

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI  
WARSZAWA-MIEDZESZYN

BIULETYN

INFORMACYJNY

10 (161)  
1977

MINISTERSTWO ŁĄCZNOŚCI

---

# BIULETYN INFORMACYJNY

ROK 17

WARSZAWA 1977

NR 10/161/

---

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

## Redakcja Biuletynu Informacyjnego

---

Redaktor Naczelny - prof. mgr inż. Lesław Kędzierski  
Z-ca Redaktora Naczelnego - dr inż. Krystyn Plewko

Redaktorzy działów:

mgr inż. Władysław Cetner, doc. mgr inż. Adam Moniuszko

Adres Redakcji:

Instytut Łączności

Branżowy Ośrodek

Informacji Naukowo-Technicznej i Ekonomicznej

Warszawa-Miedzeszyn, ul. Szachowa 1

NA PRAWACH RĘKOPISU - DO UŻYTKU SŁUŻBOWEGO

Redaktor: J. Borkowska

Montaż tekstu: B. Drabik

---

Dział Wydawniczy Instytutu Łączności  
Format B5. Nakład 590. Wpłynęło do  
Działu Wydawniczego 26.04.1977 r.  
Druk ukończono w lipcu 1977 r.

Jerzy Regent

PROBLEMY WSPÓŁCZESNEJ TECHNIKI NAGŁAŚNIANIA

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wstęp	1
2. Analiza zjawisk akustycznych	2
3. Metody badania pola akustycznego pod kątem potrzeb techniki nagłośnienia:	7
3.1. Podstawowe zależności wynikające z akustyki geometrycznej i falowej	7
3.2. Metody eksperymentalne	9
3.2.1. Kryteria jakościowe oceny akustyki pomieszczeń	9
3.2.2. Kryteria obiektywne badania pomieszczeń	10
4. Problemy technicznej realizacji nagłośnień	13
4.1. Zestaw nagłośnieniowy	13
4.2. Zespół nagłośnieniowy	13
4.3. Dane techniczne charakteryzujące jakość nagłośnienia	18
5. Zakończenie	19
Wykaz literatury	20

## PROBLEMY WSPÓŁCZESNEJ TECHNIKI NAGŁAŚNIANIA

### 1. WSTĘP

Technika nagłaśniania jako dziedzina akustyki stosowanej rozwinęła się na bazie doświadczeń wynikających z przekazywania informacji dużym zespołom ludzkim, zgromadzonym na placach, w amfiteatrach lub innych pomieszczeniach. W historii rozwoju nagłaśniania wykorzystywano różne środki, na przykład odpowiednią technikę budowy obiektów typu sakralnego lub amfiteatralnego. Obecny rozwój urządzeń elektroakustycznych ogromnie rozszerzył możliwości techniczne nagłaśniania i przyczynił się do powstania nowoczesnej metodyki pracy w tej dziedzinie. Technika nagłaśnienia opiera się na następujących dziedzinach akustyki:

- teorii drgań i układów akustycznych, w tym szczególnie akustyce wnętrza, teorii przetworników i teorii sygnałów,
- technice układów elektroakustycznych,
- badaniach rozkładu pola akustycznego.

Wyrazem nowoczesności w technice nagłaśniania w zakresie metodyki pracy jest wprowadzanie w systemach nagłaśnieniowych urządzeń elektroakustycznych o dobranej celowo parametrach technicznych zapewniających optymalną lub zamierzoną jakość audycji.

Należy podkreślić, że w ostatnich latach popularność nagłaśnienia wzrosła ze względu na powszechność stosowania urządzeń elektroakustycznych nie tylko w profesjonalnej produkcji estradowej, ale również jest wykorzystywana przez organizatorów różnego rodzaju imprez kulturalnych i innych.

W nagłaśnieniu występują dwa zasadnicze rodzaje techniki realizacji, a mianowicie:

- a/ nagłaśnienie, w którym w obszarze nagłaśnianym jednocześnie występują mikrofon i głośnik,
- b/ nagłaśnienie przy użyciu jedynie źródeł dźwięków naturalnych lub sztucznych.

Pierwszy rodzaj nagłaśnienia zawiera w sobie najbardziej istotne elementy wyróżniające tę dziedzinę akustyki od pozostałych.

Typowymi zjawiskami dla tej techniki są:

- akustyczne sprzężenie zwrotne,
- samowzbudzenie systemu nagłośnieniowego,
- pozorny czas pogłosu.

Do opisu tych zjawisk wprowadzone zostały następujące wielkości:

- akustyczne wzmocnienie,
- odstęp od wzbudzenia,
- wzmocnienie systemu nagłośnieniowego,
- regeneratywny czas pogłosu.

Drugi rodzaj nagłośnienia należy uważać za szczególny przypadek pierwszego. Oparty jest na typowych zagadnieniach akustyki, szczególnie akustyki wnętrza.

W celu uściślenia przedmiotu niniejszego opracowania proponuje się następującą definicję techniki nagłaśniania: "zespół środków technicznych i metod, których celem jest przesłanie informacji dźwiękowych poprzez wytworzenie odpowiedniego pola akustycznego, obejmującego nadawcę i słuchaczy".

## 2. ANALIZA ZJAWISK AKUSTYCZNYCH

Podstawą tej analizy jest badanie rozwiązań równania falowego w określonych warunkach brzegowych oraz dla znanych warunków: początkowego i końcowego. Podstawowe równanie falowe przedstawia się następująco:

$$\nabla^2 \phi + k^2 \phi = 0 \quad /1/$$

w którym:

$\phi$  - potencjał akustyczny [1],

$k = \frac{\omega}{c}$  - może być rzeczywiste lub zespolone. Gdy  $k$  jest rzeczywiste, to mamy do czynienia z falą nietłumioną; gdy  $k$  jest zespolone, ośrodek jest rzeczywisty, a zatem występuje tłumienie fali w ośrodku,

$\omega$  - częstotliwość kołowa,

$c$  - prędkość dźwięku.

Dla ośrodka bezstratnego, nieograniczonego  $k$  jest rzeczywiste i wtedy jako rozwiązanie /1/ można przyjąć:

$$\phi = \phi_0 / r / e^{j(\omega t - kr)}$$

Jest to fala rozchodząca się od źródła w kierunku  $r \rightarrow +\infty$ . Przyjmując, że mamy

do czynienia ze źródłem punktowym otrzymamy dla potencjału akustycznego następujące wyrażenie na tzw. falę zerowego rzędu, tj. na falę kulistą

$$\phi = \frac{A}{r} e^{j(\omega t - kr)} \quad /2/$$

Korzystając ze znanych związków z teorii pola [2] oraz ograniczając się do części rzeczywistej otrzymamy następujące wzory stosowane w praktyce:

- dla ciśnienia akustycznego  $p$ ,  $p = jkz_0 \phi$

$$p = \frac{p'_0}{r} \sin(\omega t - kr) \quad /3/$$

oraz

- dla prędkości akustycznej  $U$  z  $U = -\text{grad } \phi$

$$U = \frac{A}{r} \sqrt{\frac{1}{2} + k^2} \sin(\omega t - kr - \varphi) \quad /4/$$

w których:  $r$  - odległość źródła od punktu obserwacji,

$A$  - moment źródła; powyższe oznaczenie wynika z formalnego zapisu potencjału akustycznego i w dalszych rozwiązaniach nie będzie stosowane, gdyż przyjmuje się oznaczenie:  $p'_0 = -kAz_0$  oraz  $U'_0 = A$ ,

$\varphi$  - przesunięcie fazowe pomiędzy prędkością a ciśnieniem akustycznym,  $\varphi = \arctg \frac{1}{kr}$ .

Prostszy zapis matematyczny niż fala kulista ma fala płaska i odpowiednio do /3/ i /4/ otrzymamy:

$$p = p_0 \sin(\omega t - kr) \quad /5/$$

$$U = U_0 \sin(\omega t - kr) \quad /6/$$

gdzie  $p_0$ ,  $U_0$  - amplitudy ciśnienia i prędkości akustycznej.

W tej fali płaskiej, jak widać, pomiędzy ciśnieniem akustycznym a prędkością nie ma przesunięcia fazowego, co oznacza, że impedancja takiej fali jest rzeczywista. Jest ona równa impedancji właściwej ośrodka, czyli  $z_0 = \rho c$ , gdzie  $\rho$  - gęstość ośrodka,  $c$  - prędkość dźwięku.

Jednym z częściej wykorzystywanych w technice nagłośnienia zależności energetycznych jest wzór na moc akustyczną źródła, zdefiniowany następująco:

$$Na = \iint_S J ds \quad /7/$$

w którym:

$N_a$  - moc akustyczna źródła dźwięku;

$J = E \cdot c$  - natężenie dźwięku. Określa ono średnią gęstość energii przepływającą w jednostce czasu przez jednostkową powierzchnię,  $W/m^2$ ;

$E$  - średnia gęstość energii w pomieszczeniu;

$c$  - prędkość dźwięku;

$S$  - powierzchnia otaczająca źródło.

Dla fali płaskiej natężenie dźwięku najczęściej określa się wg wzoru:

$$J = \frac{p^2}{2z_0} \quad /8/$$

w którym:  $p$  - ciśnienie akustyczne,

$z_0$  - impedancja właściwa ośrodka.

Dla celów projektowania nagłośnień przyjmuje się postać /8/. Wzór /8/ w praktyce jest wykorzystywany niekiedy /w pierwszym przybliżeniu/ do wyznaczenia natężenia dźwięku źródła punktowego.

W obliczeniach na ogół<sup>pr</sup> przyjmuje się ciśnienie akustyczne jako wielkość znaną z pomiarów, przy czym w praktyce przeprowadza się pomiary poziomu ciśnienia akustycznego lub poziomu dźwięku, np. wg [3].

Natężenie dźwięku źródła punktowego na mocy /7/ wyrazi się wzorem:

$$J = \frac{N_a}{4\pi r^2} \quad /9/$$

Postępowanie się nim powinno się ograniczyć do przestrzeni otwartej lub do tej części pomieszczenia, w której dominuje pole fali bezpośredniej.

W przypadkach stosowania kierunkowych źródeł dźwięku natężenie dźwięku na osi źródła odpowiednio zwiększy się.

Przyjmując  $Q$  jako współczynnik kierunkowości, to natężenie dźwięku  $J$  w odległości  $r$  od źródła, mierzone na osi źródła, wynosi:

$$J = \frac{QN_a}{4\pi r^2} \quad /10/$$

gdzie  $Q$  - współczynnik kierunkowości

$$Q = \frac{P_0}{P_{\xi r}} \quad /11/$$

w którym:



$P_0$  - ciśnienie akustyczne w punkcie obserwacji, leżącym na głównej osi promieniowania głośnika w odległości  $r$  od głośnika,

$$P_{\text{śr}} = \frac{1}{4\pi} \int_0^{\pi} \int_0^{2\pi} P_r = \text{const} / \varphi, \psi / \sin \psi d\varphi d\psi$$

$P / \varphi, \psi /$  - przestrzenna charakterystyka kierunkowości dla  $r = \text{const}$ .

Jeżeli  $P / \varphi, \psi / = P / \varphi /$ , mamy tzw. charakterystykę biegunową. Na przykład współczynnik kierunkowości dla kolumn dźwiękowych wynosi 5 - 10, a pojedynczego głośnika 1 - 1,5.

W przestrzeni zamkniętej rozwiązanie podstawowego równania falowego /1/, spełniającego określone warunki brzegowe, przyjmuje bardziej skomplikowaną postać, przy czym ścisłe rozwiązanie można uzyskać jedynie dla pewnej grupy pomieszczeń. Jednakże podstawowe własności akustyczne pomieszczeń z dostatecznym przybliżeniem można przedyskutować w oparciu o wybrane, szczególne rozwiązanie równania falowego.

W warunkach ustalonych mamy:

-  $\frac{\partial E}{\partial t} = 0$ , gdzie  $E$  - średnia energia akustyczna w pomieszczeniu,

- warunek brzegowy  $\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0$ ; gdyż zakładamy, że ściany pomieszczenia są idealnie sztywne.

Dla pomieszczenia prostopadłościennego o wymiarach  $a, b, h$  potencjał akustyczny przedstawić można w postaci:

$$\phi = \phi_0 \cos k_x x \cos k_y y \cos k_z z \quad /11/$$

gdzie:  $k = \frac{\omega}{c} = \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2}$

a stąd, ze względu na warunek brzegowy, otrzymamy następujący wzór do wyznaczania częstotliwości drgań własnych pomieszczeń,  $f_n$

$$f_n = \frac{c}{2} \sqrt{\frac{n_x^2}{a^2} + \frac{n_y^2}{b^2} + \frac{n_z^2}{h^2}} \quad /12/$$

gdzie:  $n_x, n_y, n_z$  - dowolne liczby całkowite.

Ze wzoru /12/ wynika, że pod wpływem fali akustycznej w pomieszczeniu występują drgania o określonych częstotliwościach, których liczbę można wyznaczyć ze znanych zależności podanych w pracach [1,35].

Rozkład poziomu ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu niezależnie od charak-

teru funkcji  $p = \frac{1}{r}$ , a jedynie ze względu na występowanie drgań własnych, charakteryzuje się określoną nierównomiernością pola akustycznego. Według [18] wynika, że im częstotliwość pobudzenia jest większa, tym liczba drgań własnych pomieszczenia jest większa, a zatem mniejsza jest nierównomierność pola akustycznego.

Dla niskich częstotliwości nierównomierność pola akustycznego jest odpowiednio większa. Jeżeli drgania własne pomieszczenia zanikają równomiernie, to czas pogłosu charakteryzujący zanikanie średniej energii w pomieszczeniu ma charakter krzywej eksponentialnej, zgodnie z wzorami [15] i [16].

Na podstawie badań charakterystyk częstotliwościowych pomieszczeń autorzy Schroeder [24], Kuttruf [25] ustalili następującą zależność na nierównomierność charakterystyki częstotliwościowej  $F$ :

$$F = \frac{\sum L_{\max} - \sum L_{\min}}{\Delta f} \quad /13/$$

w którym:  $L_{\max} - L_{\min}$  - kolejne ekstremalne wartości poziomu ciśnienia akustycznego w pasmie częstotliwości  $\Delta f$ ,

$\Delta f$  - pasmo częstotliwości, w którym dokonuje się sumowania.

Pomiędzy nierównomiernością charakterystyki częstotliwościowej a czasem pogłosu pomieszczenia istnieje stała zależność:

$$F = 1,45 T \text{ dB/Hz} \quad /14/$$

Okazało się również, że średnia wartość  $L_{\max} - L_{\min}$  jest stała, niezależna od wymiarów pomieszczenia i wynosi ok. 10 dB. Z informacji tych należy korzystać w przypadku pobieżnej oceny czasu pogłosu lub oceny rozkładu fal stojących w pomieszczeniu.

W warunkach nieustalonych:  $\frac{\partial E}{\partial t} \neq 0$  interesuje nas jedynie czas narastania i zanikania energii w pomieszczeniu i dlatego analiza tego stanu zostanie ograniczona do omówienia zagadnień związanych z czasem pogłosu.

Pomimo że istnieje kilka metod pomiarowego i doświadczalnego [4] określenia czasu pogłosu, to za podstawę rozważań w tym zakresie przyjmuje się czas pogłosu wyznaczony wg Sabine'a lub Eyringa dla pola akustycznego idealnie rozproszonego. Czas pogłosu pomieszczenia jest to czas, w którym ustalona średnia energia akustyczna lub natężenie dźwięku zmniejsza się o 60 dB. Według Sabine'a [5] wynosi on:

$$T = \frac{0,164 V}{\alpha_{sr} S} = 0,164 \frac{1}{\frac{V}{A}} \quad /15/$$

w którym:

$T$  - czas pogłosu w s,

$V$  - objętość pomieszczenia w  $m^3$ ,

$\alpha_{sr}$  - pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku, średni w danym zakresie częstotliwości

$S$  - powierzchnia całkowita,  $m^2$ ,

$A = \alpha_{sr} \cdot S$  - chłonność akustyczna pomieszczenia,  $m^2$ .

Według Eyringa [6]:

$$T = \frac{0,164 V}{S \ln(1/\alpha_{sr})} \quad /16/$$

w którym oznaczenia jak we wzorze Sabine'a.

Wzór /15/ powinno się stosować dla  $\alpha < 0,2$ , natomiast dla  $\alpha > 0,2$  - wzór Eyringa. Obydwa wzory /15/, /16/ wyprowadzone zostały, jak pamiętamy, przy założeniu jednakowej średniej gęstości energii we wszystkich punktach pomieszczenia.

W związku z tym opisany proces zanikania lub narastania energii akustycznej w pomieszczeniu został przedstawiony w sposób umowny. Dlatego pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku nie ma uzasadnienia fizycznego. Liczbowo jest on w przybliżeniu 2 razy większy od fizycznego współczynnika pochłaniania dźwięku fal płaskiej. Czas pogłosu daje się stosunkowo łatwo mierzyć w warunkach rzeczywistych i dlatego stanowi on jeden z ważniejszych parametrów w programie badań akustyki pomieszczeń.

### 3. METODY BADANIA POLA AKUSTYCZNEGO POD KĄTEM POTRZEB TECHNIKI NAGŁOSNIENIA

#### 3.1. Podstawowe zależności wynikające z akustyki geometrycznej i falowej

Do najprostszych i od dawna znanych metod analizy rozkładu pola akustycznego należy metoda geometryczna, uzupełniona o metodę źródeł-pozornych. Stosuje się je do graficznego przedstawienia w obrazie dwuwymiarowym rozchodzenia się dźwięku odbitego od ściany, patrz rys. 1<sup>2/</sup>.

<sup>1/</sup>Wartość 0,164 została wyznaczona dla temperatury powietrza 20°C i ciśnienia 1 atm. We wzorze Sabine'a wg [5] występuje wartość 0,161.

<sup>2/</sup>Rysunki są zamieszczone na końcu artykułu.

Metodę tę należy stosować w przypadkach, gdy wymiary sali są wielokrotnie większe od długości fali.

Podstawą jej jest znana zasada optyki geometrycznej: kąt padania promienia dźwiękowego jest równy kątowi odbicia. Z kolei metoda źródeł pozornych wykorzystuje fakt, że w przypadku odbicia fali kulistej od płaszczyzny powstaje ponownie fala kulista, której pozorne źródło jest zwierciadlanym odbiciem źródła rzeczywistego.

W pomieszczeniach mamy do czynienia z polem akustycznym swobodnym, reprezentowanym przez falę bezpośrednią i polem akustycznym rozproszonym, reprezentowanym przez fale odbite. W celu ustalenia zasięgu obszarów tych dwóch rodzajów fal przyjęto wielkość, zwaną odległością krytyczną  $d_k$ , określoną wg wzoru:

$$d_k = 0,2 \sqrt{R}, \text{ m} \quad /17/$$

gdzie:

$d_k$  - odległość, dla której natężenie fali bezpośredniej jest równe natężeniu fal odbitych,

$R$  - stała pomieszczenia,  $R = \frac{S d_s r}{1 - d_s r}$ , w którym oznaczenia takie, jak w /16/.

Zastosowanie kilku źródeł dźwięku o współczynniku kierunkowości  $Q$  zmienia odległość krytyczną wg wzoru

$$d_k = 0,2 \sqrt{\frac{QR}{n}}, \text{ m} \quad /18/$$

w którym:  $Q$  - współczynnik kierunkowości,

$n = 1,2 n$  - liczba źródeł dźwięku.

Jak wykazały badania [7,8,9], do odległości słuchacza od źródła dźwięku równej  $d_q = 3,16 d_k$ , zrozumiałość mowy spada zgodnie z zależnością

$$SZ_{sp} = \frac{20r^2 T^2}{QV} \% \quad /19/$$

a powyżej tej odległości utrzymuje się wartość stała, zależna jedynie od czasu pogłosu, wynosząca

$$SZ_{sp} = 9T \% \quad /20/$$

gdzie:  $SZ_{sp}$  - spadek zrozumiałości splotkosok,

$r$  - odległość słuchacza od źródła,

$V$  - objętość pomieszczenia,

$T$  - jak we wzorach poprzednich.

Zwiększenie dla sygnału mowy oddziaływania obszaru fali bezpośrednio z  $d_k$  do  $d_g$  uzasadnione jest w świetle badań zrozumiałości mowy oraz zakłócającego działania echa, tzw. efektu Haasa, patrz p. 3.2.2. Okazuje się, że około 50% zrozumiałości mowy testów znaczących /testy liczbowe i zdaniowe, zrozumiałość zgłosek/ otrzymuje się w polu sygnału zakłócającego, jeżeli wartość jego poziomu dźwięku nie przewyższa poziomu sygnału użytecznego o więcej niż 10 dB [10,11]. Przyjmując sygnał użyteczny jako falę bezpośrednią, a sygnał zakłócający jako falę odbitą oraz uwzględniając fakt, że maskujące działanie fali odbitej - opóźnionej zmniejsza się zgodnie z efektem Haasa, uzyskuje się powiększenie obszaru oddziaływania sygnału mowy do  $d_g = 3,16 d_k$ , gdzie:  $d_g$  - odległość graniczna. Działanie sygnału echowego opóźnionego do 10 ms wywołuje wrażenie dźwiękowe odpowiadające obniżeniu poziomu dźwięku tego sygnału do 10 dB. Zależność zrozumiałości spółgłosek od  $r/d_g$  dla różnych czasów pogłosu przedstawiono na rys. 2.

### 3.2. Metody eksperymentalne

#### 3.2.1. Kryteria jakościowe oceny akustyki pomieszczeń

Badania jakościowe akustyki sal operowych i koncertowych przeprowadzone przez L.L. Beranka [12] stanowią jedno z podstawowych opracowań dotyczących kryteriów jakościowych akustyki sal. Zaproponowane tam kryteria jakościowe jak i skala ocen jakościowych mogą być wykorzystane również do oceny akustyki innych sal nie tylko operowych lub koncertowych, a nawet do oceny jakościowej systemów nagłośnieniowych. Przedstawiają się one następująco:

Pięciostopniowej skali ocen przyporządkowuje się określoną liczbę punktów, a mianowicie:

- salom doskonałym - 90 - 100 punktów
- salom bardzo dobrym - 80 - 90 punktów
- salom dobrym - 70 - 80 punktów
- dostatecznym do dobrych - 60 - 70 punktów
- dostatecznym - 50 - 60 punktów.

Charakterystykę akustyki sal przeprowadza się w oparciu o czynniki subiektywne, którym w zależności od rangi pomieszczenia przyporządkowuje się określoną liczbę punktów, przy czym maksymalna liczba punktów, jaką może otrzymać sala za jeden czynnik nie może przekraczać 40. Czynniki subiektywne dzielą się na dodatnio wpływające na jakość sal, ujemnie wpływające oraz na czynniki wynikające z powiązań pomiędzy obydwoma grupami.

Czynniki subiektywne<sup>1/</sup> dodatnio wpływającymi na jakość sal są: intymność

<sup>1/</sup> Określenie czynników subiektywnych przyporządkowanej im liczby punktów można znaleźć w pracach [12] i [13].

sali, żywość, ciepłe brzmienie, głośność dźwięku bezpośredniego, głośność dźwięku odbitego, równowaga akustyczna i wymieszanie, rozproszenie, zespolowość.

Czynniki wpływające ujemnie na właściwości sali to: echo, hałas i nierównomierność nagłośnienia.

Czynniki wynikające z powiązań pomiędzy dwiema pierwszymi grupami to: wyrazistość, jasność, jaskrawość, wybrzmiewanie, bezzwrotność odzewu, obraz przestrzenny dźwięku.

Wymienione czynniki subiektywne można przynajmniej częściowo określić za pomocą kryteriów pomiarowych, takich jak: charakterystyka częstotliwościowa czasu pogłosu, czas pojawienia się pierwszego odbicia oraz spadek krzywej zanikania energii.

Aktualnie prowadzone nad tym zagadnieniem badania, patrz [15,16,17], stwarzają coraz to nowe możliwości oceny jakości akustyki sal za pomocą pomiarów.

### 3.2.2. Kryteria obiektywne badania pomieszczeń

#### Krzywa zanikania energii i pomiarowy czas pogłosu<sup>1/</sup>

Różnym rodzajom pomieszczeń w zależności od wymiarów i przeznaczenia dla poszczególnych częstotliwości pomiarowych [15] przyporządkowuje się optymalne czasy pogłosu. Te ustalone czasy pogłosu służą obecnie jako dane wyjściowe do podjęcia prac projektowych nagłośnienia.

Czas pogłosu zawiera jednak zbyt mało informacji o akustyce sal, a ponadto ocena oparta o niego jest niejednoznaczna i dlatego w ostatnich dwudziestu latach zostały opracowane nowe metody badania umożliwiające przeprowadzenie wnikliwej analizy akustyki sal, między innymi poprzez krzywą zanikania energii dźwiękowej w pomieszczeniu, patrz rys. 3. Uważa się, patrz [16,17,18], że zasadnicze informacje o akustyce sali leżą w sposobie zanikania energii fazy początkowej, np. do wartości odpowiadającej spadkowi poziomu ciśnienia akustycznego o 20 dB. W oparciu o krzywą zanikania energii można wyznaczyć współczynnik wyrazistości, który wg Thiele'a [18] określa się wzorem:

$$D = \frac{\int_0^{50 \text{ ms}} p^2 / t / dt}{\int_0 p^2 / t / dt} \quad /21/$$

gdzie D - współczynnik wyrazistości,

p - ciśnienie akustyczne.

<sup>1/</sup>Pomiary czasu pogłosu przeprowadza się wg [14].

Wartość D w dobrych salach powinna wynosić ok. 0,65. W pomieszczeniach z nagłośnieniami wartość ta nie powinna ulec zmianie.

Wydaje się, że dla potrzeb projektowania nagłośnienia ocena przebiegów czasowych krzywej zanikania energii może znaleźć szersze niż dotychczas zastosowanie.

#### Metoda impulsowa

Bardzo interesującą interpretację własności akustycznych sal można przeprowadzić w oparciu o wyniki analizy echogramów obrazów impulsów dźwiękowych obserwowanych na ekranie oscylografów. Według Thiele'a [18] i Reichardta [19] metoda ta jest najbardziej zgodna z subiektywnymi kryteriami oceny akustyki sal. Na przykład sale o doskonałej intymności, tj. sale, w których słuchacz odczuwa rozmiary sali, charakteryzują się czasem pierwszego odbicia zawartym w przedziale 8 - 21 ms.

W oparciu o metodę impulsową stosunkowo łatwo można przeprowadzić pomiary czasu pierwszego odbicia, tj. czasu, od którego występuje pole dyfuzyjne oraz wyznaczyć współczynnik wyrazistości D. Przykładowy obraz "odpowiedzi" pomieszczenia na impuls dźwiękowy opracowany na podstawie echogramu pokazano na rys.4. Czas trwania impulsu dźwiękowego, nadawczego w tego rodzaju doświadczeniach wynosi od 2 do 3 ms, przy czym obwiednia impulsów dźwiękowych powinna mieć kształt zbliżony do krzywej Gaussa. Obwiednie impulsów są wypełnione sygnałem o określonej częstotliwości.

#### Metoda badania zjawisk czasowych

Wrażenia dźwiękowe wywołane przez dwa źródła dźwięku emitujące ten sam test słowny zależą wg Haasa [20] od zmiany poziomu głośności testów I od opóźnienia fali dźwiękowej dochodzącej do słuchacza.

Wyróżnia się dwa rodzaje opóźnień, tj. opóźnienie małe i opóźnienie duże, wywołujące różne subiektywne wrażenie słuchowe:

- Dla opóźnień sygnału ehowego do 50 ms, przy jednakowych natężeniach źródeł, dźwięk opóźniony zmienia pozornie swoją lokalizację, przesuwając się stopniowo wraz ze wzrostem opóźnienia echa w kierunku źródła pierwotnego. W rezultacie słyszy się jeden dźwięk z kierunku źródła pierwotnego. Mamy tu do czynienia z efektem maskowania echa, zwanym efektem Haasa lub efektem pierwszeństwa. Bliższe wyjaśnienie tych zjawisk patrz [21] i [22].

Na rysunku 4a przedstawiono krzywą jednakowego poziomu głośności dźwięku pierwotnego I echa o zależności od ich wzajemnego opóźnienia.

- Dla opóźnień powyżej 50 ms pojawia się echo, którego zakłócające działanie na zrozumiałość naturalności mowy rośnie wraz ze wzrostem opóźnienia. Wpływ ten w postaci procentowych zależności obserwacji zakłóconych od opóźnienia echa i poziomu przedstawiono na rys. 5.

Zarówno efekt Haasa, jak i krzywe przedstawione na rysunkach 4a i 5 pozwalają na prawidłową ocenę zjawisk czasowych i skutków wynikających z występowania echa w pomieszczeniach dla celów nagłośnień. W technice nagłośniania wykorzystuje się je również do oceny lokalizacji źródeł dźwięku.

### Metoda korelacyjna

Wykorzystuje się w niej informacje wynikające z obserwacji sygnału dźwiękowego zarejestrowanego w dwóch punktach badanego pomieszczenia pozwalających na wyznaczenie funkcji korelacji wzajemnej  $\phi_{xy}$  wg wzoru:

$$\phi_{xy}/T = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x(t)/y(t-T) dt = \bar{x}(t)/\bar{y}(t-T) \quad /22/$$

lub unormowanej funkcji korelacji, tzw. współczynnika korelacji  $\rho_{xy}$  wg zależności

$$\rho_{xy}/T = \frac{\bar{x}(t)/\bar{y}(t-T)}{\sqrt{\bar{x}^2(t)/\bar{y}^2(t)}} \quad /23/$$

$x(t), y(t)$  - mierzone wielkości, opisujące zjawiska losowe,  
 $T = r/c$ ,  $r$  - odległość pomiędzy dwoma punktami obserwacji.

$\rho_{xy}$  może przyjmować wartości od 0 do 1. Na przykład w polu fali bieżącej jest on bliski jedności, to znaczy, że istnieje silny związek statystyczny pomiędzy mierzonymi wielkościami. Gdy rośnie udział pola dyfuzyjnego,  $\rho_{xy}$  maleje do zera, co znaczy, że wielkości mierzone stają się coraz bardziej statystycznie niezależne.

Należy zaznaczyć, że metoda korelacyjna analizy pola akustycznego dla potrzeb techniki nagłośnienia nie znalazła większego zastosowania, korzysta się z niej przede wszystkim dla celów badawczych. Z tego względu została ona przedstawiona jedynie w formie wstępnej informacji. Bliższe dane Czytelnik znajdzie w pracy [23].



## 4. PROBLEMY TECHNICZNEJ REALIZACJI NAGŁOŚNIEŃ

### 4.1. Zestaw nagłośnieniowy

W skład typowego zestawu nagłośnieniowego wchodzi następujące urządzenia:

- mikrofon,
- urządzenia typu przedwzmacniacz lub mieszacz,
- wzmacniacz końcowy,
- głośnik,

przy czym przez głośnik rozumie się dowolne elektroakustyczne źródło dźwięku.

Skład tego zestawu w zależności od rangi nagłośnienia może być rozbudowany o dodatkowe czony, jak np. korektory graficzne, służące między innymi do profilowania charakterystyki częstotliwościowej, urządzenia pogłosowe, służące do wytwarzania sztucznego pogłosu, kompresory, służące do automatycznej regulacji dynamiki sygnału, urządzenia opóźniające, służące do kształtowania zjawisk czasowych.

Wyszczególnione czony zestawu nagłośnieniowego mają dość zróżnicowane parametry techniczne i eksploatacyjne, a w związku z tym odpowiednio zróżnicowane rozwiązania konstrukcyjne, zapewniające zakładaną jakość urządzeń. O wyborze odpowiedniego urządzenia dla potrzeb realizacji konkretnego nagłośnienia decyduje jego charakterystyka techniczna i eksploatacyjna. Stanowią one podstawę oceny możliwości realizacji założeń programowych transmitowanej audycji.

Wydaje się, że zarówno dla dokonania optymalnego wyboru urządzeń elektroakustycznych jak i oceny jakościowej nagłośnienia konieczna jest znajomość kryteriów jakościowych nagłośnienia.

Wstępnie jako<sup>1/</sup> kryteria jakościowe nagłośnienia do czasu ich opracowania należy przyjąć charakterystykę techniczną urządzeń zestawu nagłośnieniowego oraz dane techniczne zespołu nagłośnieniowego<sup>2/</sup> reprezentowane np. przez charakterystykę częstotliwościową i wzmocnienie akustyczne.

Zainteresowanych charakterystyką techniczną poszczególnych urządzeń zestawu nagłośnieniowego odsyła się do następujących prac: [22, 27, 28, 29, 31, 34, 35, 36, 37, 38].

### 4.2. Zespół nagłośnieniowy

Przez zespół nagłośnieniowy rozumiemy układ składający się z zestawu nagłośnieniowego oraz pomieszczenia, w którym jest on zainstalowany. Charakterystyka

<sup>1/</sup>Przewiduje się że w latach 77-78 Instytut Łączności opracuje dla potrzeb Resortowej Służby Nagłośnieniowej kryteria jakościowe nagłośnienia.

<sup>2/</sup>Patrz p. 4.2.

techniczna zespołu nagłośnieniowego powinna zawierać istotne elementy wynikające z teorii i praktyki techniki nagłośnienia. Stanowić ona będzie o wyniku dotychczasowych naszych rozważań.

W celu właściwego zinterpretowania parametrów technicznych przewidzianych dla opisu tej charakterystyki zostaną przedstawione zagadnienia dotąd nie poruszone, a wspomniane we wstępie do niniejszego opracowania. Są to: akustyczne sprzężenie zwrotne, nierównomierność nagłośnienia i stabilność systemu nagłośnieniowego, wzmocnienie akustyczne oraz regeneratywny czas pogłosu.

Akustyczne sprzężenie zwrotne - zjawisko to wynika z faktu jednoczesnego działania mikrofonu i głośnika, wchodzących w skład tego samego zestawu nagłośnieniowego. Występuje ono, kiedy mikrofon i głośnik znajdują się w polu wzajemnego oddziaływania. W tym przypadku membrana mikrofonu znajduje się pod działaniem ciśnienia akustycznego  $p_0$ , pochodzącego od źródła naturalnego oraz ciśnienia akustycznego  $p_1$ , wynikającego z promieniowania głośnika<sup>1/</sup>. Obieg energii akustycznej od głośnika z powrotem do mikrofonu tworzy pętlę akustycznego sprzężenia zwrotnego.

W warunkach ustalonych, na membranę mikrofonu działa ciśnienie akustyczne  $p_2$ , czyli  $p_2 = p_1 + p_0$ . Powyższy związek zostanie wykorzystany do ilościowego opisu akustycznego sprzężenia zwrotnego. Współczynnik sprzężenia akustycznego określa się wg wzoru

$$\beta = \frac{p_1}{p_2} \quad /24/$$

który ze względu na charakter matematyczny funkcji  $p_1$  i  $p_2$  można przedstawić jako liczbę zespoloną. Dla dźwięku prostego przyjmie on postać:

$$\beta = \beta_0 e^{j\varphi} \quad /25/$$

przy czym

$$\varphi = \varphi_0 + 2\pi f \frac{r}{c}$$

gdzie:  $\beta_0$  - moduł  $\beta$ ,

$f$  - częstotliwość tonu prostego,

$r$  - odległość mikrofon - głośnik,

$c$  - prędkość dźwięku w powietrzu,

$\varphi_0$  - przesunięcie fazowe wprowadzone przez zestaw nagłośnieniowy w torze elektroakustycznym.

<sup>1/</sup> W celu uproszczenia opisu zjawiska rozpatruje się układ składający się z jednego głośnika i mikrofonu.

Jeżeli  $\varphi_0$  jest niezależne od częstotliwości, co w praktyce występuje dość często, oraz  $\varphi_0 = 0$ , to  $\varphi = 2\pi f r/c$ , zatem sprzężenie akustyczne zależy jedynie od odległości mikrofon-głośnik.  $\beta$  będzie przyjmować kolejno wartości maksymalne  $\beta_{\max}$  lub minimalne  $\beta_{\min}$  dla dźwięku o długościach fali  $\lambda_n$  spełniających warunek:

$$r / \frac{\lambda_n}{2} = n + 1 \quad /26/$$

gdzie:  $n = 0, 1, 2 \dots n$ ,

$$\lambda_n = c/f_n,$$

$r$  - odległość głośnik-mikrofon.

Wzmocnienie akustyczne  $\eta$  zespołu nagłośnieniowego określone dla punktu pola akustycznego, w którym znajduje się mikrofon, wynosi

$$\eta = \frac{P_1}{P_0} \quad /27/$$

Korzystając z /24/ i /25/ otrzymamy

$$\eta = \beta_0 \frac{1}{\sqrt{1 - 2\beta_0 \cos \varphi + \beta_0^2}} \quad /28/$$

Z ostatniego związku wynika, że system nagłośnieniowy jest bezwzględnie stabilny, gdy  $\beta_0 < 1$  dla wszystkich częstotliwości sygnału użytecznego. Natomiast wzbudzenie występuje dla  $\beta_0 \geq 1$ , gdyż wówczas  $\eta \rightarrow \infty$ .

Rozwijając /28/ w szereg potęgowy względem  $\beta$ , a następnie ograniczając rozwinięcie do dwóch pierwszych wyrazów, to  $\eta$  można przedstawić:

$$\eta = \sum_{n=0}^{\infty} P_n / \cos \varphi / \beta_0^{n+1} \quad /29/$$

Skąd:

$$\eta \approx \beta / 1 + \beta \cos \varphi / \quad /30/$$

w którym:  $P_n / \cos \varphi /$  - funkcja Legendre'a [2].

Wzór /29/ stanowi dogodną i stosowaną w praktyce postać do oceny wzmocnienia akustycznego.

Nierównomierność nagłośnienia ze sprzężeniem zwrotnym

W wyniku zmiany fazy  $\varphi$  wzmocnienie akustyczne  $\eta$  zgodnie z /30/ zmienia się od wartości  $\eta_{\max} = \beta_0 / (1 + \beta_0)$  do wartości  $\eta_{\min} = \beta_0 / (1 - \beta_0)$ . Nierównomierność nagłośnienia  $K$  określa się wg wzoru:

$$K = 20 \log \frac{1 + \beta_0}{1 - \beta_0} \quad /31/$$

Dla  $\beta = 0,5$  wynosi ona:  $K = 9,5$  dB.

Charakterystykę  $\eta/f$  ze względu  $\eta = \eta/\varphi$  można również potraktować jako charakterystykę częstotliwościową akustycznego sprzężenia zwrotnego.

Rozkład maksimów i minimów wzmocnienia akustycznego na skali częstotliwości wynika z odległości głośnik-mikrofon, zgodnie ze wzorem /26/.

Wzmocnienie akustyczne  $B$  - wzmocnienie akustyczne zespołu nagłośnieniowego określone dla dowolnego punktu obszaru nagłośnieniowego wyraża się wg wzoru:

$$B = \frac{p_{gt}}{p_{\dot{z}r}} \quad /32/$$

gdzie:  $p_{gt}$  - ciśnienie akustyczne wytworzone przez głośnik w punkcie obserwacji,

$p_{\dot{z}r}$  - ciśnienie akustyczne źródła naturalnego w punkcie obserwacji.

Dla systemu nagłośnieniowego centralnego składającego się z jednego głośnika i jednego mikrofonu, przyjmując rozmieszczenie źródła naturalnego, mikrofonu, słuchacza wg rys. /6/ oraz pamiętając o /3/ i /30/,  $B$  wyrazi się wzorem:

$$B = \eta \frac{r_4 r_1}{r_3 r_0} \quad /33/$$

Z /33/ wynika, że gdy  $\frac{r_4 \cdot r_1}{r_3 \cdot r_0} = \text{const.}$ ,  $B = B / \beta$ ,

a charakterystyka częstotliwościowa  $B = B/f$  odpowiada charakterystyce  $\eta = \eta/f$ . Porządkiem z /33/ wynika, że wzmocnienie akustyczne  $B$  będzie tym większe, im  $\eta$  będzie większe.

Oznacza to, że gdy  $\beta \rightarrow 1$ , wzmocnienie akustyczne rośnie, jednocześnie stabilność systemu nagłośnieniowego pogarsza się.

Zanim w zespole nagłośnieniowym pojawi się generacja na jednej z częstotliwości  $f_n$ , wcześniej występuje efekt charakterystycznego podzwania, objawiający się wyraźnie przedłużonym czasem poqłosu naturalnego. Wartość  $B$ , przy którym wy-

stępuje wzbudzenie zespołu nagłośnieniowego nazywa się progiem wzbudzenia.

### Regeneratywny czas pogłosu $T_R$

Zespół nagłośnieniowy zarówno w przestrzeni otwartej jak i zamkniętej charakteryzuje się swoim czasem pogłosu, zwanym regeneratywnym czasem pogłosu /39/.

W przestrzeni otwartej jest on spowodowany działaniem sprzężenia akustycznego, w wyniku którego ciśnienie akustyczne głośnika padające na mikrofon w kolejnych czasach  $n \cdot T = r/c \cdot n$ , np. po jego wyłączeniu, będzie maleć o wartość  $p^* = \beta^n \cdot p$ , gdzie:  $n = 1, 2 \dots n$  - liczba kolejnych obiegów pętli sprzężenia akustycznego.

Przyjmując zmianę ciśnienia akustycznego  $10^3$  razy, co jest zgodne z definicją czasu pogłosu, regeneratywny czas pogłosu  $T_R$  w przestrzeni otwartej wyrazi się wzorem:

$$T_R = \frac{3r}{c \log \beta} \quad /34/$$

W pomieszczeniu zamkniętym, w którym występuje akustyczne sprzężenie zwrotne, czas pogłosu zwiększa się z  $T$  do  $T_R$ . Fakt, że  $T_R > T$ , jest intuicyjnie zrozumiały i wynika on z częściowego regenerowania przez zespół nagłośnieniowy energii pochłanianej przez ściany pomieszczenia.

Regeneratywny czas pogłosu w pomieszczeniach zespołu nagłośnieniowego wyraża się wg wzoru

$$T_R = \frac{T}{1 - \beta} \quad /35/$$

Ze wzoru /35/ wynika, że regeneratywny czas pogłosu osiąga wartość maksymalną dla częstotliwości, dla których wzmocnienie akustyczne osiąga maksima, t.j., gdy  $\beta \rightarrow 1$ , to  $T_R \rightarrow \infty$

W praktyce należy przyjąć, że wzmocnienie akustyczne zespołu nagłośnieniowego jest o 3 - 5 dB niższe od wzmocnienia, przy którym występuje wzbudzenie.

Z przedstawionych zależności /27 - 30/ wynika, że gdy  $\beta \rightarrow 1$ , t.j. gdy maleje odstęp od progu wzbudzenia,  $k$  rośnie. Na przykład gdy odstęp od progu wzbudzenia wynosi 5 dB,  $k = 10$  dB; gdy odstęp od progu wzbudzenia wynosi 1 dB,  $k = 18$  dB.

Wzory opisujące ilościowe zjawiska poruszone w niniejszym punkcie uwzględniają przypadek, gdy zespół nagłośnieniowy składa się z jednego mikrofonu. Wprowadzenie większej liczby mikrofonów spowoduje:

- zmniejszenie wzmocnienia akustycznego wg zależności:

$$B = \eta \cdot \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \text{const}$$

gdzie:  $n$  - liczba wprowadzonych mikrofonów

$B, \eta, \text{const}$  - oznaczenia odpowiednio jak w /33/;

- zwiększenie regeneratywnego czasu pogłosu wg zależności:

$$T_R = \frac{T}{1 - \sqrt{n} \beta}$$

Skuteczność nagłośnienia systemu nagłośnieniowego centralnego lub decentralnego, tj. efektywne wzmocnienie akustyczne można polepszyć przez zastosowanie:

- Kierunkowych przetworników. Dzięki temu zmniejsza się współczynnik sprzężenia akustycznego, czyli zmniejsza się wzajemne oddziaływanie głośnik-mikrofon.
- Właściwej lokalizacji głośników i wzajemnego usytuowania głośnik-mikrofon. Mikrofon nie powinien znajdować się w polu bezpośredniego promieniowania głośnika. Odległość głośnik-mikrofon powinna być większa niż  $d_k$ .
- Korekcji częstotliwości, tj. wprowadzenia tłumienia sygnału użytecznego na częstotliwościach, w których zespół nagłośnieniowy jest niestabilny. Są to częstotliwości drgań własnych pomieszczenia, dla których  $\eta = \eta_{\max}$ .
- Filtrów dolno, górnoprzepustowych, np. w postaci regulatora barwy.

#### 4.3. Dane techniczne charakteryzujące jakość nagłośnienia

##### Charakterystyka częstotliwościowa zespołu nagłośnieniowego

Własności akustyczne pomieszczenia i efekty nagłośnienia w sposób dość wszechstronny można rozpatrywać łącznie w oparciu o charakterystykę częstotliwościową zespołu nagłośnieniowego. W celu uzyskania możliwie pełnej informacji o zespole nagłośnieniowym wskazane jest uzyskanie charakterystyki częstotliwościowej za pomocą sygnału sinusoidalnego i sygnału szumu różowego. Charakterystyka częstotliwościowa L/f/ wykonana za pomocą sygnału sinusoidalnego pozwala na ustalenie częstotliwości podatnych na wzbudzenia oraz pozwala na ocenę wartości współczynnika F. Charakterystykę częstotliwościową wykonaną przy użyciu sygnału szumu różowego powinno się przeprowadzać dwukrotnie, tj. dla zespołu nagłośnieniowego oraz dla pomieszczenia bez nagłośnienia. Pozwala ona na ocenę szerokości pasma przenoszenia, nierównomierności częstotliwościowej zespołu nagłośnieniowego wzmocnienia akustycznego. Charakterystyka częstotliwościowa w pasmie użytecznym powinna mieć przebieg równomierny, tzw. płaski. Przyjmuje się, że charakterystyka częstotliwościowa jest płaska, jeżeli odchylenie poziomów ciśnień akustycznych /napięcia/ od wartości średniej nie przekracza  $\pm 1$  dB.

Nierównomierność częstotliwościowa zespołu nagłośnieniowego określona jako

$L_{\max} - L_{\min}$  z przebiegu charakterystyki częstotliwościowej wykonanej przy użyciu szumu różowego powinna być rzędu  $\pm 2$  dB w pasmie użytecznym.

Odstęp od progu wzbudzenia dla warunków najkorzystniejszych powinien wynosić co najmniej 3 - 5 dB.

Regeneratywny czas pogłosu  $T_R$  nie powinien być większy niż  $T + 0,2 T$ .

Nierównomierność rozkładu poziomu dźwięku w obszarze nagłaśnianym określona wg wzoru:

$$K_i = \frac{L_i}{L_{sr}}$$

gdzie:

$$L_{sr} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i}$$

$L_i$  - poziom dźwięku w punkcie pomiarowym, w dB,

$n$  - liczba punktów pomiarowych.

Maksymalnie  $K_i$  nie powinna przekraczać  $\pm 3$  dB.

U w a g a. Metody wykonania pomiarów oraz opracowanie wyników pomiarowych są przedstawione w pracach /31,33,34,35/.

## 5. ZAKOŃCZENIE

W Instytucie Łączności dla potrzeb Resortowej Służby Nagłośnienia opracowano następujące urządzenia elektroakustyczne:

- Wzmacniacz mocy 100 VA o zasilaniu bateryjnym /24 V/ z transformatorem wyjściowym, typ WAM 190, produkowany przez DTW It Instytut Łączności O/Gdańsk.
- Wzmacniacz mocy 100 VA o zasilaniu sieciowym z wyjściem niskomowym oraz z transformatorem do zasilania linii głośnikowych 100 V. Produkowany przez Zakłady Radiowe w Bydgoszczy UNITRA w wersji dla radiowęzłów, tj. z transformatorem wyjściowym, typ wyrobu: TWN 100.
- Mieszacz wyposażony w wejście mikrofonowe, liniowe, radiowe i adapterowe. Wykorzystywanie wejść w dowolnej kombinacji, przy czym łączna liczba wejść nie może przekroczyć 6. Ma dwa wzmacniacze końcowe, tzw. sumę główną i dodatkową, zespół filtrów antysprzężeńowych oraz filtry prezencyjne i regulatory barwy w każdym kanale. Produkowany jest przez Morską Obsługę Radiową Statków w Gdyni, typ wyrobu: M2 - 6 /367.

- Magnetofon opóźnieniowy realizuje opóźnienia od 20 do 400 ms skokowo po 20 ms. Opóźnienia uzyskuje się dzięki zastosowaniu 10 głowic rozmieszczonych wokół tarczy obrotowej, przy czym zapis sygnału odbywa się systemem bezstykowym. Liczba kanałów: 4. Produkowany przez DTW Instytut Łączności 0/Gdańsk, typ wyrobu: MOP [28].
- Kompresor. Zakres dynamiki kompresji 40 dB. Produkowany przez DTW Instytut Łączności 0/Gdańsk [37].
- Źródło sygnałów: szumu białego, różowego i sinusoidalnego. Zasilanie bateryjne: 9 V. Przewidywany producent: DWT Olsztyn [38].

Zestawy nagłośnieniowe coraz częściej wyposażone są w urządzenia korekcji częstotliwości, co stwarza możliwości dość swobodnego profilowania charakterystyki częstotliwościowej. Z tego względu konieczne staje się opracowanie przyrządu pomiarowego pozwalającego na bieżącą kontrolę tych zmian. Wykorzystanie do tego celu analizatorów widma akustycznego, chwilowego [26] jest zbyt kosztowne, a przede wszystkim niepraktyczne ze względu na gabaryty i dość skomplikowaną obsługę tego rodzaju urządzeń. Obecnie w Instytucie Łączności przystąpiono do opracowania przyrządu, roboczo nazwanego spektrografem akustycznym [27]. Jego realizację oparto o następujące, podstawowe założenia:

- Urządzenie powinno mieć zobrazowanie widma chwilowego w postaci obwiedni widma lub powinno umożliwiać rejestrację poziomu odniesienia w poszczególnych pasmach częstotliwości.
- Urządzenie powinno mieć filtry pasmowo-przepustowe o częstotliwościach środkowych odpowiadających częstotliwościom środkowym filtrów korekcyjnych, występujących w konstrukcjach korektorów graficznych, stosowanych w Resortowej Służbie Nagłaśniania.
- Wymiary, waga powinny być jak najmniejsze.

Na zakończenie należy podkreślić, że wprowadzenie do techniki nagłaśniania układów korekcyjnych stwarza nowe problemy w zakresie metod badania pola akustycznego oraz oceny jakości sprzętu i efektów nagłaśniania, których rozwiązania decyduje o postępie nauki i techniki w tej dziedzinie.

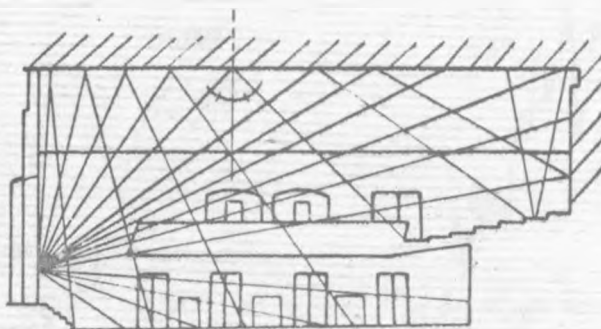
#### WYKAZ LITERATURY

1. Małecki J.: Teoria fal i układów akustycznych. Warszawa: PWN 1964.
2. Smirnov W.L.: Matematyka wyższa. T. II i III. Tłum. w jęz. pol. Warszawa: PWN 1970.
3. BN-71/3209-01: Dopuszczalne poziomy dźwięku hałasu w pomieszczeniach automatycznych central telefonicznych i telegraficznych.

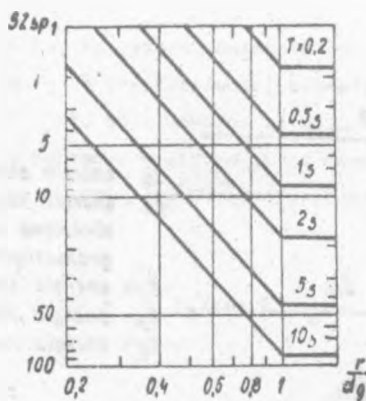


4. Regent J.: Ocena skuteczności pochłaniania akustycznego wykładzin dźwiękochłonnych. III konf. pt. Zwalczanie hałasu, 1973.
5. Sabine W.C.: Collected papers on acoustics harvard 1922.
6. Eyring C.F.: Reverberation time in dead rooms. J. Acoust. Soc. Amer. 1930 s. 217.
7. Peutz V.: Articulation loss of consonants as a criterion for speech transmission in a room. J. Audio Eng. Soc. 1973 Vol. 19 Nr 11.
8. Davis D.: Equivalent acoustic distance. J. Audio Eng. Soc. 1973 Vol. 21 Nr 8.
9. Davis D.: A more accurate way of calculating Dc. Altec Lansing Technical Letter. Nr 207.
10. Klajman S., Regent J.: Wpływ hałasu maszynowego na zrozumiałość mowy. Lek. Woj. 1970 t. 6 s. 495-500.
11. Regent J.: Ochrona przed hałasem i drganiami obiektów telekomunikacyjnych i pocztowych. Problemy łączności 1975 Nr 131.
12. Beranek L.L.: Music, acoustics and architecture. Nev York: John Wiley 1962.
13. Regent J.: Zagadnienia oceny akustyki pomieszczeń w domach kultury. Oprac. wew. It dla COUK w MKiS, 1976.
14. PN-71/N-1300: Metody wyznaczania parametrów akustycznych.
15. PN-76/N-0130-01 /projekt/. Częstotliwości pomiarów
16. Jordan V.L.: Einige Bemerkungen über Anhall und Anhangsnachhall in Musikräumen. Applied Acoustics 1 1968 Nr 29.
17. Schroeder M.R., Atal B.S., Sessler: Subjective reverberation time and its relation to sound decay. I.C.A.V. Proceedings 1965 G.32 Nr 16.
18. Thiele H.: Acustica 3, Belg. 2. 1953 s. 291.
19. Riechardt W.: Vergleich der objektiven raumakustischen Kriterien für Musik. Acustica. 1969 Nr 20 s. 121-128.
20. Haas H.: Über den Einfluss des Einfachechos auf die Hörbarkeit von Sprache. Acustica 1951 Nr 1 s. 49-48.
21. Doak P.E., Bolt H.: A tentative criterion for short term transient response of auditoriums. J. Acoust. Soc. Amer. 1950. Vol. 22 Nr 4 s. 507.
22. Fenzler M.: Sposób zastosowania magnetofonu opóźnieniowego przy realizacji doraźnych nagłośnień. Oprac. It 1975.
23. Schroeder M.R.: Die Statistischen Parameter der Frequenzkurven von grossen Räumen. Acustica 1954. Nr 4 s. 594.

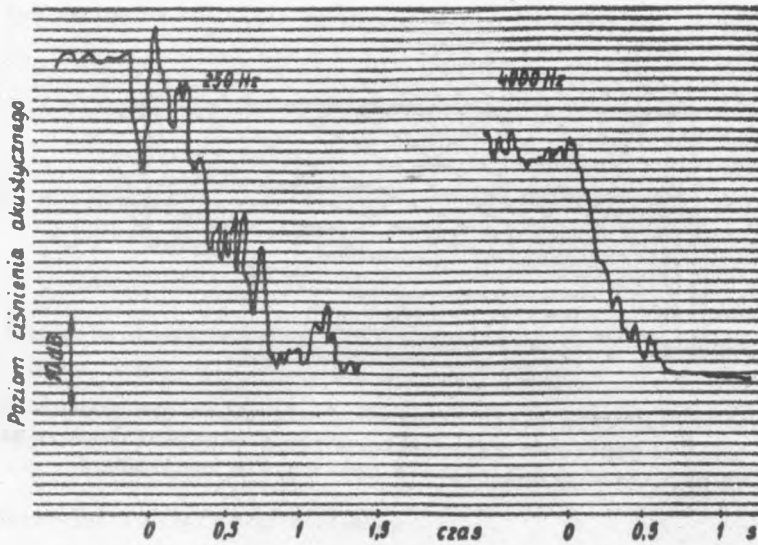
24. Kuttruf H., Thiele R.: Über die Frequenz abhängigkeit des Schalldrucks in Raumen. *Acustica* 1954 Nr 4 s. 614.
25. Fengler M.: Korektory graficzne. Oprac. It 1975.
26. Bruel and Kjaer: Supplement to master catalog 1974, 1976.
27. Skibicki R., Regent J.: Spektrograf akustyczny - rozpoznanie możliwości wykonania urządzenia. Oprac. It 1976.
28. Opis techniczny magnetofonu opóźnieniowego. Oprac. It 1973.
29. Fengler M.: Współczesny stan techniki nagłośnienia. Oprac. wew. It 1976.
30. Donimirski J.: Kryteria wyboru mikrofonów w technice nagłaśniania. *Wiad. Telekom.* 1970 Nr 2.
31. Regent J., Fengler M.: Opracowanie wstępnych WTE zestawów głośnikowych przeznaczonych dla krajowego odbiorcy. Oprac. wew. It 1973.
32. Kuzjurenko Ju.I.: *Iskustvennaja reverberacija*. Moskwa: Energija 1970.
33. Fengler M.: Metody projektowania instalacji nagłośnieniowych. Oprac. It 1976.
34. Regent J.: Badania akustyczne kina Leningrad w Gdańsku. Oprac. wew. It 1975.
35. Dokumentacja techniczna modelu tranzystorowego wzmacniacza mocy 100 VA. Oprac. wew. It 1973.
36. Dokumentacja techniczna tranzystorowego mieszacza 6-kanałowego. Oprac. wew. It 1974.
37. Wymagania techniczno-eksploatacyjne na kompresor mikrofonowy. Oprac. wew. It 1972.
38. Źródło sygnału poziomującego. Oprac. It 1976.
39. Furdujev V.V.: *Akustičeskiye osnovy vesčanija*. Moskwa: GIL 1960.



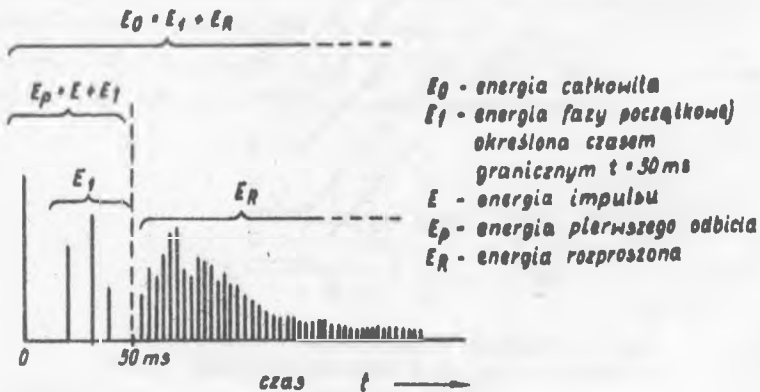
Rys. 1. Analiza graficzna biegu promieni dźwiękowych dla podłużnego przekroju sali. W poprawnie zaprojektowanych pomieszczeniach wiązki odbite np. 1-zeggo odbicia nie powinny się ogniskować



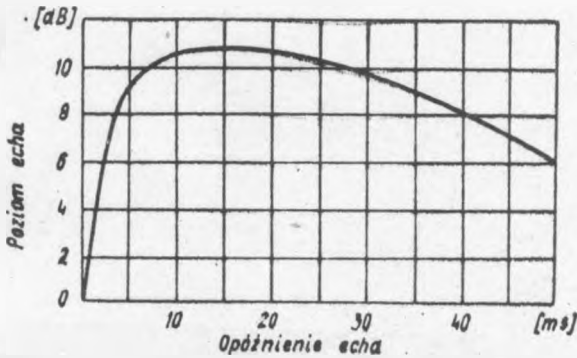
Rys. 2. Spadek zrozumiałości spótgósek w funkcji  $r/d_g$  dla różnych wartości czasu pogłosu



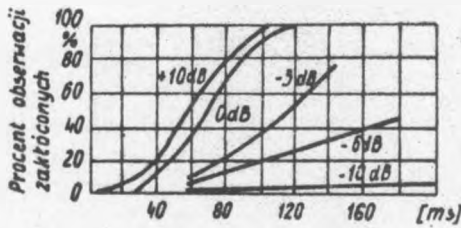
Rys. 3. Krzywe zanikania poziomu ciśnienia akustycznego wg [34]



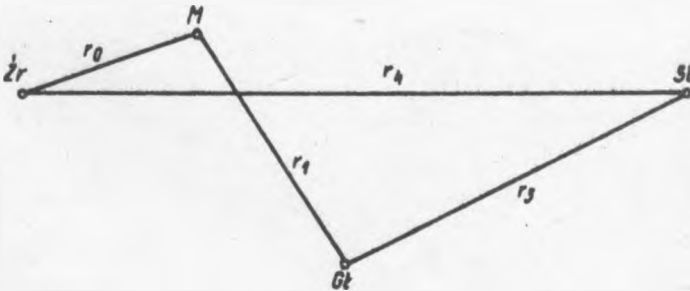
Rys. 4. Obraz "odpowiedzi" pomieszczenia na impuls dźwiękowy



Rys. 4a. Krzywa równej głośności echa i dźwięku bezpośredniego w zależności od ich opóźnienia czasowego wg [20]



Rys. 5. Zależność pomiędzy ilością słuchaczy odczuwających zakłócające działanie echa o różnym poziomie natężenia od jego opóźnienia względem dźwięku bezpośredniego wg [20]



Rys. 6. Rozmieszczenie: źródła naturalnego  $Z_r$ , mikrofonu  $M$ , głośnika  $G_t$ , słuchacza  $S_t$ , w obszarze nagłośnionym

