

AKUSTYKA WNĘTRZ

PROJEKT PRZEBUDOWY AULI W BUDYNKU AKADEMII IM. JANA DŁUGOSZA W CZĘSTOCHOWIE

WYTYCZNE AKUSTYCZNE DO PROJEKTU WYKONAWCZEGO WNĘTRZA AULI

1. ANALIZA PRZESTRZENNA

Projekt obejmuje akustykę wnętrza modernizowanej auli wielofunkcyjnej w budynku Akademii im. Jana Długosza i uwzględnia wynikające stąd uwarunkowania.

Sala ma kształt rzutu prostokątny (o szer. ok. 17,5 m i dł. ok. 23,50m) w rejonie widowni i skorygowany na trapezowy (o szer. ok. 14,8 – 9,5 m i dł. ok. 6,0 m) w rejonie estrady – z równoległymi płaszczyznami ścian bocznych widowni. Estrada jest wyniesiona ok. 75 cm nad podłogą przedniej, płaskiej części widowni. Tylne części podłogi widowni jest wyniesiona ośmioma ustopnionymi rzędami na wysokość ok. 1,36 m nad część płaską. Wysokość czynna akustycznie nad estradą wynosi ok. 4,70 m, podobna wysokość płaskiej widowni – ok. 5,65 m, a części ustopnionej widowni – ok. 5,65 do ok. 4,30 m.

W projekcie przewiduje się kształtowanie przekroju ścian i przede wszystkim płaszczyzn sufitu, a także taki dobór materiałów wykończeniowych, który pozwoli na kształtowanie właściwych warunków pogłosowych.

Sala jest przeznaczona dla ok. 415 słuchaczy i ma akustyczną kubaturę wnętrza ok. 2600,0 m³, co daje wskaźnik kubaturowy:

- ok. 6,25 m³/osobę

2. ZAŁOŻENIA AKUSTYCZNE.

Przyjęto, że sala będzie spełniać wiele funkcji, związanych z działalnością uniwersytecką, przede wszystkim ma służyć organizowaniu wykładów akademickich z użyciem środków audiowizualnych, kongresów i konferencji, a także ma spełniać funkcję auli uniwersyteckiej, a więc będzie pomieszczeniem wielofunkcyjnym, pozwalającym na organizowanie uroczystości z doraźnymi występami artystycznymi (także muzycznymi). Źródłem dźwięku będzie:

- nagłośnienie elektroakustyczne (głośniki naścienne), przekazujące głos wykładowców, osób przemawiających i występujących artystów, oraz odtwarzające dźwięk nagrany - przy pokazach i filmach.

- głos ludzki bezpośredni - mowa, szczególnie dla mniejszych grup słuchaczy,

- głos ludzki bezpośredni – śpiew solo i chóralny,

- muzyka instrumentalna bezpośrednia,

Należy też brać pod uwagę możliwość roboczego nagrywania dźwięku dla celów dokumentacyjnych.

2.1. Wskaźniki kubaturowe.

a. Funkcja audytoryjno – wykładowa i konferencyjna, gdzie źródłem dźwięku będzie w zasadzie przenoszony elektroakustycznie głos ludzki a także odtwarzanie dźwięku nagranych dla ewentualnych pokazów filmowych i video, towarzyszących wykładom.

Wg. wskazań dla sal do słuchania mowy nagłośnionej elektroakustycznie i dla sal kinowych – wskaźnik kubaturowy powinien wynosić $3 \div 4 \text{ m}^3/\text{sł.}$

b. Funkcja muzyczno - koncertowa, gdzie źródłem dźwięku będzie głos ludzki bezpośredni (mowa, śpiew solo, chór), instrumenty solo, zespoły kameralne, orkiestra a także odtwarzanie dźwięku nagranych towarzyszące ewentualnym innym formom przekazu.

Wg. wskazań dla sal do słuchania mowy i lekkiej muzyki wskaźnik ten powinien wynosić $4 \div 7 \text{ m}^3/\text{sł.}$, a dla sal koncertowych - $7 \div 10 \text{ m}^3/\text{sł.}$

2.2. Czasy pogłosu - zalecenia.

Dla tych funkcji wymagania charakterystyki akustycznej wnętrza są różne.

W sali (z udziałem publiczności) o kubaturze ok. 2600 m³, zaliczanej do sal średnich, zaleca się czasy pogłosu w średnich przedziałach częstotliwości (500-1000Hz):

a. – dla przenoszonego elektroakustycznie **głosu ludzkiego** oraz tak przekazywanych **wykładów, odczytów i prelekcji, konferencji** a także dla **pokazów filmowych** - zaleca się czasy pogłosu śr. 0,6s, wg charakterystyki: 0,75s/125Hz - 0,60s/500Hz – 0,50s/2000Hz.

b. – dla **bezpośredniego głosu ludzkiego, odczytów i prelekcji** zaleca się czasy pogłosu śr. 0,8 – 0,9s wg charakterystyki: 0,9s/125Hz - 0,55s/500Hz – 0,55s/2000Hz,

c. - dla **sal koncertowych** 1,4 – 1,5s wg Maxfielda; 1,20 – 1,35s wg Conturiego; 1,7 – 2,0s wg Brückmayera;

Biorąc pod uwagę tak różne wymagania, trudno im sprostać w tym samym wielofunkcyjnym wnętrzu, bez stosowania ruchomych elementów przestrzennych dających bądź zmiany kubaturowe, bądź materiałowe.

2.3. Czasy pogłosu – przyjęte w rozwiązaniu.

Z roli pełnionej przez obiekt wynika, że chociaż dominującą funkcją sali będzie jej charakter wykładowo – konferencyjny, nie można zaniechać jej roli wielofunkcyjnej. Dlatego zaproponowano odpowiednie uśrednienie założeń, biorąc pod uwagę za podstawę zaleceń adaptacji trzy wytyczne:

a. jak dla nagłośnienia elektroakustycznego (ewentualnie z odtwarzaniem dźwięku z zapisu), dla średnich pasm częstotliwości dla sali wypełnionej słuchaczami w 2/3 czas pogłosu powinien wynosić:

$T_{\text{śr}} = 0,60 \text{ s.} \pm 15\%$

wg charakterystyki:

0,75s($\pm 25\%$)/125Hz - 0,55s($\pm 15\%$)/500Hz – 0,5s($\pm 10\%$)/2000Hz

b. jak dla występów słownych i małych odczytów, czas pogłosu określany na:

$T_{\text{śr}} \approx 0,8 - 0,9 \text{ s (+- } 10\%)$

wg charakterystyki: 0,9s/125Hz - 0,7s/500Hz – 0,7s/2000Hz,

c. jak dla warunków koncertowych – dla zespołów kameralnych (przy wypełnieniu sali słuchaczami), czas pogłosu określany na:

$T_{sr} \approx 1,10 - 1,20 \text{ s } (+/- 10\%)$

o charakterystyce zalecanej przez Morrisa i Nixona, podwyższonej o ok. 0,6s dla niskich pasm częstotliwości w stosunku do pasm średnich i nieco obniżonej dla pasm wysokich.

Głównym celem adaptacji akustycznej wnętrza jest tu uzyskanie charakterystycznych dla tego sposobu użytkowania warunków pogłosowych oraz wyrównania i rozproszenia pola dźwiękowego a także zapewnienie – dzięki ukształtowaniu i warunkom pogłosowym – dobrej i wystarczającej zrozumiałości sylabowej mowy i spełnienie przy elektroakustycznym nagłośnieniu wskaźnika RASTI o wartości co najmniej 0,6.

Ponieważ równorzędnym wymaganiem będzie tu funkcja produkcji zarówno z użyciem nagłośnienia elektroakustycznego (ewentualnie z odtwarzaniem dźwięku z zapisu) jak i głosu bezpośredniego - przyjęto, że czas pogłosu dla średnich pasm częstotliwości dla sali wypełnionej słuchaczami w 2/3 powinien wynosić:

$$T_{p\bar{s}r} = 0,80 \text{ s}$$

o średniej charakterystyce: $1,00s(\pm 25\%)/125\text{Hz} - 0,80s(\pm 15\%)/500\text{Hz} - 0,80s(\pm 10\%)/2000\text{Hz}$

Przyjęto również takie rozłożenie pola dźwiękowego przez kierowanie pierwszych odbić, aby umożliwić wykorzystywanie przedniej części sali przy mniejszych grupach słuchaczy dla wykładów i zajęć seminaryjnych, nawet bez użycia nagłośnienia elektroakustycznego.

3. ROZWIĄZANIA PRZESTRZENNE I MATERIAŁOWE.

3.1. Graficzna analiza rozłożenia pola dźwiękowego dla dźwięku bezpośredniego z estrady i umieszczonych na niej kolumn głośnikowych.

Analizę metodą promieniową przeprowadzono dla źródeł dźwięku w centralnej części estrady, wykorzystywanych dla większości imprez jako miejsce prelegentów, solistów, miejsce akcji spektakli oraz dla źródła przestrzennego na całej głębokości estrady. Największa odległość słuchaczy ze skrajnych miejsc od źródła „scenicznego” przekracza 17,0 m. (ok. 27,0 m.), co przekracza granicę dobrej słyszalności bez wzmocnienia przy głosie ludzkim wyszkolonym.

Przyjęto wzmocnienie dźwięku bezpośredniego dźwiękiem odbitym rozproszonym już dla odległości ok. 12m. od źródeł dźwięku (głos niewyszkolony). Analizę przeprowadzono dla wzmocnień z pierwszych i drugich odbić. Metodami geometrii przestrzennej doprowadzono do wstępnego określenia kierunków nachylenia głównych płaszczyzn reflektujących. Przy tak zaprojektowanym ukształtowaniu uzyskano wzmocnienia dźwięku z płaszczyzn reflektujących sufitowych i ściennych przede wszystkim dla przedniej i centralnej części sali oraz z płaszczyzn sufitowych dla części centralnej i tylnej. W żadnej z istotnych relacji między falą bezpośrednią i odbitą nie występuje różnica przekraczająca 12m.

(co odpowiadałoby opóźnieniu czasowemu ok. 28 milisekund, dającemu wrażenie pogłosu). Sterowanie propagacją dźwięku prowadzono z założeniem, że głos ludzki bez elektroakustycznego wzmocnienia powinien być dobrze słyszalny także dla spektakli o mniejszej liczbie słuchaczy, gdy będą oni zajmować miejsca w przedniej i centralnej części sali.

Dla uzyskania odpowiedniego "wymieszania" dźwięku (z uwzględnieniem drugich odbić) część płaszczyzn odbijających zaproponowano jako ustroje rozpraszające, złożone z niedużych elementów płaskich, krawędziowanych, rozsuniętych, ewentualnie z dodatkowymi przegrodami wzdłużnymi w rozsunięciach. Rozwiązania takie zastosowano przede wszystkim dla przekroju podłużnego sufitu.

Ze względu na równoległość płaszczyzn ścian bocznych i możliwość niekorzystnych zjawisk interferencyjnych, zaproponowano na ścianie przeciwległej do ściany okiennej zastosowanie ustrojów o dużym tłumieniu w polach, odpowiadających lustrzanemu odbiciu przeszkleń okiennych.

Uzupełnieniem „dogłośnienia” z pierwszych odbić jest ukształtowanie bocznych płaszczyzn strefy estrady, służące dobremu wyemitowaniu dźwięku z tego rejonu oraz uniknięciu niektórych zjawisk rezonansowych.

3.2. Główne elementy wykończenia akustycznego.

Dla uzyskania założonego czasu pogłosu i innych parametrów związanych z przyjętymi powyżej sposobami użytkowania sali – zaprojektowano stałe wykończenie akustyczne wnętrza, składające się z materiałów i ustrojów akustycznych o odpowiednich wartościach współczynnika pochłaniania i rozproszenia dźwięku, umieszczonych na ścianach i suficie.

Dla przyjętego czasu pogłosu (T_{sr}) obliczono poszukiwany średni pogłosowy współczynnik pochłaniania przegród dla sali a następnie dokonano doboru materiałów i ustrojów akustycznych wnętrza sali. Wytyczne dotyczące doboru i rozmieszczenia materiałów i ustrojów akustycznych, wpływających na tak specyficzne kształtowanie czasów pogłosu, oparte o analizę przestrzennego rozłożenia pola dźwiękowego, po uwzględnieniu możliwości i uwarunkowań przestrzennych, wynikających z istniejącej struktury budowlanej a także ekonomiczności rozwiązania i mało czasochłonnego, montażowego systemu realizacji - przekazano Głównemu Projektantowi do zastosowania w projekcie całościowym wnętrza.

Proponowane rozwiązanie wykonawcze zostało sprawdzone obliczeniowo metodą statystyczną, a wyniki obliczeń czasu pogłosu T_p w funkcji częstotliwości wg. formuły Fitzroy'a (sala zapełniona w 2/3) - przedstawiono w tym opracowaniu.

3.2.1. Elementy i ustroje akustyczne uwzględnione w obliczeniach akustycznych.

W projekcie przewiduje się dobór materiałów wykończeniowych, elementów i ustrojów akustycznych, a także ich rozmieszczenie i kształtowanie na powierzchni ścian i sufitu, pozwalające na uzyskanie właściwych warunków pogłosowych i korzystnego stopnia rozproszenia i wymieszania dźwięku.

1. Posadzka widowni: np. wykładzina PCV (w obliczeniach akustycznych uwzględniono powierzchnię p.obl.≈ 297,5 m²).

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,12	0,10	0,10	0,12	0,10	0,05

2. Posadzka widowni ustopniowanej: np. wykładzina PCV na podłodze podniesionej (w obliczeniach akustycznych uwzględniono powierzchnię p.obl.≈ 106,0 m²).

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,20	0,20	0,10	0,12	0,05	0,05

3. Stopnie widowni: np. wykładzina PCV na podłodze podniesionej (w obliczeniach akustycznych uwzględniono powierzchnię p.obl.≈ 22,5 m²).

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,20	0,20	0,10	0,12	0,05	0,05

4. Obudowy boczne ustopniowanej części widowni – płyty laminowane np. ATOS, GUSTAFS pełne, montaż ścienny > 40mm, między płytami i podłożem wełna mineralna grubości ok. 30mm i gęstości 40-50 kg/m³ (p.obl.≈ 12,5 m²),

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,11	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03

5. Posadzka estrady: np. parkiet dębowy na podłodze podniesionej (w obliczeniach akustycznych uwzględniono powierzchnię p.obl.≈ 81,0 m²).

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,20	0,20	0,10	0,12	0,05	0,05

6. Obudowa dolnego czoła estrady – kratka stalowa zgrzewana (p.obl.≈ 9,0 m²)

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,10	0,12	0,24	0,14	0,21	0,23

7. Obudowa dolnego czoła estrady – stopnie drewniane, montaż ścienny (p.obl.≈ 4,5 m²),

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04

8. Obudowa reflektująca frontowej ściany estrady – płyty np. ATOS, GUSTAFS pełne, z okleiną naturalną, montaż systemowy ścienny > 40mm, między płytami i podłożem wełna mineralna grubości ok. 30mm i gęstości 40-50 kg/m³ (p.obl.≈ 49,5 m²),

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,11	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03

9. Obudowa bocznych elementów ściennych estrady – płyty laminowane np. ATOS, GUSTAFS pełne, montaż ścienny > 40mm, między płytami i podłożem wełna mineralna grubości ok. 30mm i gęstości 40-50 kg/m³ (p.obl.≈ 86,0 m²),

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,11	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03

10. Pasma tłumiące między bocznymi elementami ściennymi estrady i bocznymi ścianami widowni – płyty perforowane np. ATOS, GUSTAFS - BF PH8 z okleiną naturalną, montaż systemowy ścienny > 80 mm, między płytami i podłożem wełna mineralna grubości ok. 40mm i gęstości 40-50 kg/m³ (p.obl.≈ 9,5 m²)

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,31	0,89	1,00	0,77	0,53	0,36

11. Obudowa reflektująca ścian widowni – płyty np. ATOS, GUSTAFS pełne, z okleiną naturalną, montaż systemowy ścienny > 40mm, między płytami i podłożem wełna mineralna grubości ok. 30mm i gęstości 40-50 kg/m³ (p.obl.≈ 145,5 m²),

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,11	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03

12. Obudowa reflektująca ościeży okien i drzwi w ścianach widowni – płyty np. ATOS, GUSTAFS pełne, z okleiną naturalną, montaż ścienny > 40mm, między płytami i podłożem wełna mineralna grubości ok. 30mm i gęstości 40-50 kg/m³ (p.obl.≈ 58,5 m²),

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,11	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03

13. Obudowa tłumiąca ściany lewej (fragmenty płaszczyzn naprzeciw okien) i tylnej (pasma powyżej oparc foteli) – płyty perforowane np. ATOS, GUSTAFS - BF PH8 z okleiną naturalną, montaż systemowy ścienny > 80 mm, między płytami i podłożem wełna mineralna grubości ok. 40mm i gęstości 40-50 kg/m³ (p.obl.≈ 134,0 m²)

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,31	0,89	1,00	0,77	0,53	0,36

14. Obudowa ścian i stropu kabiny sterowania – płyty laminowane np. ATOS, GUSTAFS pełne, montaż systemowy ścienny > 40mm, między płytami i podłożem wełna mineralna grubości ok. 30mm i gęstości 40-50 kg/m³ (p.obl.≈ 39,5 m²),

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,11	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03

15. Obudowa grzejników – kratka stalowa zgrzewana (p.obl.≈ 31,5 m²)

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,50	0,88	0,70	0,55	0,33	0,29

16. Okna prawej ściany widowni - (p.obl.≈ 54,5 m²)

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02

17. Drzwi płytowe widowni - (p.obl.≈ 10,5 m²)

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,08	0,14	0,12	0,15	0,18	0,17

18. Sufit pochylony reflektująco-rozpraszający nad estradą: płyty gipsowo-kartonowe np. RIGIPS na ruszcie systemowym (p.obl.≈ 30,0 m2).

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,21	0,07	0,05	0,05	0,06	0,05

19. Sufit nad widownią, pasma reflektujące szer. 240 cm (oraz boki obudowy pasm) - płyty laminowane np. ATOS, GUSTAFS na ruszcie systemowym, odległość zawieszenia > 350 mm z warstwą wełny mineralnej grubości min. 50mm i gęstości 40-50 kg/m3 (p.obl.≈ 388,0 m2),

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,21	0,07	0,05	0,05	0,06	0,05

20. Sufit nad widownią (wnęki) i estradą, płaszczyzna cofnięta reflektująco - rozpraszająca - płyty np. ATOS, GUSTAFS na ruszcie systemowym, odległość zawieszenia ≈ 100 mm (p.obl.≈ 107,5 m2), z warstwą wełny mineralnej grubości min. 50mm i gęstości 40-50 kg/m3.

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,11	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03

21. Sufit nad widownią, płaszczyzna wzdłuż ścian bocznych, cofnięta, tłumiąca – płyty perforowane np. ATOS, GUSTAFS - PH8 na ruszcie systemowym, odległość zawieszenia ≈ 100 mm z warstwą wełny mineralnej grubości min. 50mm i gęstości 40-50 kg/m3. (p.obl.≈ 46,0 m2),

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,31	0,89	1,00	0,77	0,53	0,36

22. Fotele audytoryjne np. MARTELA PRIMO z podnoszonymi siedzeniami i pulpitemi - ilość 411 szt.

Przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,22	0,34	0,40	0,47	0,52	0,54

23. Osoba w fotelu audytoryjnym np. MARTELA PRIMO

Aproksymacyjnie przyjęty pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku α_s

125	250	500	1000	2000	4000
0,28	0,42	0,50	0,56	0,76	0,79

UWAGA 1 :

- 1. Podane powierzchnie wyliczono dla celów obliczeń akustycznych i nie mają one wartości przedmiarowych*
- 2. W obliczeniach przyjęto pogłosowe współczynniki pochłaniania dźwięku α_s materiałów i ustrojów akustycznych zdefiniowanych w projekcie – według danych producentów, natomiast niektórych materiałów i elementów – aproksymacyjnie. Dopuszcza się stosowanie materiałów innych producentów, ale o wartościach pochłaniania nieodbiegających od obliczeniowych. Własności materiałów inne niż przyjęte w obliczeniach może znacząco wpłynąć na rzeczywiste czasy pogłosu.*

UWAGA 2 :

- 1. Wszystkie połączenia i styki metalu i elementów suchego montażu – inne niż systemowe - zabezpieczać przed przekazywaniem drgań podkładkami elastycznymi z gumy lub folii FD-1.*
- 2. Wszystkie wieszaki elementów sufitowych zabezpieczać podkładkami elastycznymi przed przekazywaniem drgań.*
- 3. Wszystkie materiały powinny mieć wymagane prawem atesty dopuszczające do stosowania w budynkach użyteczności publicznej na terenie RP*
- 4. Wszelkie zmiany materiałowe bądź połączeń technicznych winny być uzgodnione z projektantami.*
- 5. Realizacja powinna przebiegać pod nadzorem autorskim.*

4. CZAS POGŁOSU SALI

Proponowane rozwiązanie zostało sprawdzone obliczeniowo, a wyniki obliczeń czasu pogłosu T_p w funkcji częstotliwości wg. formuły Fitzroy'a dla wariantów sali o funkcji wykładowej (sala pusta, sala wypełniona w połowie, sala wypełniona w 2/3, sala wypełniona całkowicie) - przedstawiono w tym opracowaniu.

4.1. Wyliczone czasy pogłosu (w sekundach) dla oktaowych pasm częstotliwości 125 Hz - 250 Hz - 500 Hz - 1000 Hz - 2000 Hz - 4000Hz wynoszą odpowiednio:

Średni czas pogłosu 500-1000 Hz	Czas pogłosu	CZĘSTOTLIWOŚCI, pasma oktaowe, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
0,81 s	T_p (sekundy)	0,95	0,83	0,81	0,82	0,92	1,10
0,77 s	T_p (sekundy)	0,91	0,79	0,76	0,78	0,83	1,00
0,75 s	T_p (sekundy)	0,90	0,78	0,74	0,77	0,80	0,96
0,74 s	T_p (sekundy)	0,89	0,76	0,72	0,75	0,77	0,93

Wyliczone czasy pogłosu są one zbliżone do zakładanych przy odpowiadającym wypełnieniu sali.

4.2. ZAŁĄCZNIK

Obliczenia czasu pogłosu w funkcji częstotliwości

W tabelach zastosowano oznaczenia:

T - czas pogłosu pomieszczenia [s]

$T = T_x + T_y + T_z$

gdzie odpowiednio:

$T_x = S_x/S * 0.161 * V/(S * \alpha'_x)$

$T_y = S_y/S * 0.161 * V/(S * \alpha'_y)$

$T_z = S_z/S * 0.161 * V/(S * \alpha'_z)$

V - kubatura pomieszczenia [m³]

S_i - powierzchnia materiału pochłaniającego

α - pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku (powierzchniowy lub jednostkowy)

α' - współczynnik pochłaniania skorygowany np. $\alpha'_x = -\ln(1 - \alpha_{fx})$

α_{fx} , α_{fy} , α_{fz} - średnie współczynniki chłonności akustycznej pomieszczenia przy założeniu, że jego chłonność całkowita jest rozłożona na przeciwległych powierzchniach ścian, sufitu i podłogi w kierunku osi x, y, z

S_x , S_y , S_z - powierzchnie obu przeciwległych ścian sufitu i podłogi w kierunku osi x, y, z [m²]

S - sumaryczna powierzchnia ograniczająca pomieszczenie [m²]

$S = S_x + S_y + S_z$

TABELA II / 1

Obliczenie czasu pogłosu w funkcji częstotliwości

Wersja (V= 2600,0 m3) **FUNKCJA WYKŁADOWA - SALA PUSTA**

Lp.		Si	125	250	500	1000	2000	4000
1	Sx	438.30	81.086	102.176	103.788	83.017	64.798	49.150
	Sy	284.00	55.445	79.858	86.414	67.686	51.408	37.099
	Sz	1416.45	263.374	274.922	281.016	307.801	304.815	285.761
2a	alfax		0.185	0.233	0.237	0.189	0.148	0.112
2b	alfa'x		0.205	0.265	0.270	0.210	0.160	0.119
3a	alfay		0.195	0.281	0.304	0.238	0.181	0.131
3b	alfa'y		0.217	0.330	0.363	0.272	0.200	0.140
4a	alfaz		0.186	0.194	0.198	0.217	0.215	0.202
4b	alfa'z		0.206	0.216	0.221	0.245	0.242	0.225
5	S	2138.75						
6	Tx		0.196	0.151	0.148	0.191	0.251	0.337
7	Ty		0.120	0.079	0.072	0.095	0.130	0.186
8	Tz		0.630	0.601	0.586	0.529	0.535	0.575
9	T		0.946	0.831	0.806	0.816	0.916	1.098

TABELA II / 2

Obliczenie czasu pogłosu w funkcji częstotliwości

Wersja (V= 2600,0 m3) **FUNKCJA WYKŁADOWA - 50% ZAPEŁNIENIA**

Alp		Si	125	250	500	1000	2000	4000
1	Sx	438.30	81.086	102.176	103.788	83.017	64.798	49.150
	Sy	284.00	55.445	79.858	86.414	67.686	51.408	37.099
	Sz	1416.45	275.794	291.482	301.716	326.431	354.495	337.511
2a	alfax		0.185	0.233	0.237	0.189	0.148	0.112
2b	alfa'x		0.205	0.265	0.270	0.210	0.160	0.119
3a	alfay		0.195	0.281	0.304	0.238	0.181	0.131
3b	alfa'y		0.217	0.330	0.363	0.272	0.200	0.140
4a	alfaz		0.195	0.206	0.213	0.230	0.250	0.238
4b	alfa'z		0.217	0.230	0.240	0.262	0.288	0.272
5	S	2138.75						
6	Tx		0.196	0.151	0.148	0.191	0.251	0.337
7	Ty		0.120	0.079	0.072	0.095	0.130	0.186
8	Tz		0.599	0.563	0.541	0.495	0.450	0.476
9	T		0.914	0.792	0.761	0.781	0.831	0.999

TABELA II / 3 Obliczenie czasu pogłosu w funkcji częstotliwości
Wersja (V= 2600,0 m3) **FUNKCJA WYKŁADOWA – 2/3 ZAPEŁNIENIA**

Alp		Si	125	250	500	1000	2000	4000
1	Sx	438.30	81.086	102.176	103.788	83.017	64.798	49.150
	Sy	284.00	55.445	79.858	86.414	67.686	51.408	37.099
	Sz	1416.45	281.315	298.841	310.916	334.712	376.576	360.511
2a	alfax		0.185	0.233	0.237	0.189	0.148	0.112
2b	alfa'x		0.205	0.265	0.270	0.210	0.160	0.119
3a	alfay		0.195	0.281	0.304	0.238	0.181	0.131
3b	alfa'y		0.217	0.330	0.363	0.272	0.200	0.140
4a	alfaz		0.199	0.211	0.220	0.236	0.266	0.255
4b	alfa'z		0.221	0.237	0.248	0.270	0.309	0.294
5	S	2138.75						
6	Tx		0.196	0.151	0.148	0.191	0.251	0.337
7	Ty		0.120	0.079	0.072	0.095	0.130	0.186
8	Tz		0.585	0.547	0.523	0.481	0.419	0.441
9	T		0.901	0.777	0.743	0.767	0.800	0.964

TABELA II / 4 Obliczenie czasu pogłosu w funkcji częstotliwości
Wersja (V= 2600,0 m3) **FUNKCJA WYKŁADOWA - SALA PEŁNA**

Alp		Si	125	250	500	1000	2000	4000
1	Sx	438.30	81.086	102.176	103.788	83.017	64.798	49.150
	Sy	284.00	55.445	79.858	86.414	67.686	51.408	37.099
	Sz	1416.45	288.155	307.961	322.316	344.971	403.935	389.011
2a	alfax		0.185	0.233	0.237	0.189	0.148	0.112
2b	alfa'x		0.205	0.265	0.270	0.210	0.160	0.119
3a	alfay		0.195	0.281	0.304	0.238	0.181	0.131
3b	alfa'y		0.217	0.330	0.363	0.272	0.200	0.140
4a	alfaz		0.203	0.217	0.228	0.244	0.285	0.275
4b	alfa'z		0.227	0.245	0.258	0.279	0.336	0.321
5	S	2138.75						
6	Tx		0.196	0.151	0.148	0.191	0.251	0.337
7	Ty		0.120	0.079	0.072	0.095	0.130	0.186
8	Tz		0.570	0.529	0.502	0.464	0.386	0.404
9	T		0.886	0.759	0.722	0.751	0.767	0.927

Opracowanie : mgr inż. arch. Jan Rączy
MP-0915 - SARP – OISTAT , BPP.Upr.302/83

