeniu znajdowało się 12 stanowisk pracy. Ściany pomieszczenia wykonane były z cegły otynkowanej.



Rys. 1. Widok pomieszczenia przed adaptacją akustyczną wygenerowany w programie ODEON

## II. Pomiary właściwości akustycznych badanego pomieszczenia przed wykonaniem adaptacji akustycznej

W tabeli 1 podano wyniki pomiarów czasu pogłosu pomieszczenia  $T$  oraz obliczeń chłonności akustycznej pomieszczenia  $A$ . Podano również wyniki obliczeń chłonności akustycznej pomieszczenia odniesionej do jednostkowego pola powierzchni podłogi  $A_{1m^2}$ . Wymagana chłonność akustyczna badanego pomieszczenia, wg PN-B-02151-4:2015, wynosi  $80,74 \text{ m}^2$  ( $73,4 \text{ m}^2 \times 1,1 = 80,74 \text{ m}^2$ ) lub odniesiona do jednostkowego pola powierzchni podłogi  $A_{1m^2} = 1,1 \text{ m}^2$ . Wymagania te odnoszą się do trzech oktaowych pasm częstotliwości o częstotliwościach środkowych 500, 1000 i 2000 Hz.

Tabela 1. Wyniki pomiarów parametrów charakteryzujących właściwości akustyczne pomieszczenia przed wykonaniem adaptacji akustycznej

Lp	$T$ (dla częstotliwości w kHz), s			$A$ (dla częstotliwości w kHz), $\text{m}^2$			$A_{1m^2}$ (dla częstotliwości w kHz), $\text{m}^2$		
	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2
1	0,65	0,77	0,66	54,5	46,0	53,7	0,74	0,63	0,73

Oznaczenia:

$T$  – czas pogłosu pomieszczenia (w oktaowych pasmach częstotliwości: 0,5; 1 i 2 kHz), w sekundach,

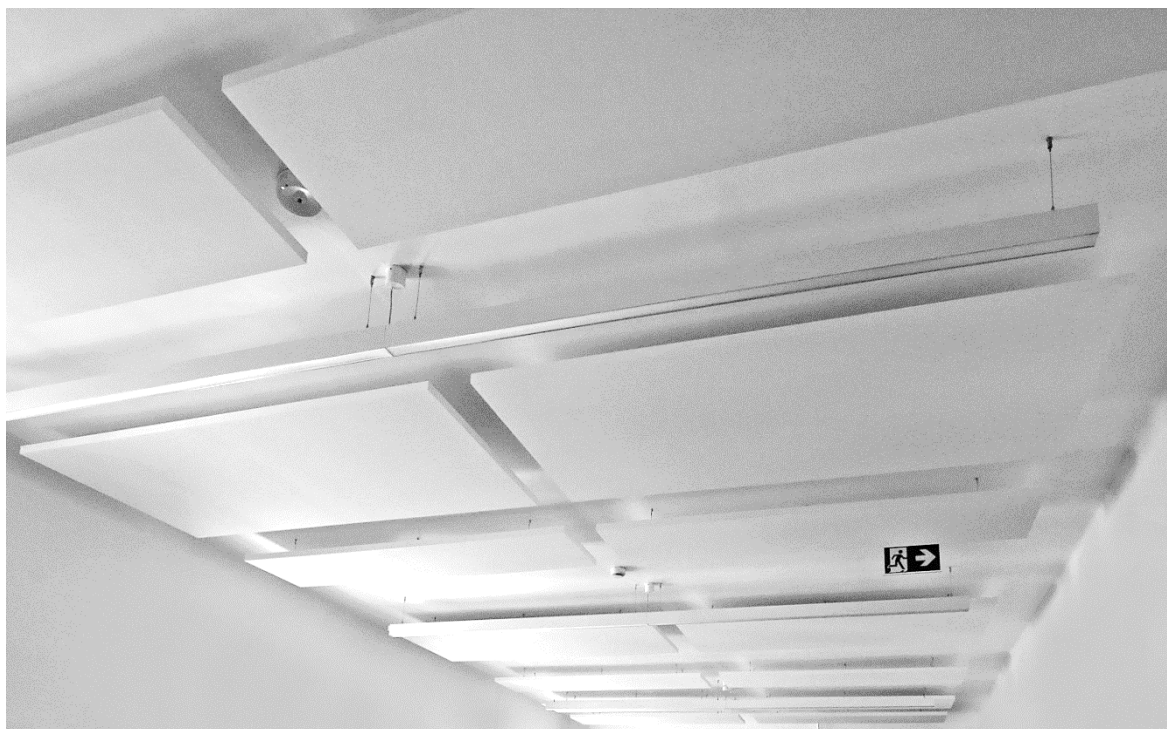
$A$  – chłonność akustyczna pomieszczenia (obliczona ze zmierzonego czasu pogłosu  $T$ , w okta-  
wowych pasmach częstotliwości: 0,5; 1 i 2 kHz), w  $m^2$ ,

$A_{1m^2}$  – chłonność akustyczna pomieszczenia odniesiona do  $1 m^2$  (powierzchni) rzutu pomieszcze-  
nia, w  $m^2$ .

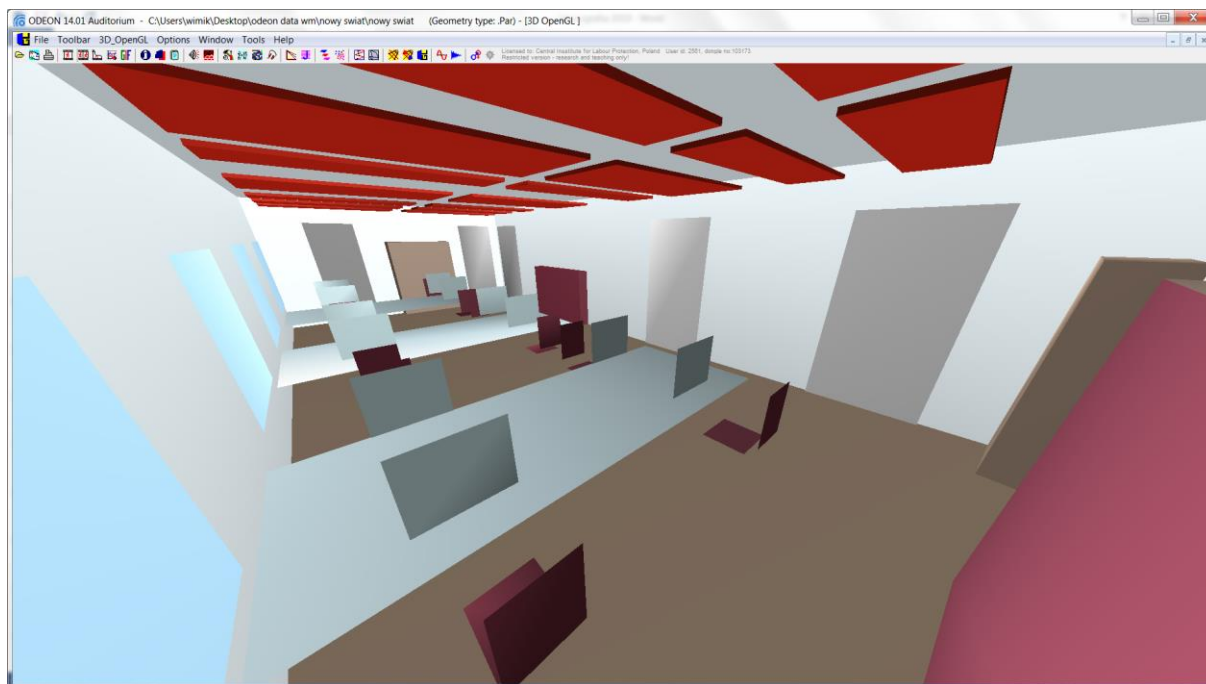
Uzyskane wartości chłonności akustycznej pomieszczenia  $A$  dla różnych częstotliwości z zakresu  
0,5–2 kHz mieszczą się w zakresie 46,0–54,5  $m^2$  (odniesione do  $1 m^2$  rzutu pomieszczenia – 0,63–  
0,74  $m^2$ ) i są za małe w stosunku do wymaganych, gdyż wg PN-B-02151-4:2015 powinny być większe  
od 80,74  $m^2$  (odniesione do  $1 m^2$  rzutu pomieszczenia powinny być nie mniejsze niż 1,1  $m^2$ ). Stano-  
wią odpowiednio 67,5; 57; 66,5% wymaganej chłonności akustycznej. Konieczne jest więc zwiększe-  
nie chłonności akustycznej pomieszczenia w okta-  
wowych pasmach częstotliwości: 0,5; 1  
i 2 kHz o 26,2; 34,7; 27,0  $m^2$ .

### III. Projekt oraz analiza obliczeniowa różnych wariantów adaptacji akustycznej

W projekcie adaptacji akustycznej uwzględniono zastosowanie dźwiękochłonnych elementów  
podwieszonych pod stropem o ważonym wskaźniku pochłaniania dźwięku  $\alpha_w$  równym 0,6 (sufit  
„0,6”; tj. w okta-  
wowych pasmach częstotliwości 0,5; 1 i 2 kHz współczynnik pochłaniania dźwięku  
jest równy 0,9; 0,97; 0,97). Uwzględniono 20 elementów o wymiarach 0,6 x 2,4 x 0,04 m (pole po-  
wierzchni po jednej stronie 28,8  $m^2$ ), podwieszonych 0,15 m pod stropem (rys. 2 i 3).



Rys. 2. Widok elementów dźwiękochłonnych podwieszonych pod stropem



Rys. 3. Widok pomieszczenia z uwzględnieniem adaptacji akustycznej dźwiękochłonnymi elementami podwieszonymi wygenerowany w programie ODEON

Wzrost wartości chłonności akustycznej pomieszczenia spowodowany uwzględnieniem tych elementów (ze względu na stosunkowo niewielką odległość elementów od stropu w obliczeniach uwzględniono tylko jedną stronę powierzchni elementów) wynosi (odpowiednio dla częstotliwości 0,5; 1 i 2 kHz): 25,92; 27,94 i 27,94 m<sup>2</sup>. Oszacowano, wg PN-B-02151-4:2015, że po adaptacji akustycznej chłonność akustyczna pomieszczenia powinna wynosić odpowiednio ok.: 80,5; 74,0 i 81,7 m<sup>2</sup> (a odniesiona do 1m<sup>2</sup> rzutu pomieszczenia odpowiednio: 1,10; 1,01 i 1,11 m<sup>2</sup>).

Wynika z tego, że w oktawowych pasmach częstotliwości o częstotliwościach środkowych 0,5 i 2 kHz chłonność akustyczna pomieszczenia powinna być wystarczająca. Dla częstotliwości 1 kHz, wg obliczeń, będzie o ok. 6,8 m<sup>2</sup> za mała. Powinno się więc uwzględnić np. dodatkowe elementy dźwiękochłonne (5 sztuk). Ponieważ jednak po wykonaniu adaptacji akustycznej zostaną wykonane empiryczne badania kontrolne, dlatego na tym etapie projektowania dodatkowej adaptacji akustycznej nie wykonano.

Przesłanką tego były dwie przyczyny. Pierwsza – jak można się spodziewać, rzeczywista chłonność akustyczna ww. dźwiękochłonnych elementów podwieszanych, będzie większa niż obliczona wyżej (metodą wg. PN-B-02151-4:2015), ponieważ elementy te będą pochłaniały energię akustyczną także bokami (sumaryczne pole powierzchni bocznej elementów to 4,8 m<sup>2</sup>, a chłonność akustyczna boków elementów wynosi: 4,3; 4,7; 4,7 m<sup>2</sup>) oraz częściowo nawet powierzchnią elementów od strony sufitu



(podwieszenie elementów 0,15 m). Uwzględniając tylko pochłanianie bokami chłonność akustyczna **powinna być równa: 84,8; 78,6 i 86,3 m<sup>2</sup>** (odniesiona do 1 m<sup>2</sup> rzutu pomieszczenia odpowiednio: 1,16; 1,07 i 1,18 m<sup>2</sup>). Wówczas zastosowanie tylko dwóch elementów dźwiękochłonnych umożliwi uzyskanie wymaganej chłonności akustycznej pomieszczenia. Druga przyczyna – jak można się spodziewać dla częstotliwości 0,5-1 kHz przy takim dystansie podwieszenia elementów, wystąpi rezonans powodujący w tym zakresie częstotliwości zwiększenie chłonności akustycznej wnoszonej przez elementy. Dlatego w rzeczywistości również przy częstotliwości 1 kHz chłonność akustyczna pomieszczenia może być wystarczająca (co zweryfikowano poniżej wynikami przeprowadzonych pomiarów).

#### IV. Pomiary właściwości akustycznych pomieszczenia po wykonaniu adaptacji akustycznej

Wyniki obliczeń i pomiarów dla pomieszczenia z adaptacją akustyczną dźwiękochłonnymi elementami podwieszonymi podano w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki obliczeń i pomiarów parametrów charakteryzujących właściwości akustyczne pomieszczenia z uwzględnieniem adaptacji akustycznej dźwiękochłonnymi elementami podwieszonymi

Metoda badań	T (dla częstotliwości w kHz), s			A (dla częstotliwości w kHz), m <sup>2</sup>			A <sub>1m2</sub> (dla częstotliwości w kHz), m <sup>2</sup>		
	0,5	1	2	0,5	1	2	0,5	1	2
Z obliczeń				84,8	78,6	86,3	1,16	1,07	1,18
Pomiarowa	0,34	0,41	0,46	104,3	86,5	77,1	1,42	1,18	1,05

Oznaczenia :

T – czas pogłosu pomieszczenia (dla częstotliwości: 0,5; 1 i 2 kHz), sekundy

A – chłonność akustyczna pomieszczenia (obliczona z czasu pogłosu T, dla częstotliwości 0,5; 1 i 2 kHz), w m<sup>2</sup>

A<sub>1m2</sub> – chłonność akustyczna pomieszczenia odniesiona do 1 m<sup>2</sup> (powierzchni) rzutu pomieszczenia, w m<sup>2</sup>

Tło zielone – wartość spełnia wymaganie, tło czerwone – wartość nie spełnia wymagań.

Tabela 3. Względne, wyrażone w procentach, różnice wartości parametrów charakteryzujących właściwości akustyczne rozpatrywanego pomieszczenia bez adaptacji akustycznej, uzyskane z obliczeń i pomiarów

Oktawowe pasma częstotliwości, w kHz	0,5	1	2
Błąd względny wyników chłonności akustycznej pomieszczenia $\delta_a$ , w %	-18,7	-9,1	11,9

Błąd oszacowania chłonności akustycznej dla częstotliwości 1 i 2 kHz wynosi 9-12%, tj. ok 10%. Jest to dokładność szacowania chłonności akustycznej. Dla częstotliwości 500 Hz obliczeniowe niedoszacowanie chłonności akustycznej wynosi 18,7%. Tak dużą rozbieżność można uzasadnić faktem powstania zjawisk rezonansowych zwiększających efekt wzrostu wartości chłonności wynikających z podwieszenia elementów dźwiękochłonnych.

Chłonność akustyczna pomieszczenia, obliczona z wyników pomiarów czasu pogłosu, odniesiona do 1 m<sup>2</sup> rzutu pomieszczenia (dla częstotliwości 0,5; 1 i 2 kHz) wynosi: 1,42; 1,18; 1,05 m<sup>2</sup>. Spełnia, więc wymagania PN-B-02151-4:2015 w oktaowych pasmach częstotliwości 0,5 i 1 kHz, natomiast jest o ok. 3,6 m<sup>2</sup> za mała dla 2 kHz (o 4,3% za mała), tzn. rzeczywiście w pomieszczeniu należy zastosować ok. 4 dodatkowych elementów dźwiękochłonnych. Nie wynika to jednak, jak podano wcześniej, z dłuższego czasu pogłosu dla częstotliwości 1 kHz przed adaptacją akustyczną.

Biorąc powyższe pod uwagę można zaakceptować prostą przedstawioną w PN-B-02151-4:2015 szacunkową metodę obliczeniową, opartą na wartości *chłonności akustycznej pomieszczenia* (dla bezpieczeństwa zwiększając chłonność względem wymaganej o ok. 5%), jako wiarygodne narzędzie do projektowania akustycznego, spełniające wymagania tej normy (tj. uzyskanie wartości chłonności akustycznej pomieszczenia nie mniejszej niż 1,1 m<sup>2</sup>, na 1 m<sup>2</sup> pola powierzchni rzutu pomieszczenia).