

*XIV Seminarium*  
**ZASTOSOWANIE KOMPUTERÓW W NAUCE I TECHNICIE' 2004**  
Oddział Gdański PTETiS

**PROJEKT SYSTEMU NAGŁOŚNIOWEGO  
Z WYKORZYSTANIEM OPROGRAMOWANIA CATT-Acoustic**

**Paweł WACHUŁKA**

Katedra Systemów Multimedialnych, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki,  
Politechnika Gdańska, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-952 Gdańsk  
tel.: (058) 3471301, fax: 3471114, e-mail: [pwach@sound.eti.pg.gda.pl](mailto:pwach@sound.eti.pg.gda.pl)

W niniejszej pracy zawarto projekt modelu akustycznego sali audytornej oraz weryfikację charakterystyk pola akustycznego tego modelu w oparciu o program CATT-Acoustic. W pracy przedstawiono również projekt systemu nagłośnienia modelowanej sali audytornej, który z punktu widzenia właściwości akustycznych powinien zapewnić jak najlepszą zrozumiałość mowy. Dokonano analizy porównawczej pola akustycznego bez oraz z zaimplementowanym systemem nagłośnieniowym, a także podano wnioski dotyczące charakterystyk pola akustycznego w modelowanej sali.

## **1. WPROWADZENIE**

Architekta i projektanta akustyki wewnątrz interesują przede wszystkim obiektywne parametry akustyczne pomieszczenia, które mogą być wykorzystane przy projektowaniu i które mają decydujący wpływ na jakość akustyczną. Istnieje wiele parametrów wyznaczanych w oparciu o charakterystykę pogłosową i odpowiedź impulsową pomieszczenia. W pracy zostaną podane tylko niektóre z nich, obliczane w programie CATT-Acoustic przeznaczonym do symulacji akustyki pomieszczeń.

Program CATT-Acoustic, opracowany przez szwedzkie Laboratorium Akustyczne (Dept. of Applied Acoustics, Chalmers University of Technology, Gothenburg), stanowi wygodne narzędzie projektowe oraz pozwala na weryfikację warunków akustycznych w istniejącym wnętrzu [1], [7]. Program ten oparty jest na języku skryptowym z możliwością importowania obiektów AutoCad i eksportowania geometrii obiektów do programu VRML 2.0. Program pozwala na auralizację dźwięku w badanym wnętrzu, a także posiada własną bibliotekę charakterystyk źródeł oraz właściwości akustycznych wielu powierzchni. CATT-Acoustic umożliwia zdefiniowanie płaszczyzn pomieszczenia za pomocą maksymalnie 5000 punktów, umieszczenie maks. 260 źródeł oraz maks. 100 odbiorników. Zakres częstotliwości obejmuje wartości od 125 Hz do 16 kHz. Obliczane parametry przedstawiane są w postaci map na płaszczyźnie.

Czas pogłosu charakteryzuje prędkość zaniku dźwięku w pomieszczeniu i jest jednym z najważniejszych parametrów uwzględnianych przy projektowaniu i ocenie właściwości akustycznych sal. Wzory *Sabine'a* [2] i *Eyringa* [3] należą do najczęściej stosowanych. Według *Sabine'a*, czas pogłosu pomieszczenia jest wprost proporcjonalny do jego objętości i odwrotnie proporcjonalny do zdolności pochłaniających jego ścian.

$$T_{60} = 0,16 \frac{V}{A} \quad [\text{s}] \quad (1)$$

gdzie:  $T_{60}$  – czas pogłosu [s] (przy spadku o 60 dB),  $V$  – objętość pomieszczenia [ $\text{m}^3$ ],  
 $A$  – chłonność akustyczna pomieszczenia [ $\text{m}^2$ ], 0,16 – stała empiryczna [m/s], (przyjmuje wartości od 0,16 - 0,164) [2].

Wzór *Sabine'a* jest wzorem klasycznym i stosuje się go do obliczeń w przypadku pomieszczeń równomiernie wytłumionych (o małej chłonności akustycznej, ze średnim współczynnikiem pochłaniania  $\alpha_{sr} < 0,2$ ).

Z kolei wzór *Eyringa* jest stosowany dla pomieszczeń silnie wytłumionych (gdzie  $\alpha_{sr} > 0,2$ ) o równomiernie rozłożonej chłonności i małym czasie pogłosu.

$$T_{60} = -0,161 \frac{V}{S \ln(1 - \alpha_{sr})} \quad [\text{s}] \quad (2)$$

przy czym średni współczynnik pochłaniania  $\alpha_{sr}$  obliczany jest ze wzoru:

$$\alpha_{sr} = \frac{\alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad (3)$$

gdzie:  $n$  – oznacza kolejne elementy w pomieszczeniu o różnych właściwościach pochłaniania dźwięku.

Czas pogłosu i odpowiedź impulsową w pomieszczeniu można również wyznaczyć przy użyciu innych wzorów, ale powyżej podane zostały wzory podstawowe, stosowane w programie CATT-Acoustic, który stanowił narzędzie do projektowania danego wnętrza.

Poziom ciśnienia akustycznego  $L_p$  (*SPL*) określa poziom pola akustycznego w danym punkcie [1].

$$L_p = SPL = 20 \cdot \ln \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

gdzie:  $p$  - wartość skuteczna ciśnienia akustycznego [Pa],  $p_0$  - wartość skuteczna ciśnienia akustycznego odniesienia równa  $2 \cdot 10^{-5}$  [Pa].

Do parametrów wyznaczanych w oparciu o odpowiedź impulsową zalicza się m.in. współczynnik klarowności (przejrzystości)  $C_{50}$  oraz wyrazistość  $D$ . Parametr  $C_{50}$  [4]

odpowiada subiektywnie odczuwanemu wrażeniu przejrzystości dźwięku, odnosi się do sygnałów mowy ( $C_{80}$  dla muzyki) i z reguły przyjmuje wartości bliskie zeru.

$$C = C_{50} = 10 \log \frac{\int_0^{50ms} p^2(t) dt}{\int_{50ms}^{\infty} p^2(t) dt} = 10 \log \frac{E_{50}}{E_{REV}} \quad [\text{dB}] \quad (5)$$

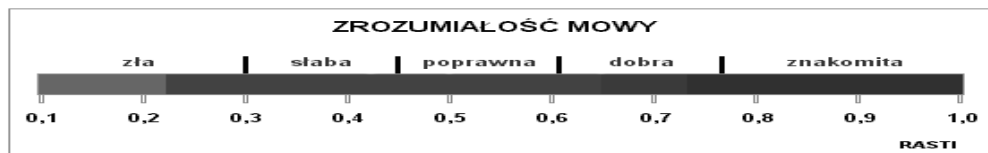
gdzie:  $E_{50}$  - energia w pierwszych 50 ms po nadejściu dźwięku bezpośredniego,  
 $E_{REV}$  - energia dźwięku odbitego (pogłos).

Im większa ilość energii fal odbitych dotrze do punktu obserwacji podczas pierwszych 50 ms, tym większa będzie wartość wyrazistości  $D$ , a słuchacz łatwiej rozróżni kolejno po sobie docierające dźwięki. Według badań przeprowadzonych przez *Niesego* [5], pomieszczenie charakteryzuje się zrozumiałością sylabową mowy większą od 85%, jeśli wyrazistość  $D > 0,5$ .

$$D_{50} = C_{def} = 10 \log \frac{\int_0^{\tau=50ms} p^2(t) dt}{\int_{0ms}^{\infty} p^2(t) dt} = 10 \log \frac{E_{50}}{E_{TOTAL}} \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

gdzie:  $E_{50}$  - energia w pierwszych 50 ms po nadejściu dźwięku bezpośredniego,  
 $E_{TOTAL}$  - energia całkowita.

Głównym parametrem mającym wpływ na zrozumiałość mowy w pomieszczeniu jest wskaźnik zrozumiałości mowy RASTI [6]. Jest to komputerowa metoda badania zrozumiałości w systemach dźwiękowych. Wskaźnik ten jest wyznaczany tylko w dwóch pasmach oktawowych skupionych odpowiednio wokół częstotliwości 500 Hz i 2 kHz. Wyrazistość mowy określa zrozumiałość wypowiedzi i jest bezpośrednio związana z czasem pogłosu i z poziomem tła akustycznego w pomieszczeniu. Wartości tego parametru mieszczą się w przedziale od 0 (najgorzej) do 1 (najlepiej). Na rysunku 1 pokazano odniesienie wartości *RASTI* w stosunku do skali subiektywnej wyrazistości mowy.



Rys. 1 Wskaźnik zrozumiałości mowy *RASTI* [1]

## 2. BADANIE POLA AKUSTYCZNEGO POMIESZCZENIA W OPARCIU O PROGRAM CATT-Acoustic

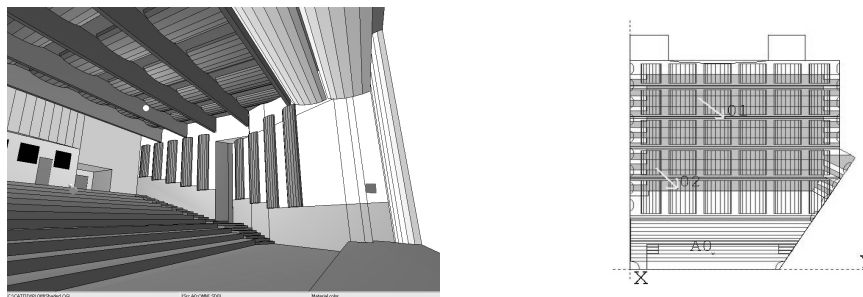
Badanym pomieszczeniem jest Audytorium „C” mieszczące się w nowym gmachu Wydziału Prawa i Administracji Uniwersytetu Gdańskiego. Objętość pomieszczenia wynosi ok. 2630 [m<sup>3</sup>], przy czym wymiary są następujące: długość – 23 [m], szerokość – 16 [m] oraz wysokość – 11 [m]. Architektura badanej sali zawiera wiele ustrojów akustycznych. Nad katedrą znajdują się dwie powierzchnie kierujące dźwięk, których zadaniem jest skierowanie energii pierwszego odbicia w odpowiednie miejsce widowni. Poza odpowiednim nachyleniem tych powierzchni, które można ustalić na podstawie analizy graficznej, niezbędne jest przyjęcie właściwych wymiarów tych powierzchni (większych przynajmniej od  $1/3 \lambda$ ) oraz wykonanie ich ze sztywnego materiału, odpornego na drgania akustyczne. W przeciwnym przypadku elementy te mogą być pobudzone do drgań i w ten sposób stać się źródłami niepożądanych zakłóceń.

Na ścianach znajdują się ustroje rozpraszające, których zadaniem jest rozproszenie energii dźwiękowej. Aby uniknąć odbić dźwięku, które mogłyby interferować z pożądanym dźwiękiem, ściany z tyłu sali wyłożone są materiałem silnie pochłaniającym. Badana sala została zaprojektowana z myślą o nagłośnieniu sufitowym i dlatego zostały dodane drewniane przegrody umieszczone na suficie, pomagające w uzyskaniu pożądanej kierunkowości dźwięku oraz elementy rozpraszające, umieszczone pomiędzy drewnianymi przegrodami, mające na celu rozpraszanie dźwięku odbitego od widowni.

Ze względu na bardzo dużą liczbę parametrów akustycznych, które zostały obliczone w programie CATT-Acoustic, przedstawione zostały jedynie parametry charakterystyczne dla wybranych częstotliwości.

### 2.1 Pole akustyczne w zamodelowanej sali bez widowni

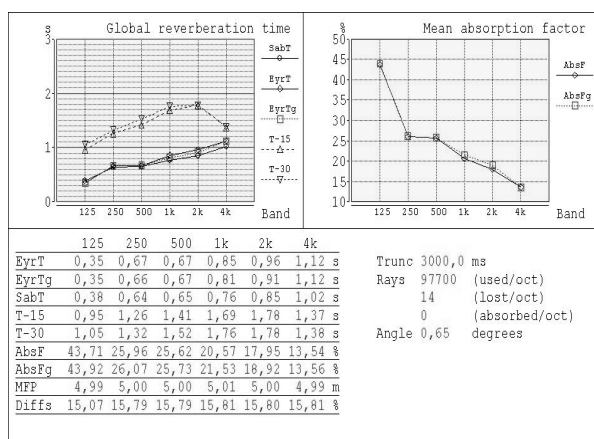
Wszystkie obliczone parametry są prezentowane za pomocą map parametrycznych. Dodatkowo zostały wybrane dwa miejsca na widowni, w których można dokładnie odczytać wszystkie obliczane parametry. Do wszelkich obliczeń wykorzystano jedno źródło akustyczne umieszczone na środku katedry. Na rysunku 2 pokazano umieszczenie dwóch punktów pomiarowych oraz źródła dźwięku oznaczonego jako A0.



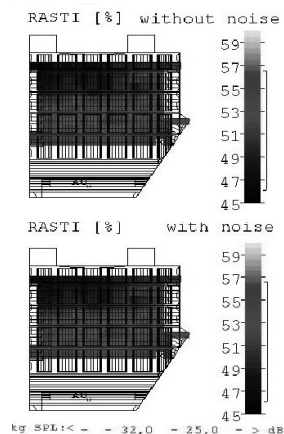
Rys. 2 Widok sali bez widowni oraz rozmieszczenie punktów pomiarowych i źródła dźwięku

Do symulacji pola akustycznego wykorzystano 97700 promieni, a czas śledzenia promienia wynosił 3 [s]. Jednym z głównych parametrów obliczanych w programie jest czas pogłosu. Program CATT-Acoustic pozwala na obliczenie czasu pogłosu według różnych wzorów

(np.  $T_{15}$ ,  $T_{30}$ ,  $T_{60}$  Sabine'a,  $T_{60}$  Eyringa). Na rysunku 3 został zilustrowany czas pogłosu obliczony różnymi metodami oraz podano średni współczynnik pochłaniania.



Rys. 3 Czas pogłosu w funkcji częstotliwości i średni współczynnik pochłaniania



Rys. 4 Mapa parametru RASTI dla sali bez widowni

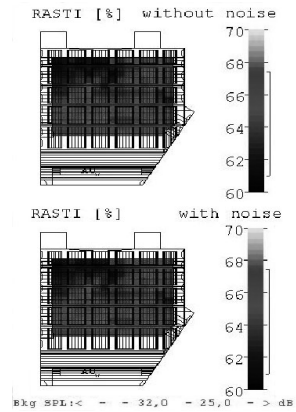
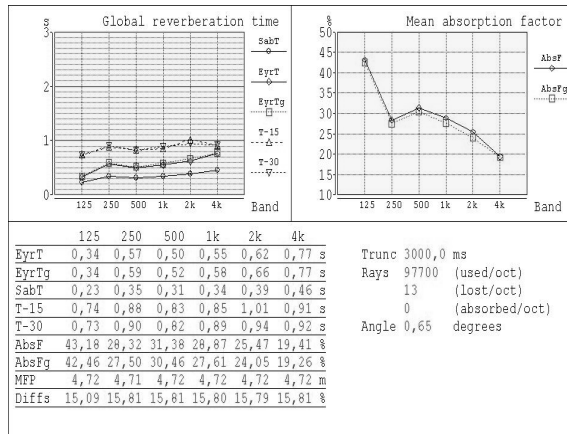
Na podstawie rysunku 3 widać, że czasy pogłosu tworzą dwie grupy, z których jedną stanowią czasy  $T_{15}$  i  $T_{30}$ , a drugą czasy liczone wg Sabine'a i Eyringa. Różnice pomiędzy obliczonymi wartościami wynikają ze specyfiki programu CATT-Acoustic. Czasy  $T$  Sabine'a,  $T$  Eyringa i  $T_g$  Eyringa liczone są w oparciu o średni współczynnik pochłaniania, który z kolei obliczany jest w oparciu o wszystkie wykorzystane płaszczyzny, co w pewnych przypadkach nie jest właściwe. Dla przykładu, jeśli wziąć pod uwagę silnie rozpraszające elementy (na pewnej częstotliwości), które są umieszczone na ścianie, to materiał ściany (mieszczącej się pod elementem rozpraszającym) i tak jest brany pod uwagę w wyznaczaniu średniego współczynnika pochłaniania. W takich przypadkach należy brać pod uwagę czasy  $T_{15}$  i  $T_{30}$ , które obliczane są z odpowiedzi impulsowej. Na rysunku 4 przedstawiono rozkład parametru RASTI dla przypadku nie uwzględniającego szumu tła oraz z zastosowaniem szumu tła. Widać, że nie ma żadnych różnic pomiędzy tymi dwoma wykresami. Można zatem wnioskować, że parametr RASTI będzie większy dla rzędów znajdujących się w przedniej części pomieszczenia i będzie stopniowo malał wraz ze wzrostem odległości od źródła dźwięku. Parametr ten waha się od 45% do 59%. Zgodnie z przyjętą oceną, sala jest przydatna do przekazu słownego w stopniu wystarczającym i zrozumiałość mowy jest poprawna (patrz rys. 1).

## 2.2 Pole akustyczne w zamodelowanej sali z pełną widownią

W programie CATT-Acoustic symulacji widowni dokonuje się poprzez umieszczenie na podłodze dodatkowych prostopadłościów o odpowiednich wymiarach i o odpowiednim współczynniku pochłaniania. Rysunek 5 ilustruje czas pogłosu w sali wypełnionej widownią.

Czas pogłosu ( $T_{30}$ ) wyraźnie zmalał, wyrównał się i oscyluje wokół 0,9 [s], co jest odpowiednią wartością czasu pogłosu dla tego rodzaju pomieszczeń. Na rysunku 6 przedstawiono mapę parametru RASTI dla sali z widownią. W tym wypadku, wartość parametru RASTI jest dosyć duża i w miarę równomiernie rozłożona po całej powierzchni

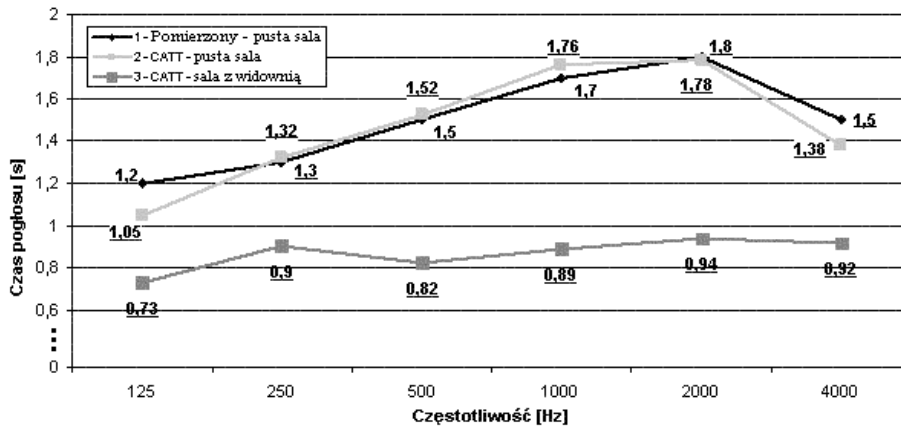
widowni. Jedynie obszar z tyłu, w lewym rogu audytorium posiada gorsze właściwości zrozumiałości mowy. *RASTI* waha się od 60% do 68%. To oznacza, że sala jest przydatna do przekazu słownego w stopniu dobrym i zrozumiałość mowy jest dobra (patrz rys. 1).



Rys. 5 Czas pogłosu w funkcji częstotliwości i średni współczynnik pochłaniania

Rys. 6 Mapa parametru RASTI dla sali z widownią

W celu weryfikacji poprawności zaprojektowanego modelu sali audytoryjnej porównano czas pogłosu obliczony przez program z czasem zmierzonym w rzeczywistym pomieszczeniu. Na rysunku 7 zestawiono ze sobą trzy przebiegi czasu pogłosu – pomierzony w rzeczywistej sali audytoryjnej oraz obliczony w programie CATT-Acoustic na zamodelowanej sali. Powyższe przebiegi dotyczą czasu pogłosu zarejestrowanego przy pustej sali. Dodatkowo zamieszczono trzeci przebieg czasu pogłosu obliczonego w



Rys. 7 Czas pogłosu obliczony w CATT-Acoustic i pomierzony w sali audytoryjnej

programie CATT-Acoustic dla sali wypełnionej widownią. Pomierzony i obliczony czas pogłosu prezentują prawie jednakowe wartości. Niewielka różnica na częstotliwości 125 Hz wynika z faktu, że program CATT-Acoustic do obliczeń wykorzystuje metodę

geometryczną i metoda ta nie sprawdza się najlepiej dla niskich częstotliwości. Różnica dla częstotliwości 4 kHz wynika z pewnych niewielkich rozbieżności między wartościami współczynników pochłaniania wykorzystanych do modelowania pomieszczenia a tymi charakteryzującymi rzeczywistą salę.

Generalnie powyższe czasy pogłosu są zbyt duże jak na typową salę audytoryjną, ale trzeba mieć na uwadze, że są to czasy obliczone przy pustej widowni. Trzeci przebieg (rys. 7), ilustruje zależność czasu pogłosu w funkcji częstotliwości dla sali wypełnionej widownią. Można zauważyć znaczny spadek obliczanego parametru i wyrównanie się charakterystyki pogłosowej. Na podstawie uzyskanych charakterystyk można wnioskować, że warunki akustyczne w modelowanej sali poprawią się przy instalacji systemu nagłośnieniowego. Poniżej przedstawiono zestawienie parametrów akustycznych dla sali pustej i sali z widownią (tab.1).

Tablica 1. Porównanie wybranych parametrów akustycznych dla sali bez i z widownią

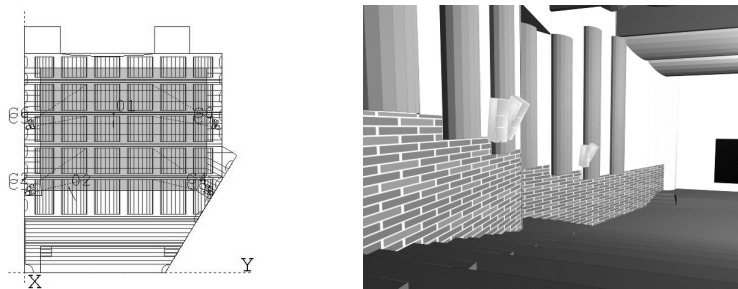
Parametr	Sala bez widowni	Sala z widownią
<i>RASTI</i> [%]	45 ÷ 57 (poprawna)	60 ÷ 68 (dobra)
$T_s$ w punkcie 01 [ms]	85,8	55

Widoczna jest poprawa wszystkich parametrów akustycznych określanych dla pomieszczenia z widownią. Zrozumiałość mowy (*RASTI*) zwiększyła się diametralnie, natomiast czas centralny w punkcie 01 zmalał o 30 ms, co jest konsekwencją krótszego czasu pogłosu.

### 2.3 System nagłośnieniowy

W modelowanym pomieszczeniu zaproponowano i zweryfikowano dwa typy systemów nagłośnieniowych, a mianowicie system ścienny i sufitowy.

W nagłośnieniu ściennym wykorzystano 8 głośników EVOi.324 firmy JBL podzielonych na cztery pary. Każda para głośników pokrywa 1/4 część powierzchni widowni. Na rysunku 8 została zaprezentowana wizualizacja sali wraz z nagłośnieniem sufitowym oraz rozmieszczenie głośników.

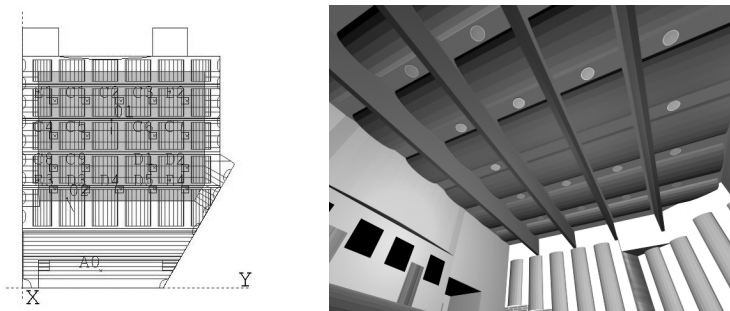


Rys. 8 Rozmieszczenie głośników w nagłośnieniu ściennym

Dobór rozmieszczenia głośników powinien gwarantować jak najlepszą równomierność nagłośnienia oraz wysoki współczynnik *RASTI*. W projektowanym systemie uzyskano równomierność  $< 8\text{dB}$  oraz *RASTI*  $\sim 70\%$ , co oznacza dobrą zrozumiałość mowy.

Ponieważ system ścienny zapewnia jedynie dobrą zrozumiałość mowy, dlatego sprawdzono warunki akustyczne w oparciu o drugi proponowany system nagłośnieniowy.

W nagłośnieniu sufitowym wykorzystano 18 głośników Control® 26CT firmy JBL. Na rysunku 9 została zaprezentowana wizualizacja sali wraz z nagłośnieniem sufitowym oraz rozmieszczenie głośników.



Rys. 9 Rozmieszczenie głośników w nagłośnieniu sufitowym

Powyższe rozmieszczenie głośników gwarantuje bardzo dobrą równomierność nagłośnienia ( $< 6\text{dB}$ ) oraz bardzo wysoki, równomiernie rozłożony współczynnik *RASTI* ( $>75\%$ ).

### 3. ANALIZA PORÓWNAWCZA

Poniżej przedstawiono porównanie akustyki badanej sali audytoryjnej bez nagłośnienia i z nagłośnieniem sufitowym. Charakter różnic w rozkładzie danego parametru nie zmienia się znacząco wraz ze zmianą częstotliwości, dlatego porównanie ograniczono do częstotliwości 1 kHz.

W przypadku sali bez nagłośnienia źródłem dźwięku jest osoba stojąca na katedrze i mówiąca podniesionym głosem. Natomiast w drugim przypadku, źródłem jest 18-głośnikowy system nagłośnieniowy. Aby zapewnić komfortowe warunki odsłuchu widowni, należało obniżyć poziom ciśnienia akustycznego i dlatego w sali z nagłośnieniem wartość tego ciśnienia spadła średnio o 13 dB. Najważniejszym kryterium jest jednak utrzymanie odpowiedniej równomierności nagłośnienia. Nierównomierność nagłośnienia w sali bez nagłośnienia elektroakustycznego jest równa 6 dB. W przypadku sali z nagłośnieniem elektroakustycznym nierównomierność również wynosi 6 dB, jednak należy zwrócić uwagę na fakt, że 85% powierzchni widowni jest nagłośniona równomiernie (nierównomierność nagłośnienia  $\leq 2\text{ dB}$ ). Jedynie nierównomierność nagłośnienia skrajnych miejsc rzędu znajdującego się z tyłu pomieszczenia wynosi 6 dB, co i tak jest zgodne z przyjętymi założeniami projektowymi.

Kolejnym badanym parametrem jest wyrazistość dźwięku oznaczona jako  $D_{50}$ . Dla pomieszczenia bez nagłośnienia widoczne jest zróżnicowanie wartości tego parametru.



Najlepsza wyrazistość dźwięku jest w rzędach z przodu sali (ok. 70%), a słabsza w ostatnim rzędzie (ok. 52%). Z kolei, dla sali z nagłośnieniem, widać bardzo równomierne rozmieszczenie parametru  $D_{50}$ . 80% sali posiada wartość badanego parametru równą ok. 90%. Najslabszą wyrazistością dźwięku odznaczają się rzędy ostatni (ok. 65%) oraz pierwszy (ok. 80%). Dla sali bez nagłośnienia widoczne jest również zróżnicowanie wartości klarowności dźwięku oznaczonej jako  $C_{50}$ . Większą klarownością dźwięku charakteryzuje się prawa część audytorium (ok. 6 dB). Najmniejsza wartość badanego parametru występuje w tylnym lewym rogu sali (ok. 4 dB). Sytuacja ta diametralnie się zmienia dla sali z nagłośnieniem, gdzie jest równomierne rozmieszczenie parametru  $C_{50}$  na ok. 80% powierzchni widowni (wartość  $C_{80}$  wynosi ok. 11 dB). Najmniejszą wartość klarowności dźwięku posiada rząd ostatni (ok. 6 dB).

Z kolei bardzo ważne jest, aby wskaźnik zrozumiałości mowy  $RASTI$  osiągał dużą wartość i był równomiernie rozłożony. W przypadku sali bez nagłośnienia wartość parametru  $RASTI$  waha się od 60% do 68 % tzn., że sala jest przydatna do przekazu słownego w stopniu dobrym, czyli jest dobra zrozumiałość mowy (patrz rys. 1). Jedyne lewy róg w tylnej części audytorium posiada gorszy wskaźnik zrozumiałości mowy. W przypadku sali z nagłośnieniem widać, że parametr  $RASTI$  jest bardzo równomiernie rozłożony i średnio wynosi ok. 75%, co oznacza, że sala jest przydatna do przekazu słownego w stopniu dobrym/celującym, jedynie pierwszy i ostatni rząd widowni mają mniejsze wartości parametru  $RASTI$ . Wartość wskaźnika zrozumiałości mowy dla wspomnianych rzędów wynosi ok. 70%. Poniższa tabela przedstawia wyniki analizy porównawczej wraz z założeniami projektowymi.

Tablica 2. Wyniki analizy porównawczej

Parametr	Założenia projektowe	Sala bez nagłośnienia	Sala z nagłośnieniem 65 - 92 %
Nierównomierność nagłośnienia	< 6 dB	< 6dB	< 6 dB ( $\leq 2$ dB dla 80% powierzchni widowni)
Wyrazistość mowy $D-50$	brak	52 - 75 %	65 - 92 %
Przejrzystość mowy $C-80$	> 6 dB	4 - 7 dB	5 - 12 dB
Wskaźnik zrozumiałości mowy $RASTI$	> 65 %	60 - 68 % - ocena DOBRA	

#### 4. WNIOSKI

Wyniki analizy pola akustycznego, przeprowadzone w sali z nagłośnieniem, spełniają przyjęte założenia w stopniu bardzo zadowalającym. Analizowana sala audytoryjna przeznaczona jest głównie do przekazu sygnału mowy i stąd największe znaczenie ma

parametr *RASTI*, który w przypadku badanej sali przy zastosowaniu nagłośnienia jest bardzo wysoki.

## 5. BIBLIOGRAFIA

1. Wachułka P., Weryk M., Projekt systemu nagłośnieniowego przy wykorzystaniu oprogramowania CATT-Acoustic, Praca Dypł., Katedra Inżynierii Dźwięku i Obrazu, WETI, Pol. Gdańska, Gdańsk 2003.
2. Sabine W. C., Collected Papers on Acoustics, University Press Harvard (1922), Reprinted by Dover Publications, New York, 1964.
3. Eyring C. F., Reverberation Time in "Dead" Rooms, J. Acoust. Soc. Am., Vol. 1, pp. 217-241, 1930.
4. Bradley J. S., Reich R., Norcross S. G., A Just Noticeable Difference in C50 for Speech, Appl. Acoust., **58**, pp. 99–108, 1999.
5. Niese H., Die Messung der Nutzschaall-und Echo Gradverteilung zur Beurteilung der Hørsamkeit in Räumen, Acustica, **11**, pp. 201-213, 1961.
6. Houtgast T., Steeneken H. J. M., A Multi-Language Evaluation of the RASTI-Method for Estimating Speech Intelligibility in Auditoria, Acustica, **54**, pp. 185–199, 1984.
7. <http://www.catt.se/> – strona poświęcona oprogramowaniu CATT-Acoustic.

### SOUND REINFORCEMENT SYSTEM PROJECT IN CATT-ACOUSTIC

This paper presents the project of the acoustic model of the auditorium and evaluation of its acoustic field characteristics carried out with the CATT-Acoustic software. The project of the sound reinforcement system providing the best possible speech intelligibility is included. This paper also contains a comparison of the acoustic field properties with and without the sound reinforcement system, and conclusions about the acoustic field in the modelled auditorium.