

Spis treści

1. PRZEDMIOT I ZAKRES OPRACOWANIA.....	3
2. Charakterystyka obiektu.....	3
3. PODSTAWA OPRACOWANIA.....	3
2.1. Formalna.....	3
2.2. Merytoryczna.....	4
4. WYMAGANIA.....	4
4.1. Ochrona przeciwdźwiękowa w pomieszczeniach – wymagania	4
4.1.1. Dopuszczalne zakłócenia akustyczne dla sali szkoleniowej.....	4
4.1.2. Izolacyjność akustyczna przegród.....	6
4.2. Dopuszczalne zakłócenia akustyczne w środowisku – wymagania	7
4.3. Akustyka wnętrz – wymagania projektowe.....	8
4.3.1. Sala szkoleniowa na 128 osób	8
4.3.2. Sala szkoleniowa na 63 osoby	8
5. ROZWIĄZANIA.....	9
5.1. Ochrona przeciwdźwiękowa – rozwiązania projektowe.....	9
5.1.1. Sala szkoleniowa	9
5.2. Akustyka wnętrz	9
5.2.1. Analiza warunków pogłosowych – model akustyczny.....	9
5.2.2. Sala szkoleniowa	11
5.2.3. Sala szkoleniowa na 128 osób – symulacje akustyczne	14
5.2.4. Sala szkoleniowa na 63 osoby – symulacje akustyczne	17
5.2.5. Symulacje akustyczne – wnioski	20

1. PRZEDMIOT I ZAKRES OPRACOWANIA

Celem opracowania jest zapewnienie odpowiednich parametrów akustycznych sali szkoleniowej.

Dopuszcza się zamianę zaprojektowanych materiałów oraz wyposażenia pod warunkiem utrzymania parametrów użytkowych proponowanych rozwiązań.

Opracowanie zawiera:

- Określenie wymagań dotyczących
 - Ochrony przeciwdźwiękowej w zakresie:
 - Dopuszczalnych zakłóceń akustycznych w obiekcie
 - Wymaganych wartości wskaźników ważonych izolacyjności akustycznej właściwej
 - Ochrony środowiska w zakresie ochrony terenów przyległych do inwestycji
 - Akustyki wewnątrz sali szkoleniowej:
 - Wymaganych wartości czasu pogłosu
 - Wymaganych wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI
 - Ukształtowania wnętrza sali
- Przyjęcie rozwiązań i ustaleń dotyczących
 - Ochrony przeciwdźwiękowej w zakresie:
 - eliminacji zakłóceń akustycznych w obiekcie
 - określenia wskaźników ważonych izolacyjności akustycznej właściwej w części projektowanej
 - Akustyki wnętrza Sali szkoleniowej w zakresie:
 - wymaganych wartości czasu pogłosu
 - wymaganych wartości wskaźnika zrozumiałości mowy STI
 - ukształtowania wnętrza sali
 - wykończenia ścian sali

2. Charakterystyka obiektu

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowodziowej im. Józefa Tuliszkowskiego wyposażone będzie w salę szkoleniową przeznaczoną dla 128 osób. W razie potrzeby sala będzie dzielona za pomocą systemowej ściany działowej mobilnej na 2 mniejsze na 63 osoby każda.

3. PODSTAWA OPRACOWANIA

2.1. Formalna

- Umowa z Inwestorem.

2.2. Merytoryczna

- [1] Podkłady architektoniczne,
- [2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 roku w sprawie wartości dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. Nr 120, poz.826),
- [3] PN-87/B-02151/02 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach,
- [4] PN-B-02151-3:1999 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych,
- [5] Kucharski R. J. i in., Obliczeniowe metody oceny klimatu akustycznego w środowisku, Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1988,
- [6] PN-EN ISO 717-1:1999, Akustyka. Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych. Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych,
- [7] EN 12354-1 Building Acoustics. Estimation of acoustic performance from the performance of products. Part 1: Airborne sound insulation between rooms. CEN, February 1997,
- [8] Maekawa Z., Lord P., Environmental and architectural acoustics, E&FN SPON London 1993,
- [9] W. Fasold, E. Sonntag, H. Winkler, Bau-und Raumakustik, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1987,
- [10] L.L. Beranek, Noise and Vibration Control, Inst. Noise Contr. Eng., Washington 1988,
- [11] Knudsen V., Harris C., Acoustical designing in architecture John Wiley & sons, INC Londyn 1950.
- [12] Konsultacje z Inwestorem.

4. WYMAGANIA

4.1. Ochrona przeciwdźwiękowa w pomieszczeniach – wymagania

4.1.1. Dopuszczalne zakłócenia akustyczne dla sali szkoleniowej

Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku A obowiązują przy następujących warunkach:

- Źródłem hałasu są instalacje nieregulowane i niewyłączane z danego pomieszczenia.
- Dopuszczalny poziom dźwięku A jest określony dla wnętrza pomieszczenia przy zamkniętych drzwiach i oknach, lecz przy zapewnieniu wymiany powietrza w

PROJEKT WYKONAWCZY - AKUSTYKA

**CENTRUM NAUKOWO-BADAWCZE OCHRONY PRZECIWPOŻAROWEJ IM. JÓZEFA TULISZKOWSKIEGO
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**

SOUND&SPACE Robert Lebiada, ul. Biegańskiego 61a, 60-682 Poznań

pomieszczeniu zgodnie z wymaganiem określonym przez odrębne przepisy.

- Dopuszczalny poziom dźwięku A dotyczy pomieszczeń umeblowanych i wyposażonych zgodnie z ich przeznaczeniem.

Dopuszczalny poziom dźwięku A hałasu instalacyjnego przenikającego do pomieszczeń chronionych dotyczy:

- Średniego poziomu dźwięku A dla hałasu ustalonego (hałas pochodzący od instalacji c.o., wentylacyjnej, stacji transformatorowej),
- Równoważnego i maksymalnego poziomu dźwięku A dla hałasu nieustalonego (hałas pochodzący od urządzeń dźwigowych, instalacji wodno-kanalizacyjnej)

Jeżeli pomieszczenia, dla których podano w tabelach dopuszczalne poziomy dźwięku tylko dla okresu dziennego są użytkowane również w nocy zgodnie ze swym przeznaczeniem, wówczas wymagania dla tych pomieszczeń należy traktować jako niezależne od pory doby przyjmując wartości jak dla dnia.

Tło akustyczne dotyczy sumarycznego średniego poziomu ciśnienia akustycznego dźwięków zakłócających w pomieszczeniu, niezależnie od źródeł dźwięku i dróg ich przenikania do pomieszczenia.

Tabela 1 Dopuszczalny poziom dźwięku A w pomieszczeniach przeznaczonych do przebywania ludzi zgodnie z normą PN-87/B-02151/02

Lp.	Przeznaczenie pomieszczenia	Dopuszczalny równoważny poziom dźwięku A hałasu przenikającego do pomieszczenia od wszystkich źródeł hałasu łącznie L_{Aeq} , dB	Dopuszczalny poziom dźwięku A hałasu przenikającego do pomieszczenia od wyposażenia technicznego budynku oraz innych urządzeń w budynku i poza budynkiem	
			Średni poziom dźwięku A, (L_{Am}) (przy hałasie ustalonym) lub równoważny poziom dźwięku A (L_{Aeq}) (przy hałasie nieustalonym), dB	Maksymalny poziom dźwięku A, (L_{Amax}), (przy hałasie nieustalonym), DB
1	Sale wykładowe, audytoria, sale konferencyjne	40	35	40

Dopuszczalny poziom dźwięku w sali szkoleniowej należy przyjąć jak dla sal wykładowych (wartości określone w normie przedstawiono w powyższej tabeli).

4.1.2. Izolacyjność akustyczna przegród

Ważone wskaźniki izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej R'_{A1} przegrody w budynku nie mogą być mniejsze od podanych w tabeli 2.

Wymagania dotyczące przenoszenia dźwięku przez przegrody pomiędzy salami są określane jako zalecana izolacyjność akustyczna lub zalecane tłumienie dźwięku pomiędzy pomieszczeniami (przedstawiono w tabeli 2.).

Dla sal szkoleniowych przyjmowane są wartości wynikające z konieczności zachowania maksymalnych poziomów hałasu wewnątrz pomieszczenia przy uwzględnieniu sąsiedztwa pomieszczeń z ustalonym maksymalnym lub użytkowym poziomem hałasu.

Tabela 2 Izolacyjność akustyczna przegród w budynkach oraz izolacyjność akustyczna elementów budowlanych na podstawie normy [4]

Funkcje pomieszczeń rozdzielonych przegrodą		Wymagane wartości wskaźników w dB			
		Stropy		Ściany bez drzwi	Drzwi
		R'_{A1} lub $D_{nT,A1}$ Min	$L'_{n,w}$ max	R'_{A1} lub $D_{nT,A1}$ min	R'_{A1} Min
Sala szkoleniowa	Sala szkoleniowa	50	63	45	-
	Pom. tłumaczy	-	-	45	35
	Korytarz, foyer, hol wejściowy	1	2	40	30
	Śluza akustyczna	-	-	40	27

Oznaczenia i pojęcia występujące w tabelach 2 definiuje norma PN-B-02151-3:1999.

R'_w – ważony wskaźnik przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej

C – widmowy wskaźnik adaptacyjny

C_{tr} – widmowy wskaźnik adaptacyjny

$D_{nT,w}$ – ważony wskaźnik wzorcowej różnicy poziomów

$R'_{A1} = R'_w + C$: wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej wg PN-EN ISO 717-1, stosuje się do przenoszenia dźwięków powietrznych przez ściany wewnętrzne i stropy oraz okna i drzwi wewnętrzne.

$D_{nT,A1} = D_{nT,w} + C$: wskaźnik oceny wzorcowej różnicy poziomów wg PN-EN ISO 717-1, stosuje się do przenoszenia dźwięków powietrznych przez ściany wewnętrzne i stropy, wskaźnik ten przyjmuje się w tych przypadkach, gdy przylegające pomieszczenia są w stosunku do siebie przesunięte tak, że wspólna część przegrody stanowi tylko fragment stropu lub pomieszczenia lub jeżeli powierzchnia wspólnej części przegrody jest mniejsza od 10 m².

¹ Wymagania należy ustalić indywidualnie

² Wymagania należy ustalić indywidualnie

$L'_{n,w}$ – wskaźnik ważony poziomemu uderzeniowemu znormalizowanego przybliżonego wg PN-EN ISO 717-2, stosuje się do przenoszenia dźwięków uderzeniowych przez stropy.

R'_{A2} – wskaźnik oceny izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej wg PN-EN ISO 717-1, stosuje się do przenoszenia dźwięków powietrznych przez ściany zewnętrzne, stropodachy bez okien lub z oknami oraz okna w przegrodzie zewnętrznej.

Miarodajny poziom dźwięku A hałasu zewnętrznego, uzależniony od rodzaju źródła hałasu zewnętrznego, określa się na podstawie pomiarów w odległości 2 m od fasady budynku, lub ustala obliczeniowo. Z uwagi na pomijalny hałas lotniczy jako miarodajny poziom dźwięku A hałasu zewnętrznego pochodzącego ze wszystkich źródeł, należy przyjmować:

- a) dla pory dziennej – równoważny poziom dźwięku A określony dla ośmiu kolejnych najniekorzystniejszych godzin między 6⁰⁰ a 22⁰⁰,
- b) dla pory nocnej – równoważny poziom dźwięku A określony dla jednej najniekorzystniejszej godziny między 22⁰⁰ a 6⁰⁰.

4.2. Dopuszczalne zakłócenia akustyczne w środowisku – wymagania

Wartości dopuszczalne hałasu regulowane są poprzez Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 17 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. Nr 120, poz.826) – Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez poszczególne grupy źródeł hałasu – z wyłączeniem hałasu powodowanego przez linie elektroenergetyczne oraz starty, lądowania i przeloty statków powietrznych.

Tabela 3. Dopuszczalne poziomy dźwięku generowane przez inwestycje

L.p.	Przeznaczenie terenu	Pora dnia przedział czasu odniesienia równy 8 najmniej korzystnym godzinom dnia	Pora nocy przedział czasu odniesienia równy 1 najmniej korzystnej godzinie nocy
1	Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej Tereny zabudowy związanej ze stałym lub wielogodzinnym pobytem dzieci i młodzieży Tereny szpitali w miastach Tereny domów opieki	50	40
2	Tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej z usługami rzemieślniczymi. Tereny zabudowy zagrodowej. Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe poza miastem	55	45

4.3. Akustyka wnętrz – wymagania projektowe

4.3.1. Sala szkoleniowa na 128 osób

Sala szkoleniowa jest przeznaczona dla ok. 128 osób.

Celem niniejszego opracowania jest poprawienie parametrów akustycznych sali ze szczególnym uwzględnieniem dostosowania jej do użycia systemu elektroakustycznego.

Zakłada się osiągnięcie następujących parametrów akustycznych dla projektowanej Sali szkoleniowej:

Nazwa parametru, jednostka	Zalecana wartość
Stosunek sygnał-szum (S/N) [dB]	80 ÷ 95
STI	> 0,6
Średni czas pogłosu [s]	0,5 s
Nierównomierność nagłośnienia	± 5dB
Siła dźwięku	> 0

4.3.2. Sala szkoleniowa na 63 osoby

Sala szkoleniowa jest przeznaczona dla ok. 63 osób.

Celem niniejszego opracowania jest poprawienie parametrów akustycznych sali ze szczególnym uwzględnieniem dostosowania jej do użycia systemu elektroakustycznego.

Zakłada się osiągnięcie następujących parametrów akustycznych dla projektowanej Sali szkoleniowej:

Nazwa parametru, jednostka	Zalecana wartość
Stosunek sygnał-szum (S/N) [dB]	80 ÷ 95
STI	> 0,6
Średni czas pogłosu [s]	0,4 s
Nierównomierność nagłośnienia	± 5dB
Siła dźwięku	> 0

5. ROZWIĄZANIA

5.1. Ochrona przeciwdźwiękowa – rozwiązania projektowe

5.1.1. Sala szkoleniowa

System ochrony przeciwdźwiękowej sali szkoleniowej bazuje na dużej masie przegród budowlanych istniejących. Przegrody masywne sali zapewniają uzyskanie wymaganej izolacyjności akustycznej przy zachowaniu podstawowych zasad ochrony dźwiękowej.

Przebiecia instalacyjne przez ściany obwodowe sali powinny być przeprowadzone z zachowaniem zasad ochrony dźwiękowej. Każdorazowe naruszenie ciągłości izolacyjności akustycznej wymaga omówienia z akustykiem sposobu uszczelnienia.

Strop nad salą zaprojektowano jako strop żelbetowy grubości 30 cm. Taki strop spełni wymagania odnośnie izolacyjności akustycznej.

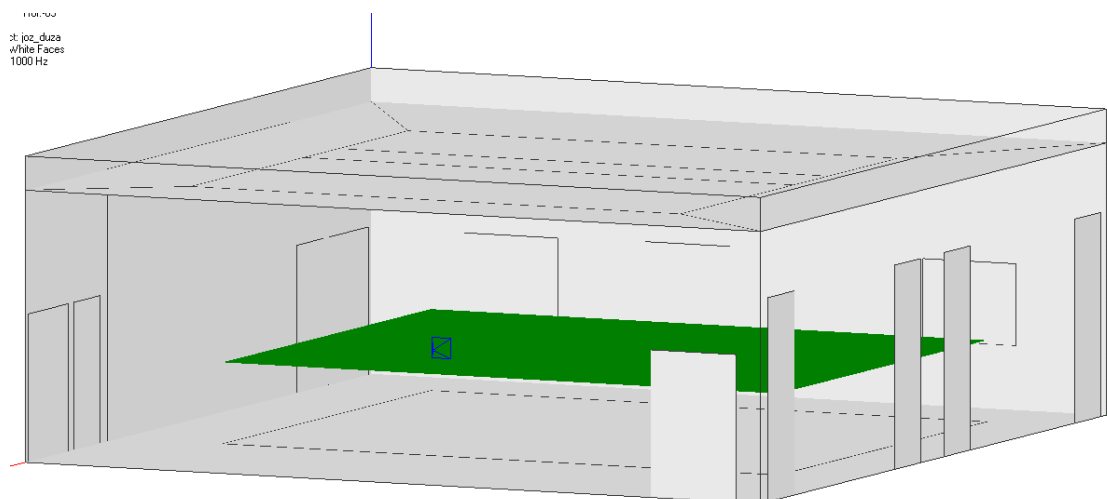
Drzwi do sali oraz okna do pomieszczeń tłumaczy powinny charakteryzować się izolacyjnością akustyczną określoną w tabeli 2.

Należy wykonać ścianę przesuwną rozdzielającą salę szkoleniową na dwie mniejsze o izolacyjności akustycznej $R_w = 50$ dB np. ściana mobilna systemu VIELE o izolacyjności akustycznej $R_w = 50$ dB z wykonaniem przegrody dźwiękoszczelnej pomiędzy torem a stropem.

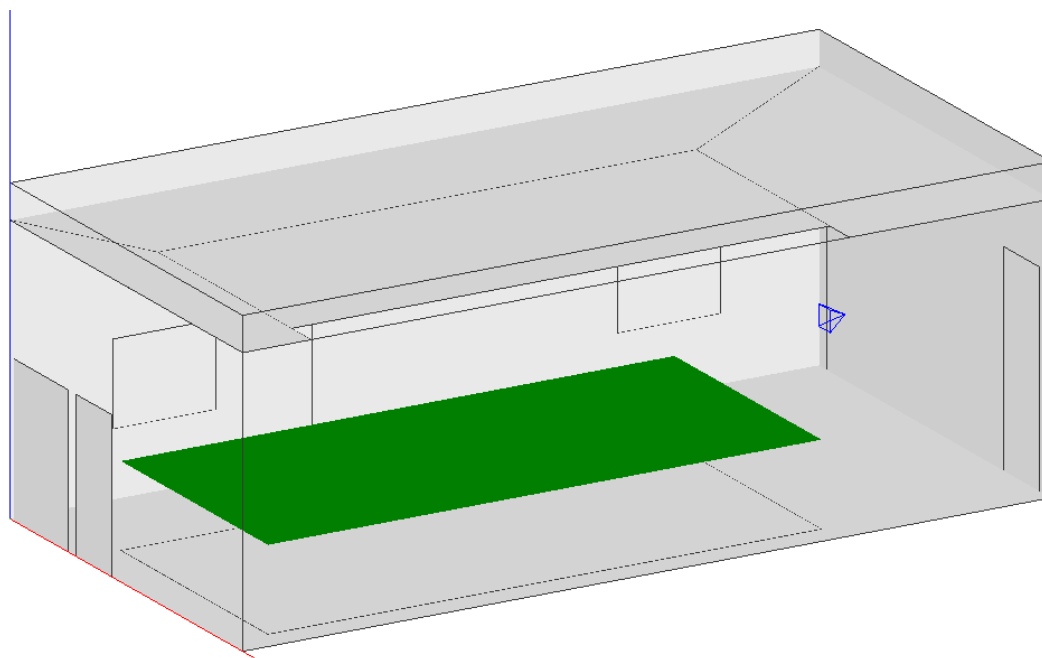
5.2. Akustyka wewnątrz

5.2.1. Analiza warunków pogłosowych – model akustyczny

W celu analizy proponowanych rozwiązań adaptacji akustycznej sali opracowano numeryczny model jej wnętrza. Model odzwierciedla bryłę pomieszczenia z opisanymi parametrycznie materiałami dźwiękochłonnymi zaprojektowanymi we wnętrzu.



Rysunek 1 Trójwymiarowy model sali szkoleniowej na 128 osób wykonany w programie EASE



Rysunek 2 Trójwymiarowy model sali szkoleniowej na 63 osoby wykonany w programie EASE

Analiza wyników

Analiza warunków akustycznych projektu została dokonana dla częstotliwości tercjowych w zakresie 100 do 10000 Hz. Pogłosowe współczynniki pochłaniania dźwięku dobrane na podstawie katalogów producenta ustrojów akustycznych, danych literaturowych lub skorzystano z biblioteki programu Ease 4.1. Symulacje akustyczne zostały przeprowadzone dla 1 źródła o charakterystyce wszechkierunkowej i poziomie mocy akustycznej głosu ludzkiego, umieszczonego w miejscu potencjalnego mówcy.

PROJEKT WYKONAWCZY - AKUSTYKA

**CENTRUM NAUKOWO-BADAWCZE OCHRONY PRZECIWPOŻAROWEJ IM. JÓZEFA TULISZKOWSKIEGO
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**

SOUND&SPACE Robert Lebioda, ul. Biegańskiego 61a, 60-682 Poznań

5.2.2. Sala szkoleniowa

Na podstawie symulacji akustycznych dobrano i ustalono rozmieszczenie ustrojów akustycznych zapewniających spełnienie warunków określonych w punkcie 4.3. W celu uzyskania zamierzonych parametrów akustycznych w sali projektuje się:

Podłoga

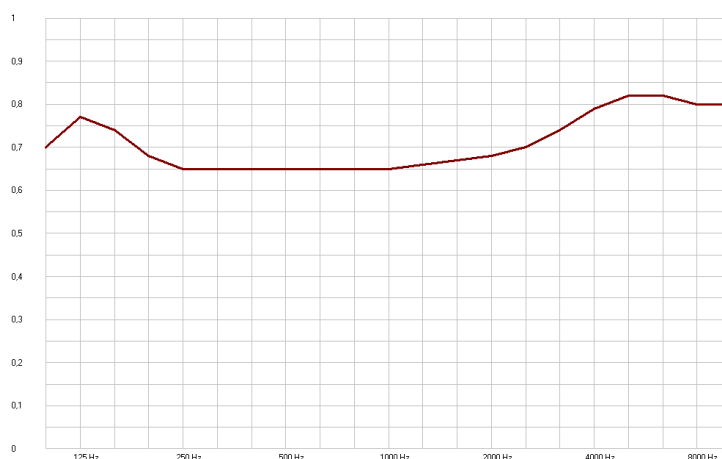
Na podłodze wykładzina dywanowa.

Fotele

Krzesła istniejące tapicerowane typu konferencyjnego.

Ściana przednia (za katedrą)

Na ścianie przedniej projektuje się ustroje akustyczne rezonansowo-porowate o gęstości minimum 140 kg/m^3 i grubości 5 cm z pustką powietrzną 4 cm np. Wallton. Ustrój z napiętą tkaniną tekstylną na bazie Trevira CS o gramaturze około 340 g/m^2 i rezystancji akustycznej około 2500 Ns/m^3 należy wykonać na podkonstrukcji systemowej. Grubość całkowita ustroju akustycznego wynosi 10 cm . Wymagana charakterystyka pochłaniania systemu przedstawiona jest na poniższym wykresie:



Rysunek 3 Charakterystyka pochłaniania ustroju na ścianie za katedrą

Ściany boczne

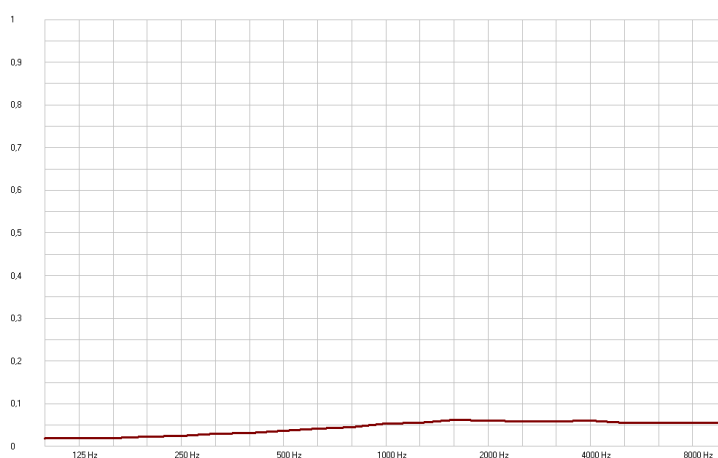
W celu utrzymania odpowiedniego poziomu dźwięku niekorzystającego ze wzmocnienia elektroakustycznego ścianę boczną z oknami projektuje się jako odbijającą w całym zakresie częstotliwości np. tynkowaną.

Na przeciwległej ścianie bocznej projektuje się ustroje akustyczne rezonansowo-porowate o gęstości minimum 140 kg/m^3 i grubości 5 cm z pustką powietrzną 4 cm np. Wallton. Ustrój z napiętą tkaniną tekstylną na bazie Trevira CS o gramaturze około 340 g/m^2 i rezystancji akustycznej około 2500 Ns/m^3 należy wykonać na

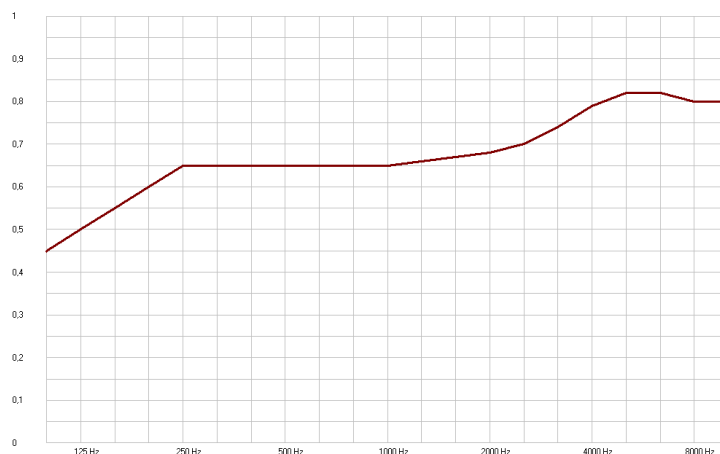
podkonstrukcji systemowej. Grubość całkowita ustroju akustycznego wynosi 10 cm. Wymagana charakterystyka pochłaniania systemu przedstawiona jest na rysunku 3. W trakcie wykorzystywania sali na 128 osób ustroje akustyczne naścienne w części środkowej zastąpione będą ścianką mobilną wykonaną z materiału odbijającego dźwięk. W ten sposób obie ściany boczne będą odbijające. W sytuacji, kiedy sala będzie podzielona na 2 mniejsze, ustroje akustyczne pochłaniające dźwięk zostaną odkryte, stanowiąc okładziny tylnych ścian sal.

Sufit

Nad środkową częścią sali wykonany zostanie sufit z napiętej tkaniny tekstylnej o gramaturze około 260 g/m² i rezystancji akustycznej około 20 Ns/m³ np. system Wallton. Dookoła sali sufit wykonany zostanie z napiętej tkaniny tekstylnej o gramaturze około 260 g/m² i rezystancji akustycznej około 20 Ns/m³ z dodatkową warstwą 5 cm pochłaniającą dźwięk za tkaniną np. system Wallton. W ten sposób pod względem wizualnym sufit będzie tworzył jedną całość, natomiast pod względem akustycznym zostanie podzielony na część pochłaniającą dźwięk (dookoła sali) oraz część niepochlaniającą dźwięk (środek sali). Wymagana charakterystyka pochłaniania systemów przedstawiona jest na rysunkach 4 i 5. Podział sufitu na część pochłaniającą i niepochlaniającą przedstawiono w załączniku 1.



Rysunek 4 Charakterystyka pochłaniania środkowej części sufitu

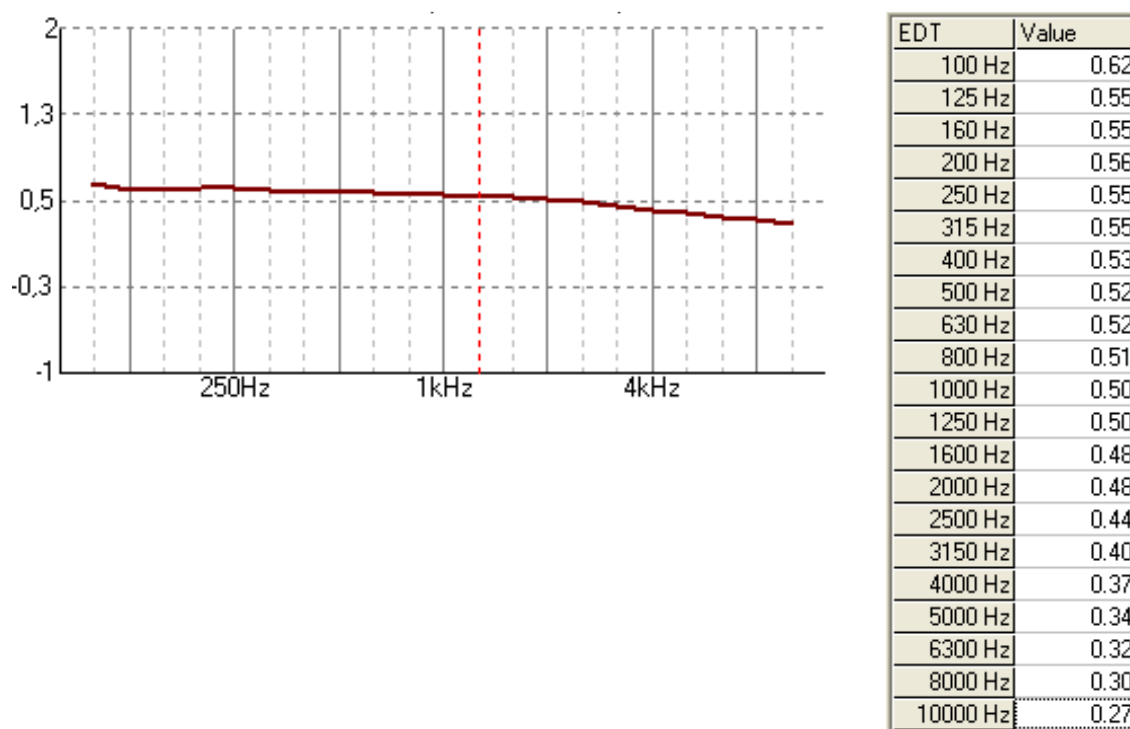


Rysunek 5 Charakterystyka pochłaniania części sufitu dookoła sali

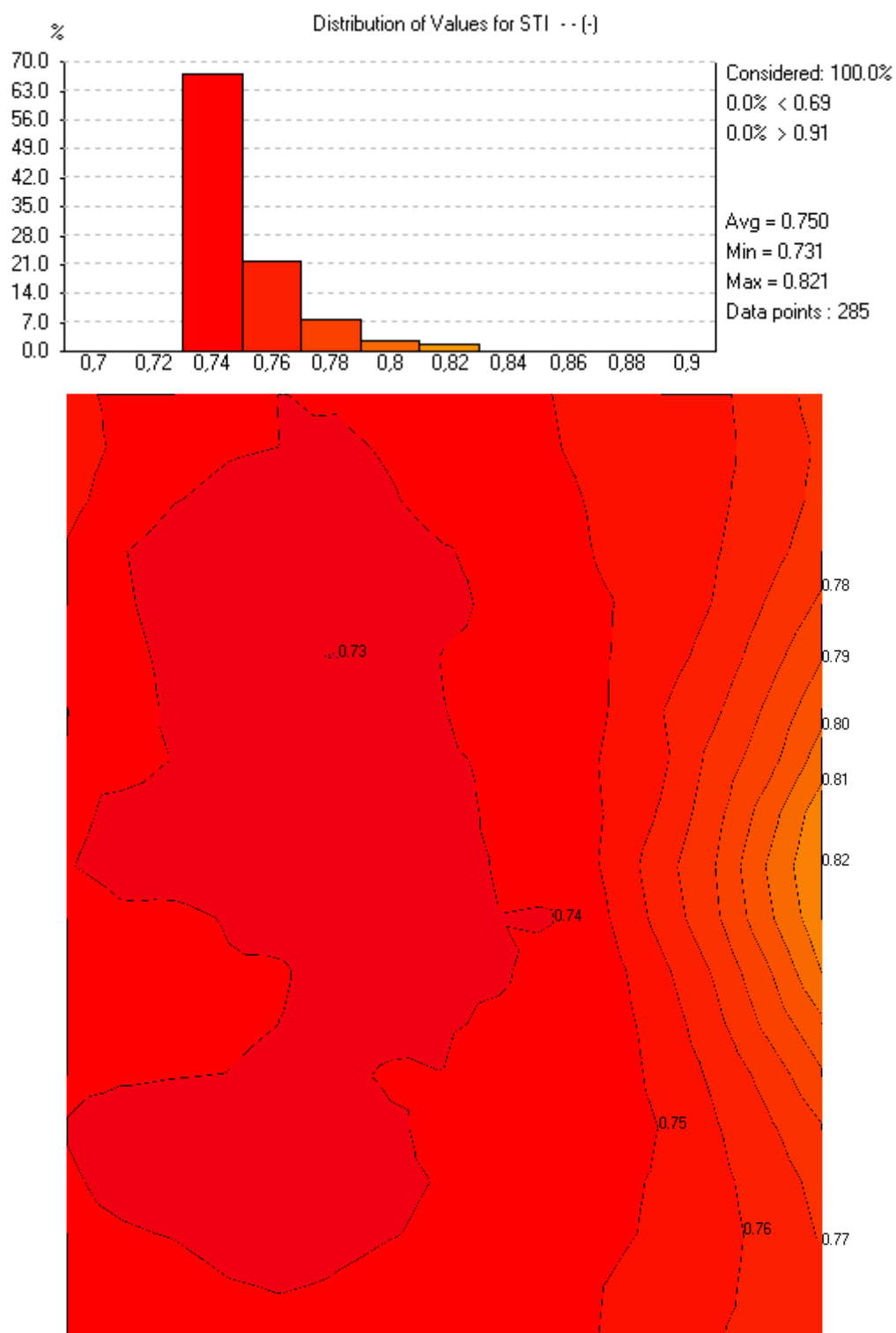
Ściana tylna

W celu uniknięcia późnych odbić i powrotu energii dźwiękowej do mówcy na ścianie tylnej (za widownią) projektuje się ustroje akustyczne rezonansowo-porowate o gęstości minimum 140 kg/m³ i grubości 5 cm z pustką powietrzną 4 cm np. Wallton. Ustrój z napiętą tkaniną tekstylną na bazie Trevira CS o gramaturze około 340 g/m² i rezystancji akustycznej około 2500 Ns/m³ należy wykonać na podkonstrukcji systemowej. Grubość całkowita ustroju akustycznego wynosi 10 cm. Wymagana charakterystyka pochłaniania systemu przedstawiona jest na rysunku 3.

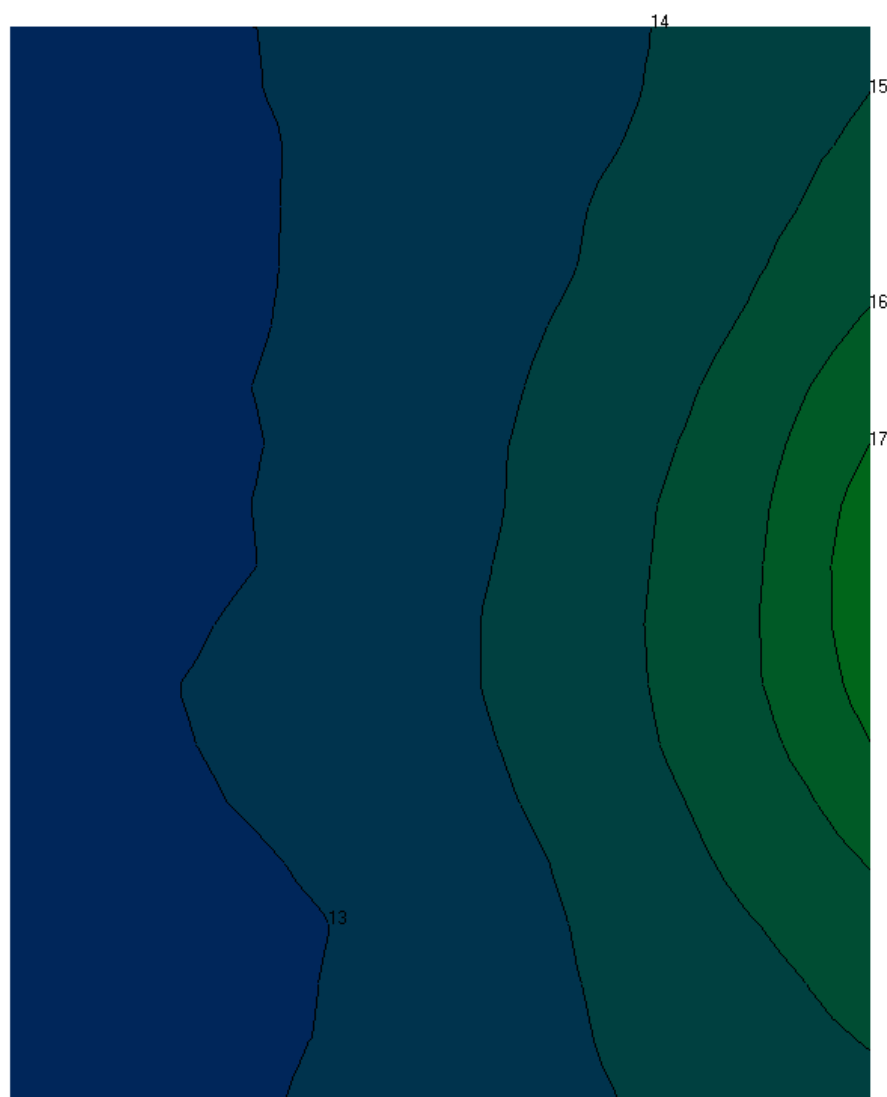
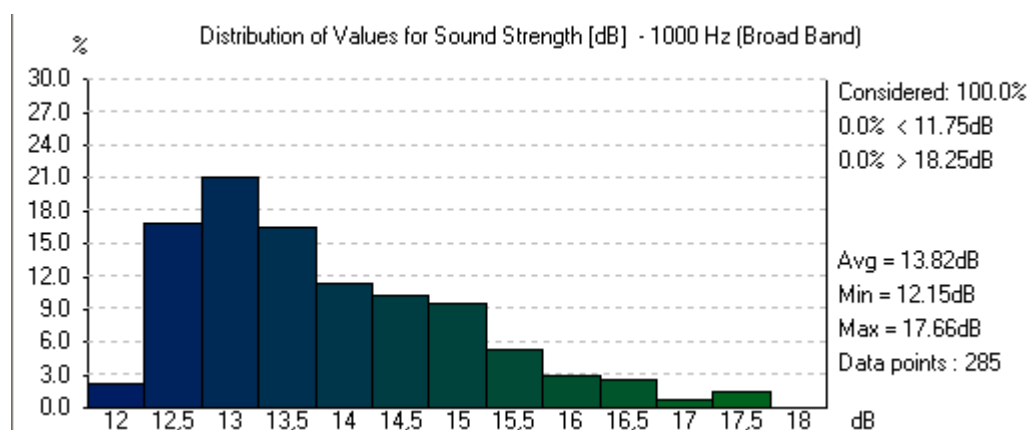
5.2.3. Sala szkoleniowa na 128 osób – symulacje akustyczne



Rysunek 6 Projektowana charakterystyka czasu pogłosu Sali szkoleniowej na 128 osób

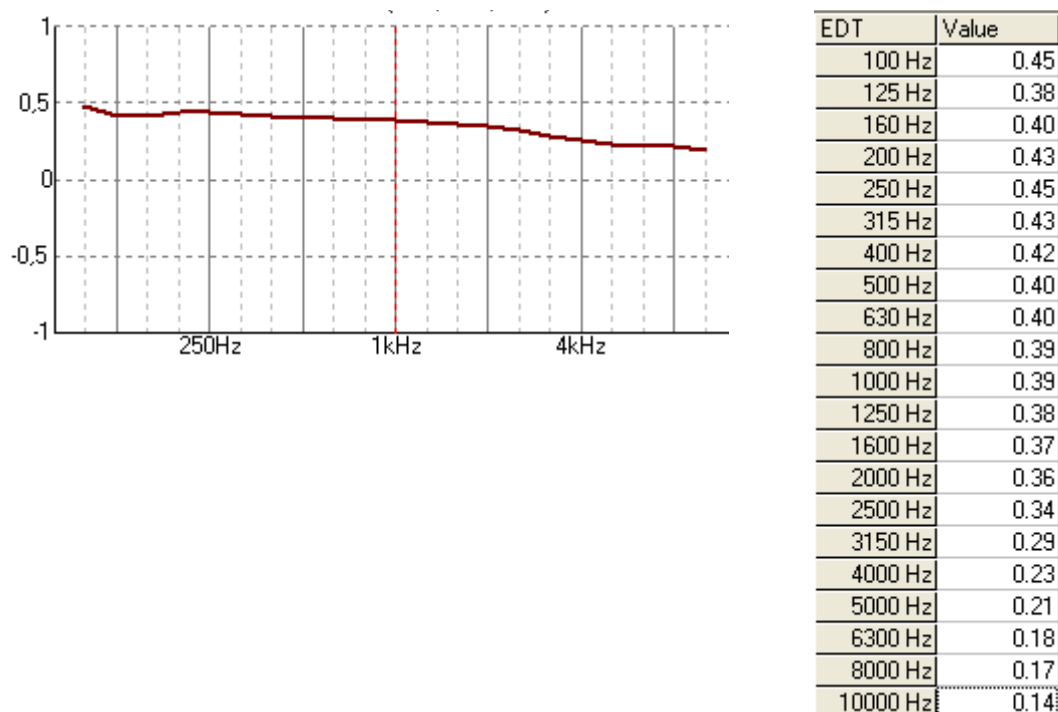


Rysunek 2 Rozkład przestrzenny wraz z dystrybucją wskaźnika zrozumiałości mowy (STI)

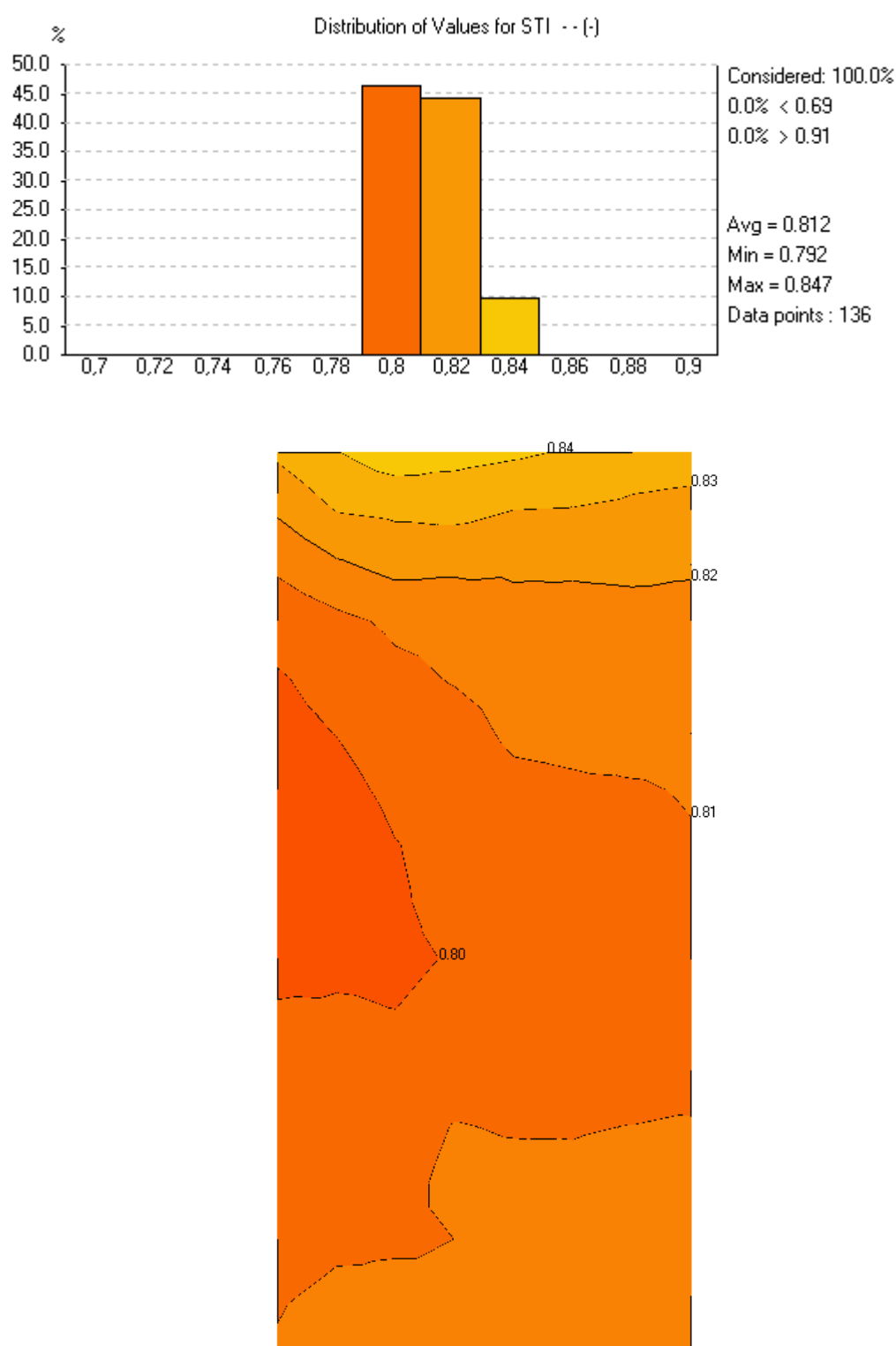


Rysunek 3 Rozkład przestrzenny wraz z dystrybucją wskaźnika siły dźwięku

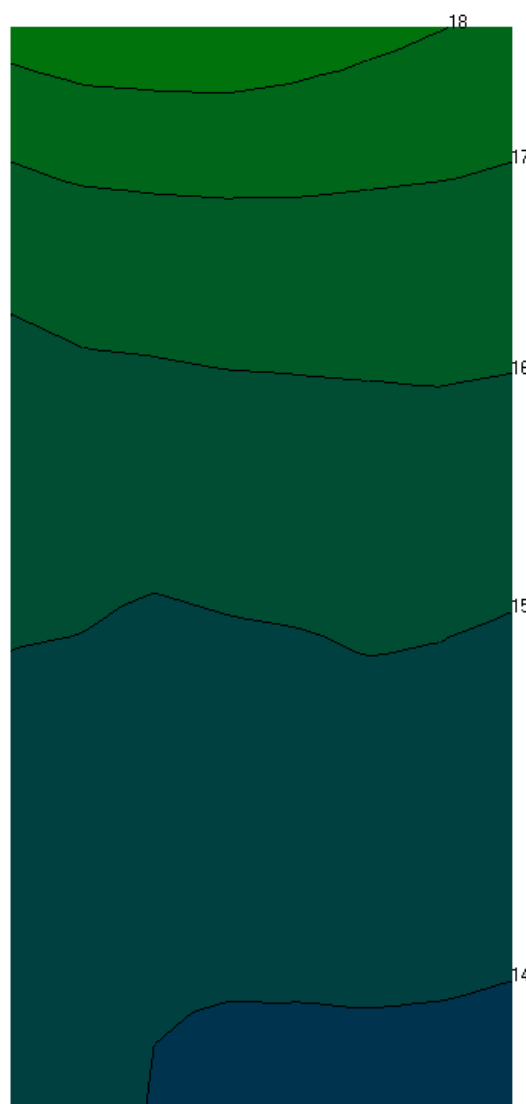
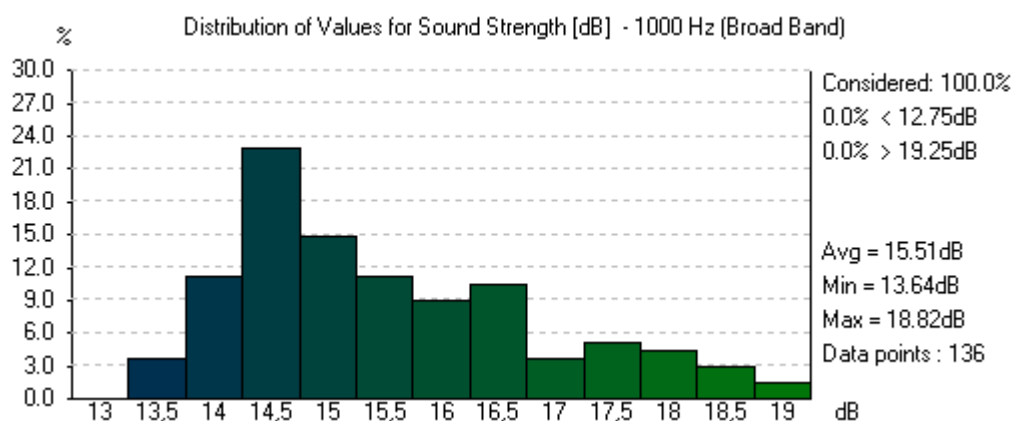
5.2.4. Sala szkoleniowa na 63 osoby – symulacje akustyczne



Rysunek 9 Projektowana charakterystyka czasu pogłosu Sali szkoleniowej na 63 osoby



Rysunek 10 Rozkład przestrzenny wraz z dystrybucją wskaźnika zrozumiałości mowy (STI)



Rysunek 11 Rozkład przestrzenny wraz z dystrybucją wskaźnika siły dźwięku

5.2.5. Symulacje akustyczne – wnioski

Osiągnięto zakładany czas pogłosu i odpowiednią równomierność jego charakterystyki częstotliwościowej.

Minimalna wartość wskaźnika zrozumiałości mowy STI to 0,74 dla Sali na 128 osób i 0,8 dla Sali na 63 osoby, co spełnia założenia projektowe ($STI > 0,6$).

Siła dźwięku zawiera się w przedziale 12-17,5 dB dla sali na 128 osób oraz 13,5-19 dB dla sali na 63 osoby. Oznacza to odpowiednie wzmocnienie dźwięku naturalnego w porównaniu do warunków pola swobodnego (przestrzeń otwarta).