

## **ANALIZA AKUSTYCZNA**

### **SALI AUDYTORYJNEJ**

**OBIEKT:** Budynek dydaktyczny Uniwersytetu  
Pedagogicznego w Krakowie

**BRANŻA:** Systemy Audiowizualne

**STADIUM:** Projekt wykonawczy

**FIRMA:** **AVprojekt**  
biuro: ul. Rogowska 127  
54-440 Wrocław  
GSM 600 91 57 61, 605 252 139  
tel./fax (71) 71 79 000 43  
[avprojekt@avprojekt.com](mailto:avprojekt@avprojekt.com)

**PROJEKTANT:** mgr inż. Roman Marczak

**SPRAWDZAJĄCY:** mgr inż. Paweł Barczyński

## **SPIS TREŚCI**

1	INFORMACJE PORZĄDKOWE	3
2	AKUSTYKA WNĘTRZ	4
	2.1 Podstawa prawna	4
	2.2 Podstawy teoretyczne	4
	2.3 Sala audytoryjna 4/3	5
	2.3.1 Optymalny czas pogłosu dla sali	5
	2.3.2 Przyjęte materiały wykończeniowe.	5
	2.3.3 Obliczenia czasu pogłosu dla sali wykładowej 4/3 przed adaptacją akustyczną	6
	2.3.4 Przyjęte materiały dźwiękochłonne.	6
	2.3.5 Obliczenia czasu pogłosu po adaptacji akustycznej.	8
3	WNIOSKI	10
4	LITERATURA	11

## **1 INFORMACJE PORZĄDKOWE**

Przedmiotem opracowania jest analiza akustyki sali wykładowej Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie. W opracowaniu dokonano sprawdzenia i korekty czasu pogłosu niezbędnego do prawidłowego użytkowania pomieszczenia oraz zawarto wytyczne związane z adaptacją akustyczną – dobór i rozmieszczenie materiałów dźwiękochłonnych, oparte na podstawie obliczeń teoretycznych.

## 2 AKUSTYKA WNĘTRZ

### 2.1 Podstawa prawna

Na podstawie Rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12.04.2002r wraz z poprawką z dnia 12.03.2009r w sprawie warunków technicznych, jakie powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (§ 323):

„2. Pomieszczenia w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej należy chronić przed hałasem:

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

Na podstawie prac ITB zajmującego się opracowywaniem arkusza 4 „Wymagania dotyczące czasu pogłosu” normy PN-02151 „Akustyka Budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach.” obliczono optymalny czas pogłosu dla analizowanego pomieszczenia.

### 2.2 Podstawy teoretyczne

Kształtowanie optymalnych warunków akustycznych w pomieszczeniu polega na:

- dążeniu do zapewnienia optymalnego czasu pogłosu przez zastosowanie materiałów dźwiękochłonnych,
- zapobieganiu powstawania niekorzystnych zjawisk akustycznych takich jak echo trzepoczące, źle ukierunkowane odbicia, rezonanse - dzięki odpowiedniemu kształtowaniu układu powierzchni w pomieszczeniu, rozłożeniu materiałów dźwiękochłonnych,

Do obliczeń czasu pogłosu w pomieszczeniu przyjęto formułę Eyringa [1, 4].:

$$RT = \frac{0,163 \times V}{4mV - S \times \ln(1 - \alpha)}$$

$$m = \frac{170}{\psi\%} \left( \frac{f}{\text{kHz}} \right)^2 \times 10^{-4}$$

gdzie:

RT – czas pogłosu w sekundach

$\psi$  – wilgotność powietrza %

f – częstotliwość [Hz]

V – objętość pomieszczenia [ $m^3$ ]

S,  $\alpha$  – powierzchnia [ $m^2$ ] i współczynnik chłonności danego materiału

## 2.3 Sala audytoryjna 4/3

Sala wykładowa 4/3 znajduje się na 4 piętrze budynku. Charakteryzuje się objętością ok.  $640m^3$ .

### 2.3.1 Optymalny czas pogłosu dla sali

Dla sali wykładowej o objętości około  $640 m^3$  optymalny czas pogłosu powinien wynieść **RT = 0.85s**.

### 2.3.2 Przyjęte materiały wykończeniowe.

Do obliczeń czasu pogłosu dla sali wykładowej przyjęto materiały o następujących parametrach akustycznych:

f [Hz]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz
<b>Podłoga – wykładzina dywanowa</b>						
$\alpha$	0,02	0,05	0,11	0,28	0,33	0,41
<b>Ściany, sufit - tynk gipsowy</b>						
$\alpha$	0,013	0,015	0,02	0,025	0,035	0,04
<b>Podłoga – fotele audytoryjne obite materiałem</b>						
$\alpha$	0,22	0,34	0,40	0,47	0,52	0,54
<b>Podłoga – parkiet</b>						
$\alpha$	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07

Założono, że ludzie przebywający w pomieszczeniu (**ok. 48 osób**) wprowadzą dodatkową chłonność akustyczną:

f [Hz]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz
<b>Osoby siedzące na fotelu (na <math>m^2</math> rzędu podłogi)</b>						
$\alpha$	0,57	0,61	0,75	0,86	0,91	0,86

### 2.3.3 Obliczenia czasu pogłosu dla sali wykładowej 4/3 przed adaptacją akustyczną

W wyniku obliczeń, dla sali wykładowej 4/3 bez adaptacji akustycznej, bez publiczności otrzymano następującą charakterystykę czasu pogłosu:

$f$ [Hz]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz
RT	5,0	3,6	2,6	1,8	1,5	1,2

Na podstawie wyników widać, że czas pogłosu jest za wysoki w całym paśmie częstotliwości – znacznie przekracza wartości optymalne. Wynika to z zastosowania w sali twardych, płaskich, niepochłaniających powierzchni. Sala wymaga silnego wytlumienia.

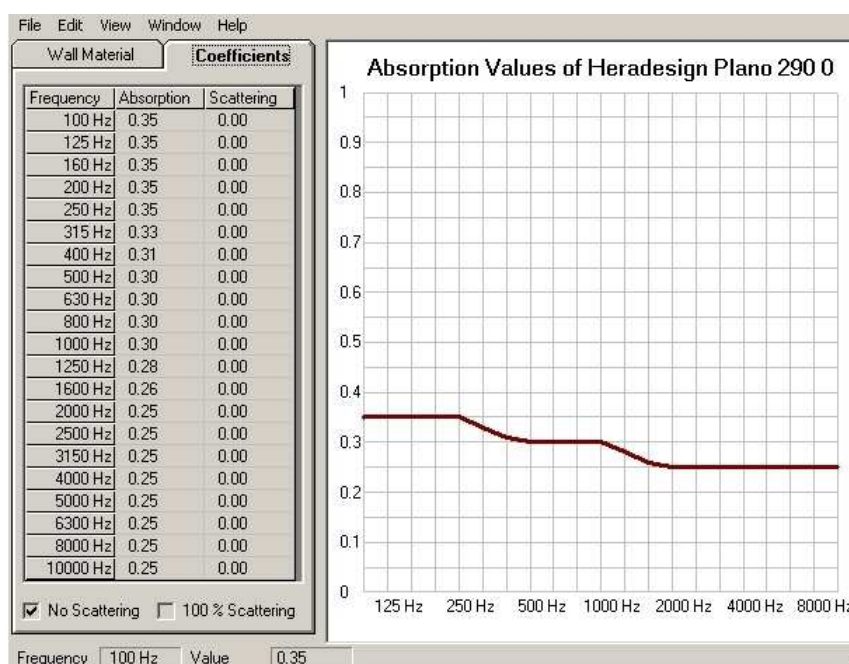
### 2.3.4 Przyjęte materiały dźwiękochłonne.

Aby zmniejszyć czas pogłosu w sali należy wprowadzić materiały dźwiękochłonne. Zdecydowano się zastosować płyty akustyczne firmy Heradesign. Płyty te są produkowane z wełny drzewnej łączącej magnezytem i charakteryzują się bardzo dużą odpornością na uderzenia mechaniczne. Płyty Heradesign są dostępne w różnych wersjach kolorystycznych.

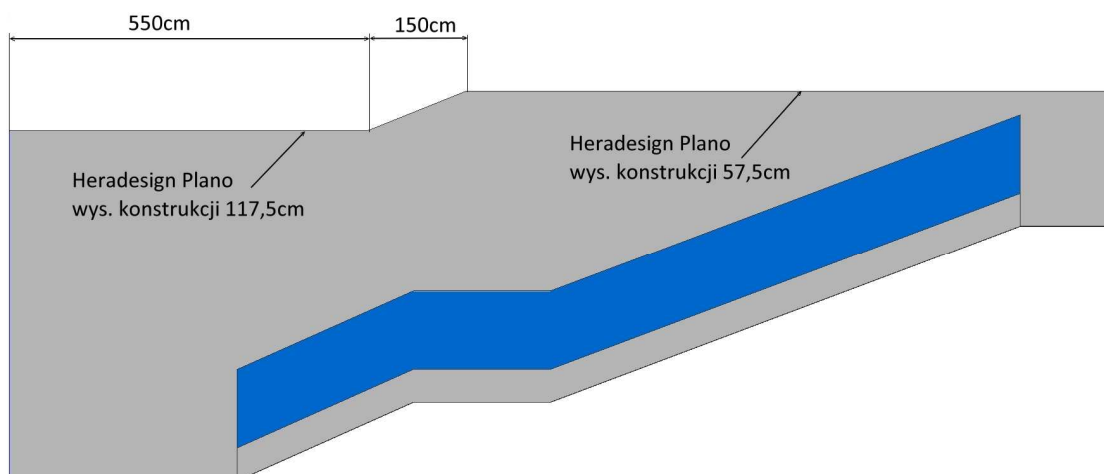
Adaptacja akustyczna sali będzie polegać na:

- Równomiernym pokryciu sufitu (**ok. 130 m<sup>2</sup>**) płytami Heradesign Plano o grubości 25mm na stelażu metalowym lub drewnianym o wysokości 1175mm (**55m<sup>2</sup>**) oraz o wysokości 575mm (**75m<sup>2</sup>**).

Ze względu na brak charakterystyki współczynnika pochłaniania akustycznego ustrojów według konstrukcji jak powyżej, na podstawie analizy porównawczej założono, że charakterystyka takich ustrojów będzie identyczna jak ch-ka ustroju wykonanego z płyty Heradesign Plano na stelażu o wysokości 265mm. Charakterystyka takiego ustroju przedstawia się następująco:



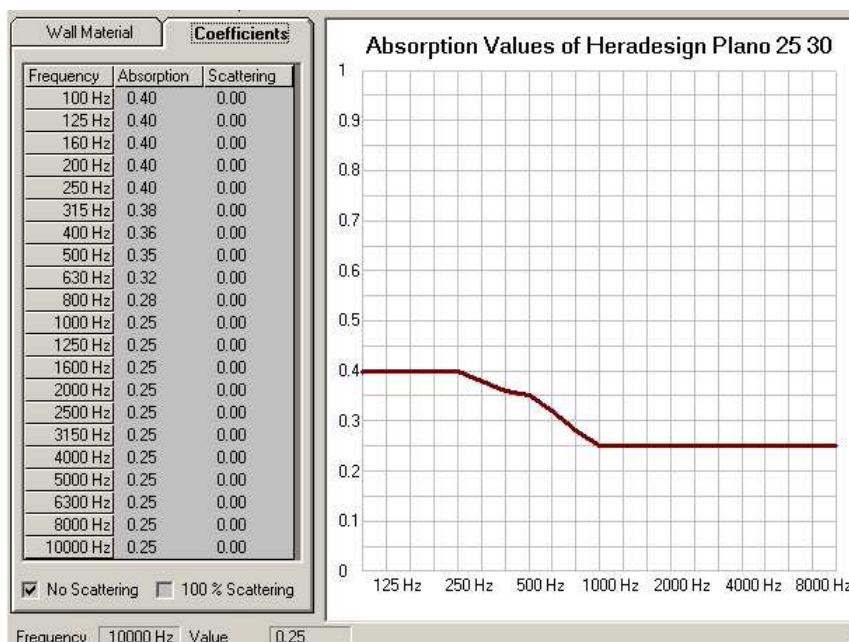
Rys. 1: Charakterystyka współczynnika pochłaniania sufitu wykonanego z płyt Heradesign Plano o grubości 25 mm, wysokość konstrukcji 1175mm, 575mm, bez wypełnienia wełną.



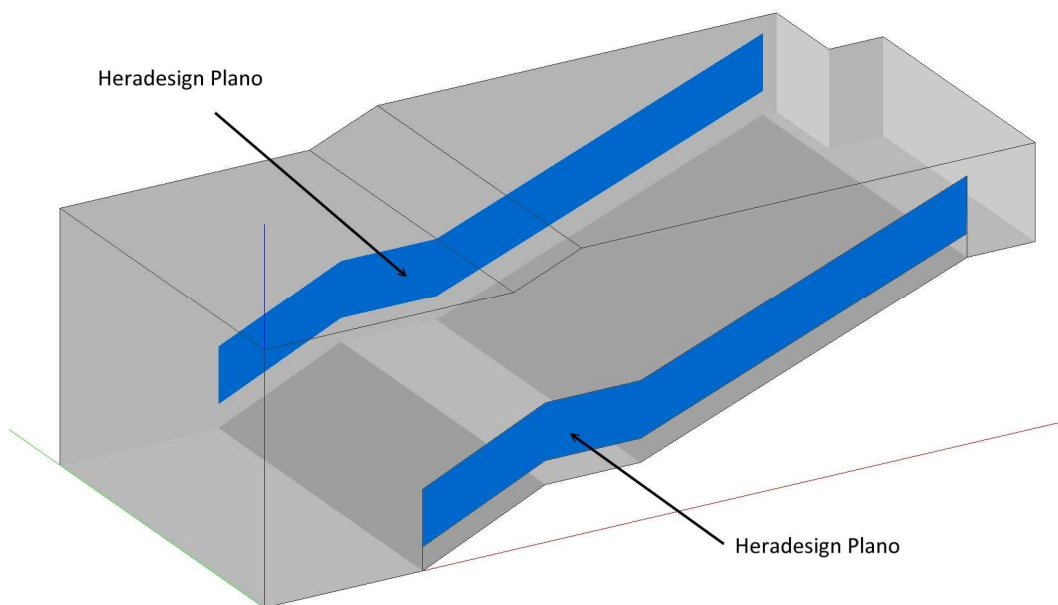
Rys. 2: Przekrój poprzeczny przez salę audytorną – rozmieszczenie urządzeń akustycznych Heradesign Plano 25mm na suficie

- Częściowym pokryciu powierzchni dwóch ścian bocznych (**ok. 29 m<sup>2</sup>**) płytami Heradesign Plano o grubości 25mm na stelażu metalowym lub drewnianym o wysokości 30mm. W przestrzeni pomiędzy ścianą a płytą akustyczną zostanie ułożona wełna mineralna o grubości 30mm i gęstości 30kg/m<sup>3</sup>. Płyty byłyby zamocowane do ścian bocznych od wysokości **50cm do 170cm**. Sposób rozmieszczenia płyt Heradesign Plano pokazano na rysunku 3.

Charakterystyka współczynnika pochłaniania takiego urządzenia akustycznego przedstawia się następująco:



Rys. 3: Charakterystyka współczynnika pochłaniania urządzenia wykonanego z płyt Heradesign Plano o grubości 25 mm, stelaż o głębokości 30mm, wełna mineralna 30mm, 30kg/m<sup>3</sup>.



Rys. 4: Rozmieszczenie płyt akustycznych Heradesign Plano na ścianach bocznych.

### 2.3.5 Obliczenia czasu pogłosu po adaptacji akustycznej.

W wyniku adaptacji akustycznej otrzymano następujące wyniki czasu pogłosu:

a) Sala bez publiczności:

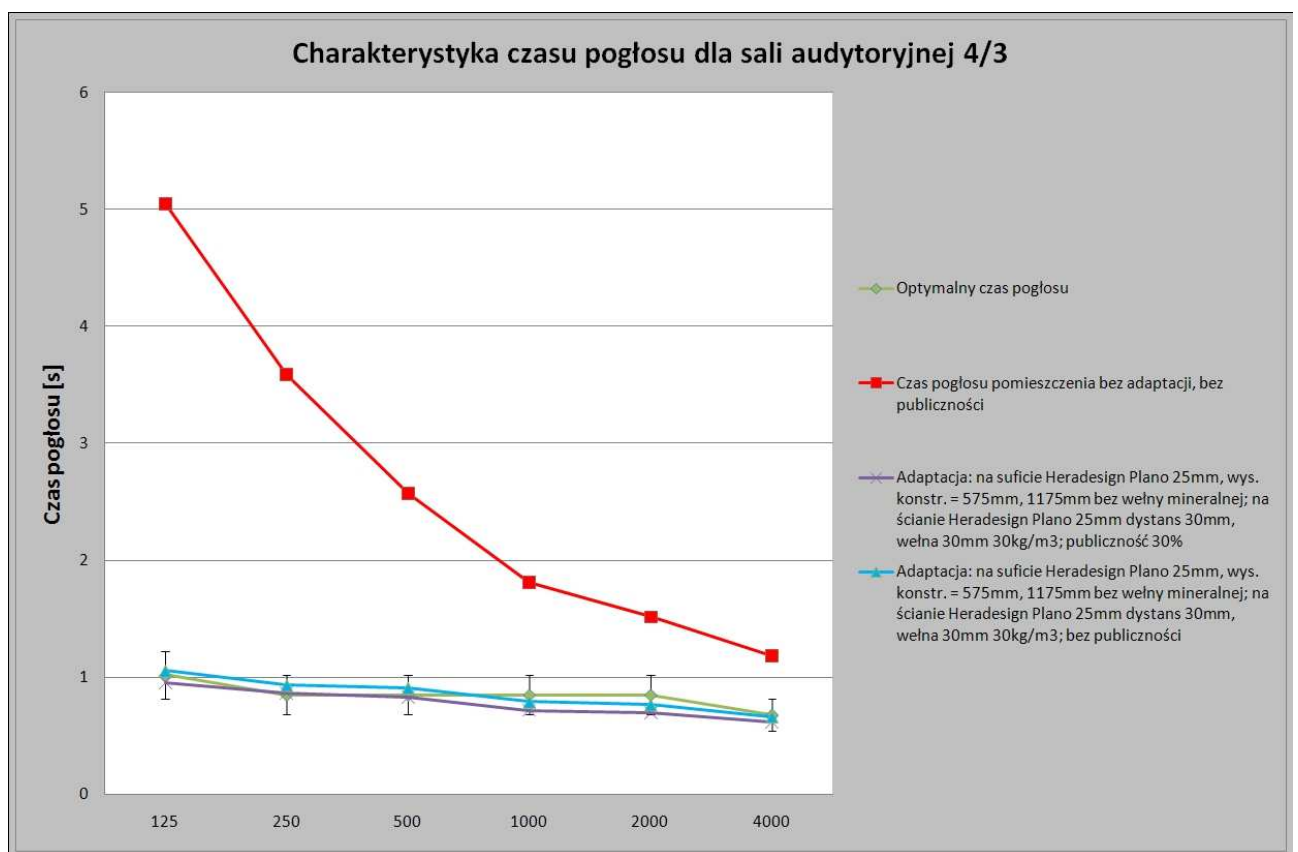
$f$ [Hz]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz
RT	1,1	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7

b) Sala z publicznością:

$f$ [Hz]	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz
RT	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6

Szczegółowe wyniki obliczeń zamieszczono w załączniku.





Rys 5: Charakterystyka czasu pogłosu dla sali audytorijnej 4/3 przed i po adaptacji akustycznej.

### 3 WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń można wyciągnąć następujące wnioski:

- charakterystyka czasu pogłosu sali audytoryjnej bez adaptacji akustycznej (bez dodatkowego wytlumienia) wymaga korekcji w całym paśmie akustycznym – wymagane jest dodatkowe wytlumienie pomieszczenia. Niewytłumione pomieszczenie będzie wzmacniało generowany w nim hałas i utrudniało komunikację międzyludzką oraz zrozumiałość przekazu.
- dla osiągnięcia wymaganej charakterystyki czasu pogłosu wymagane jest wytlumienie nie tylko sufitu, ale także ścian bocznych płytami Heradesign Plano. Wytlumienie sufitu oraz ścian bocznych jest optymalne w kształtowaniu charakterystyki czasu pogłosu. Zapewnia nie tylko odpowiednie wyniki w teorii, ale mające także odbicie w rzeczywistości – rozwiązanie takie minimalizuje wpływ niekorzystnych odbić od równoległych, niewytłumionych powierzchni.
- wprowadzenie materiału akustycznego na suficie i ścianach spowodowało, że charakterystyka czasu pogłosu mieści się w optymalnym zakresie.
- w załączniku znajdują się dokładne obliczenia czasu pogłosu dla badanego pomieszczenia.

## 4 LITERATURA

- [1]. Jerzy Sadowski „Akustyka w urbanistyce, architekturze i budownictwie” Wyd. Arkady, Wydanie 1, Warszawa 1971
- [2]. Jerzy Sadowski „Akustyka architektoniczna” PWN, Wydanie 1, Poznań 1976
- [3]. Glen Ballou, Editor „Handbook for Sound Engineers – the New Audio Cyclopedia” Howard W. Sams & Co, Second edition, Carmel Indiana USA 1991.
- [4]. Polska Norma PN-B- 02151-3:1999. Akustyka budowlana: Ochrona przed hałasem w budynkach – Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych
- [5]. Polska Norma PN-87/B-02151/02. Akustyka budowlana: Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach - Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach.