

Technika nagłaśniania

Pomiar parametrów akustycznych

Sanner Tomasz
Hoffmann Piotr

Plan prezentacji

- Pomiar czasu pogłosu
- Pomiar rozkładu natężenia dźwięku
- Pomiar absorpcji
- Pomiar izolacyjności
- Czas Pogłosu

Podział parametrów oceny akustycznej wnętrz

Parametry oceny
akustycznej
wnętrz

```
graph TD; A[Parametry oceny akustycznej wnętrza] --- B[Parametry obiektywne]; A --- C[Parametry subiektywne]
```

Parametry
obiektywne

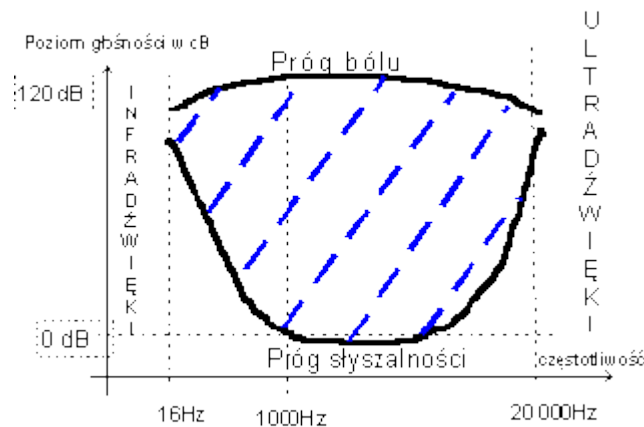
Parametry
subiektywne

Poziom natężenia dźwięku

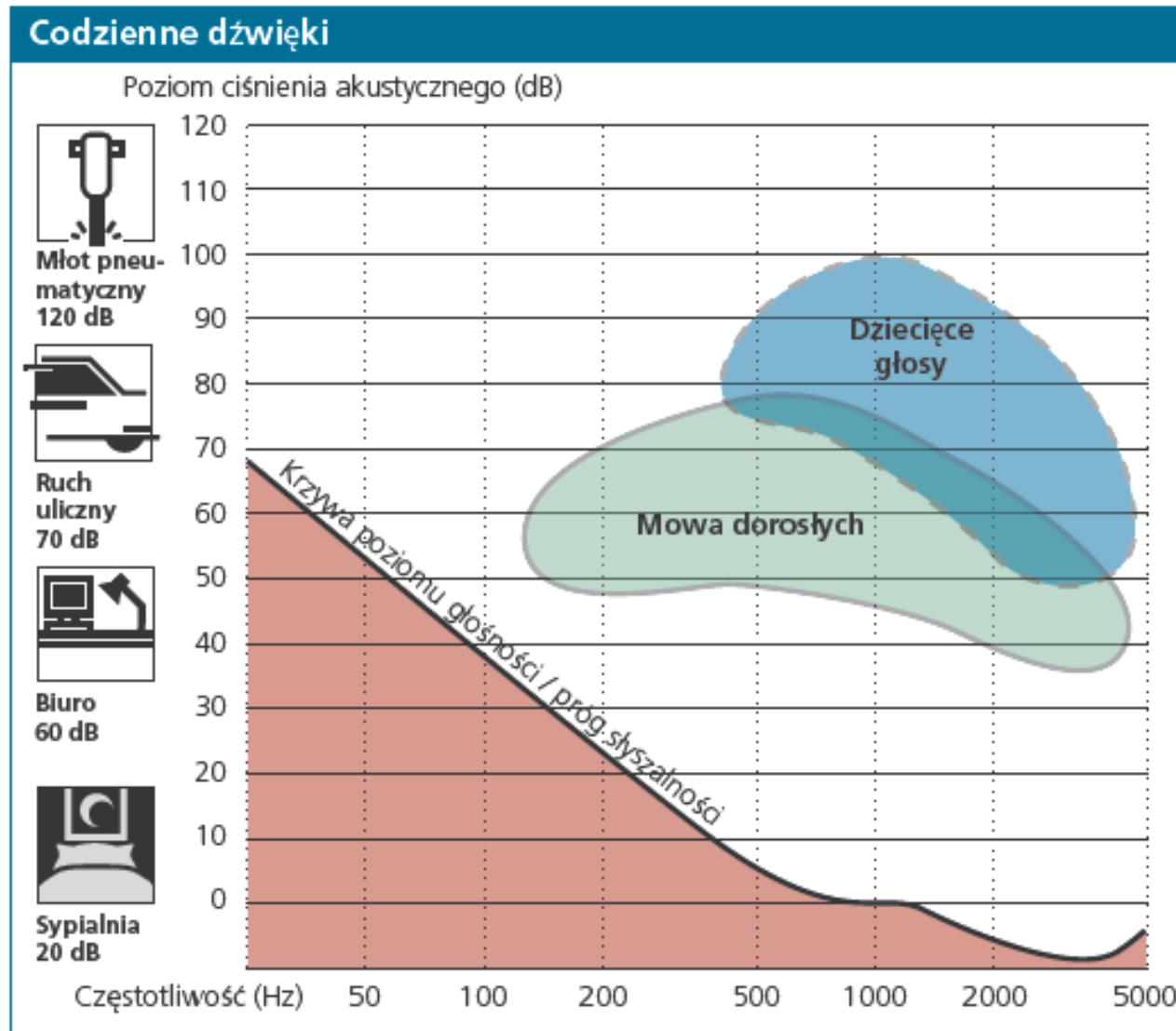
$$L = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

I - natężenie badanej fali dźwiękowej

I_0 - natężenie progu słyszalności człowieka (wartość odniesienia) : 10^{-12} W / m^2



Poziom ciśnienia akustycznego

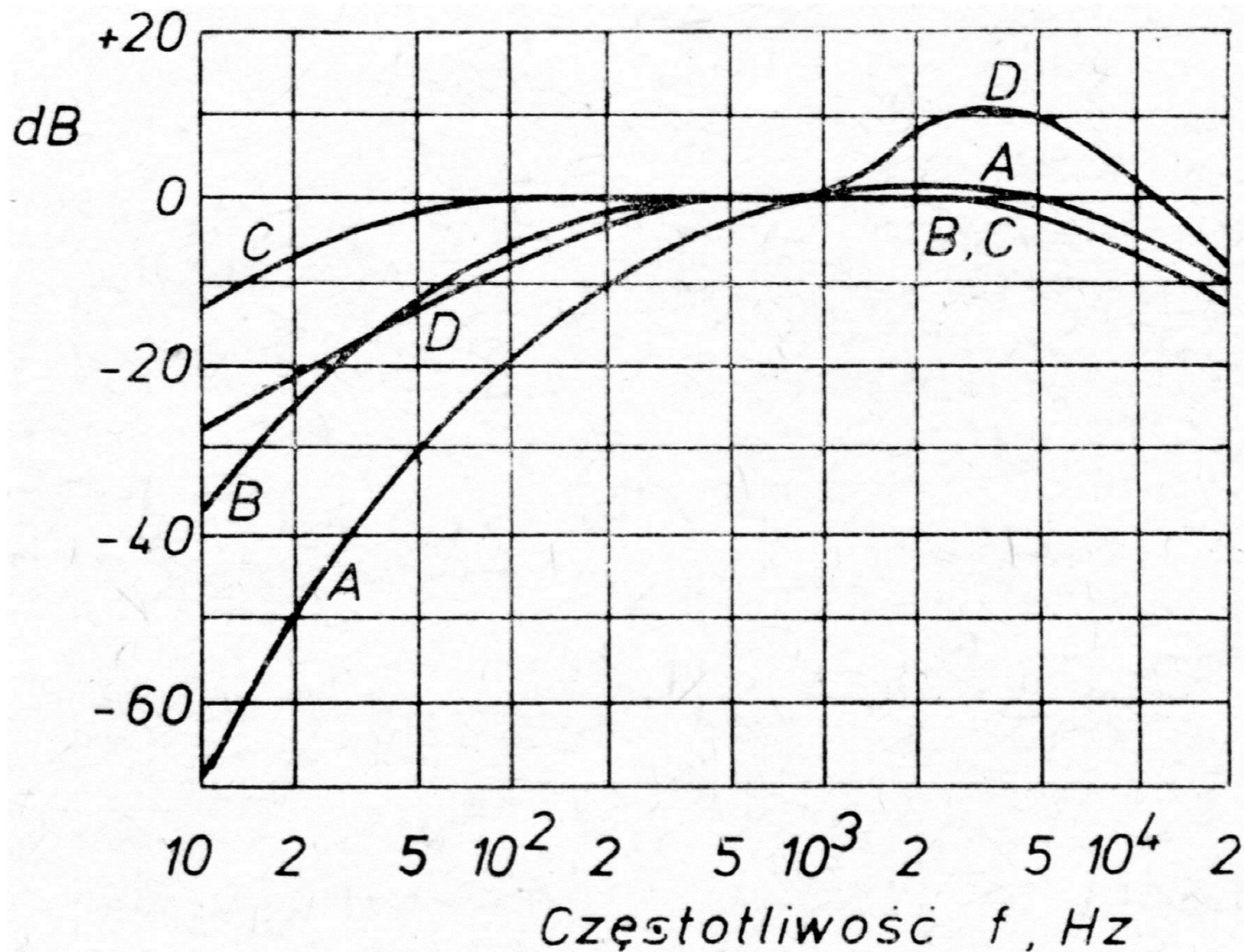


Krzywe korekcyjne

Dla różnych wartości poziomu dźwięku używa się następujących krzywych korekcyjnych:

- 0-55 dB – krzywa korekcyjna A,
- 55-85 dB – krzywa korekcyjna B,
- powyżej 85 dB – krzywa korekcyjna C.
- Krzywą korekcyjną D stosuje się w pomiarach dźwięków impulsowych.

Krzywe korekcyjne



Czas pogłosu - Sabine

Czas mierzony od momentu wyłączenia źródła dźwięku w pomieszczeniu, po którym poziom natężenia tego sygnału maleje o 60 dB w stosunku do poziomu wyjściowego.

Stosowane dla dużych pomieszczeń o wyrównanej i równomiernej chłonności akustycznej

$$T_{60}[s] = 0,163 \frac{V}{A}$$

V – objętość wnętrza [m^3]

A – chłonność akustyczna wnętrza

Chłonność akustyczna

$$A[m^2] = \sum_i S_i * \alpha_i$$

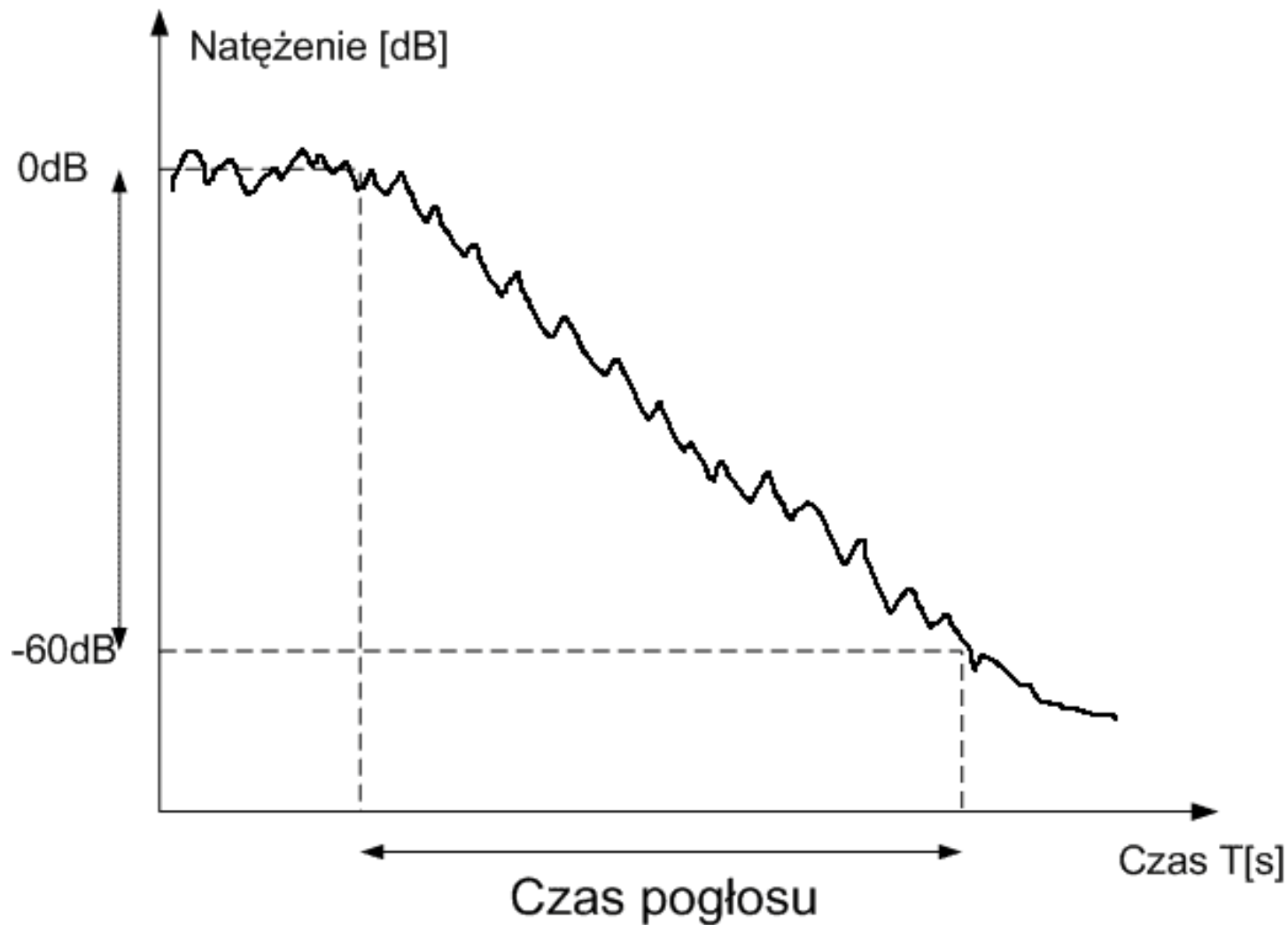
S_i – powierzchnia i – tej płaszczyzny ograniczającej wnętrze
 α_i – współczynnik pochłaniania i – tej płaszczyzny

Średni współczynnik pochłaniania

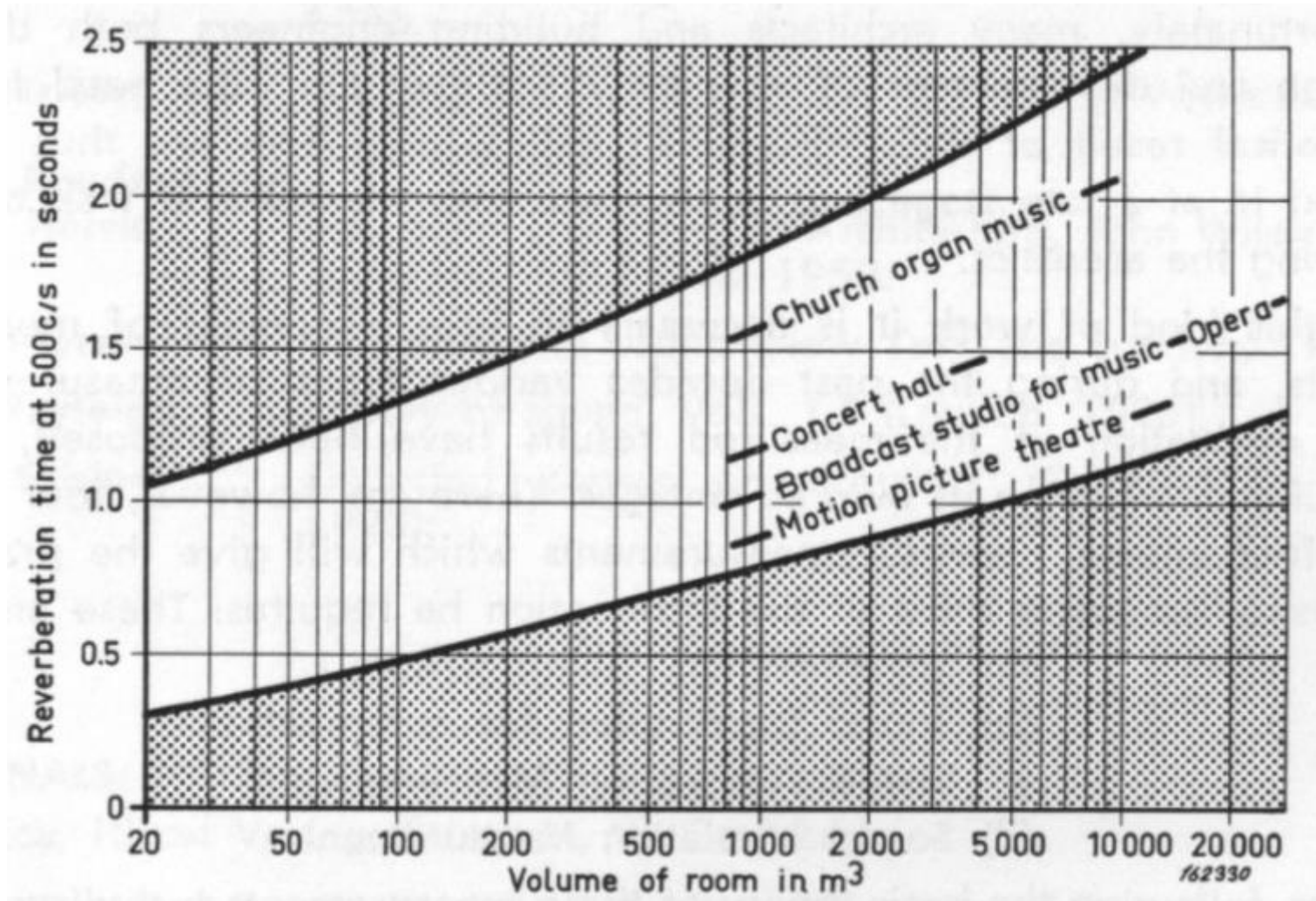
$$\alpha_{\acute{s}r} = \frac{1}{S} \sum_i S_i * \alpha_i$$

S_i – powierzchnia i – tej płaszczyzny ograniczającej wnętrze
 α_i – współczynnik pochłaniania i – tej płaszczyzny
 S – całkowita powierzchnia wnętrza

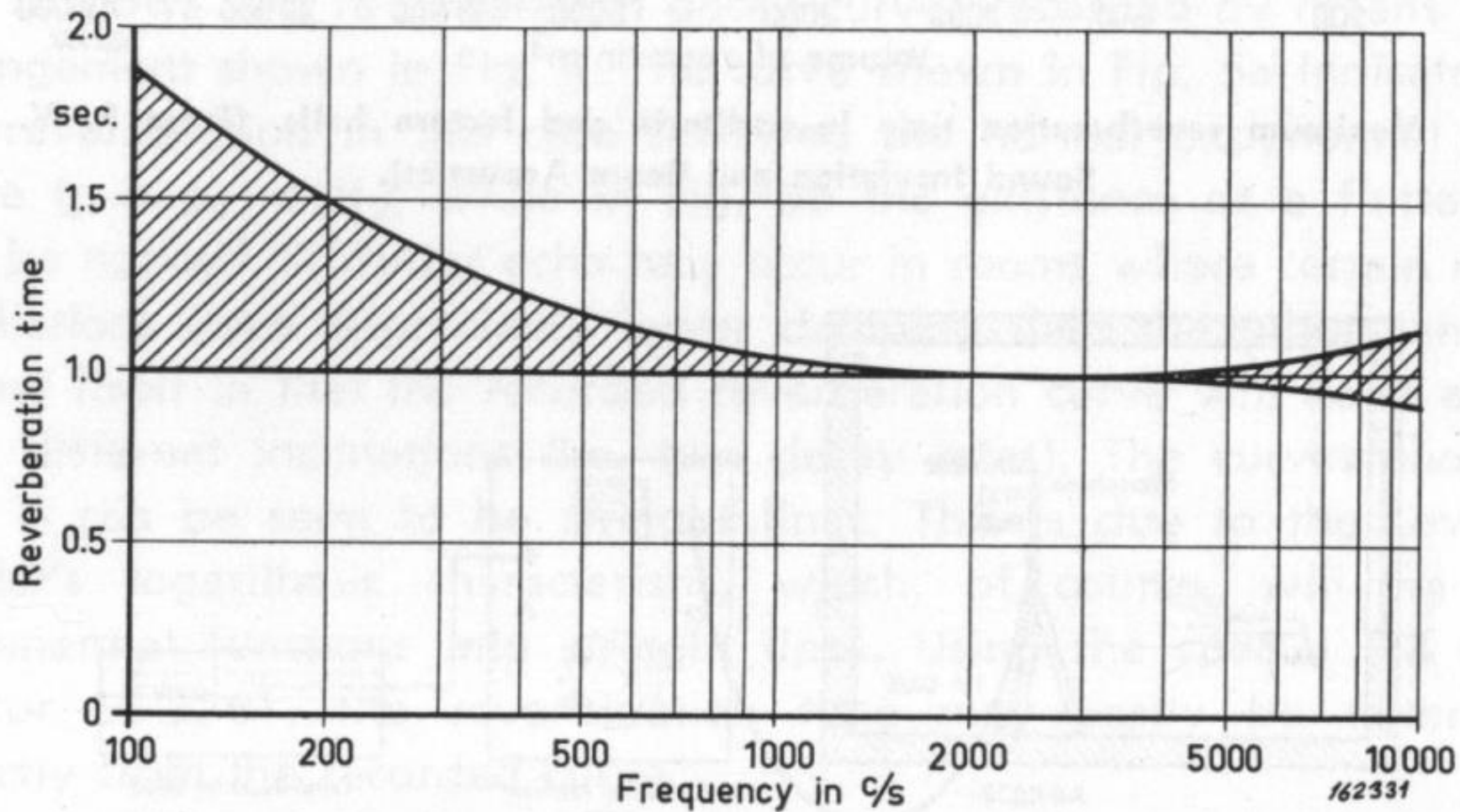
Krzywa zaniku poziomu natężenia dźwięku



Optymalny poziom czasu pogłosu dla pomieszczeń o określonej objętości



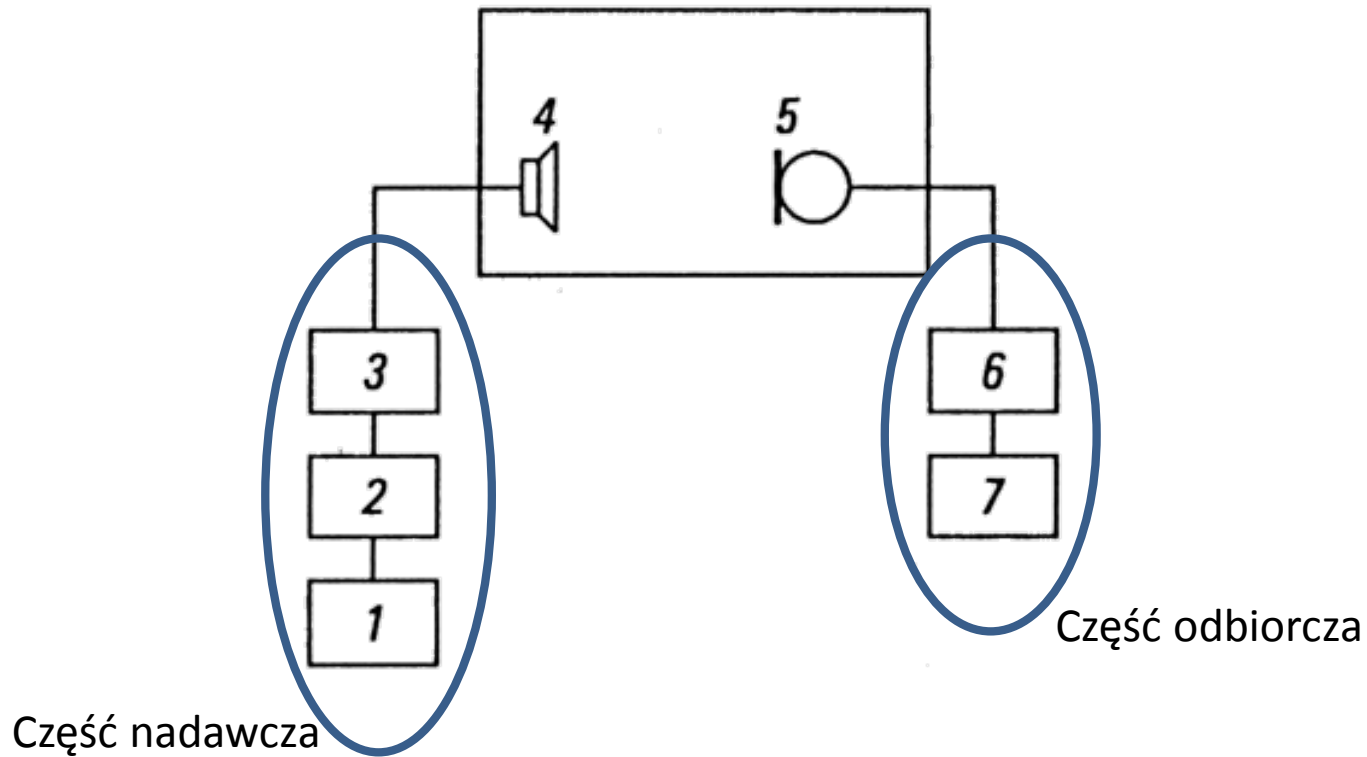
Rozkład czasu pogłosu dla częstotliwości



Czynniki wpływające na czas pogłosu

- Kształt i wielkość pomieszczenia
- Wilgotność i temperatura
- Położenie źródła dźwięku
- Rodzaj i rozłożenie materiałów konstrukcyjnych
- Częstotliwość sygnału

Pomiar czasu pogłosu



Pomiar czasu pogłosu

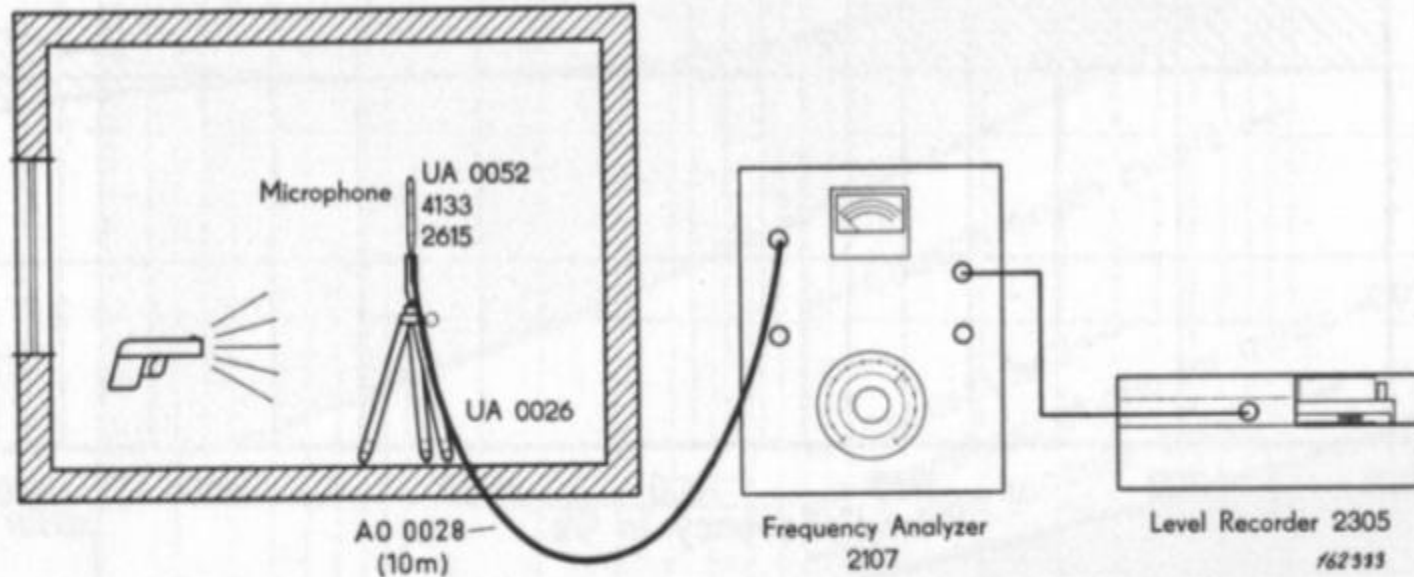


Fig. 4. Example of a simple arrangement for the measurement of reverberation decay curves. Consisting of a Condenser Microphone with Nose Cone + Cathode Follower*) (Type 4133 + UA 0052 + 2615), a Frequency Analyzer (Type 2107) and a Level Recorder (Type 2305), as well as a Microphone Stand (UA 0026) and Microphone Cable (AO 0028).

Pomiar czasu pogłosu

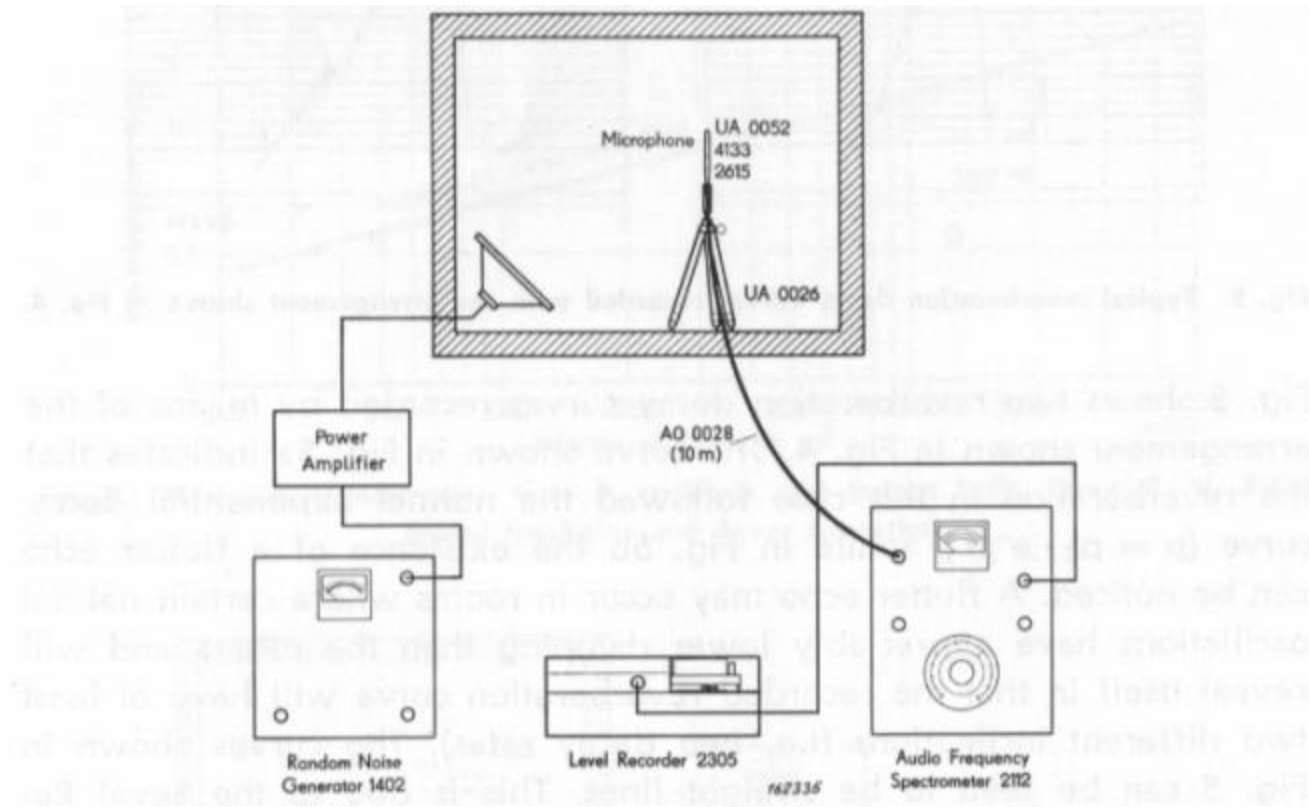


Fig. 7. Reverberation measuring arrangement using wide band noise as sound source. The equipment consists of a Random Noise Generator (Type 1402), a power amplifier and loudspeaker, a Condenser Microphone with Nose Cone and Cathode Follower*) (Type 4133 + UA 0052 + 2615), Frequency Analyzer (Type 2107 or 2112), and a Level Recorder (Type 2305), as well as a Microphone Stand (UA 0026) and Microphone Cable (AO 0028).

Pomiar czasu pogłosu

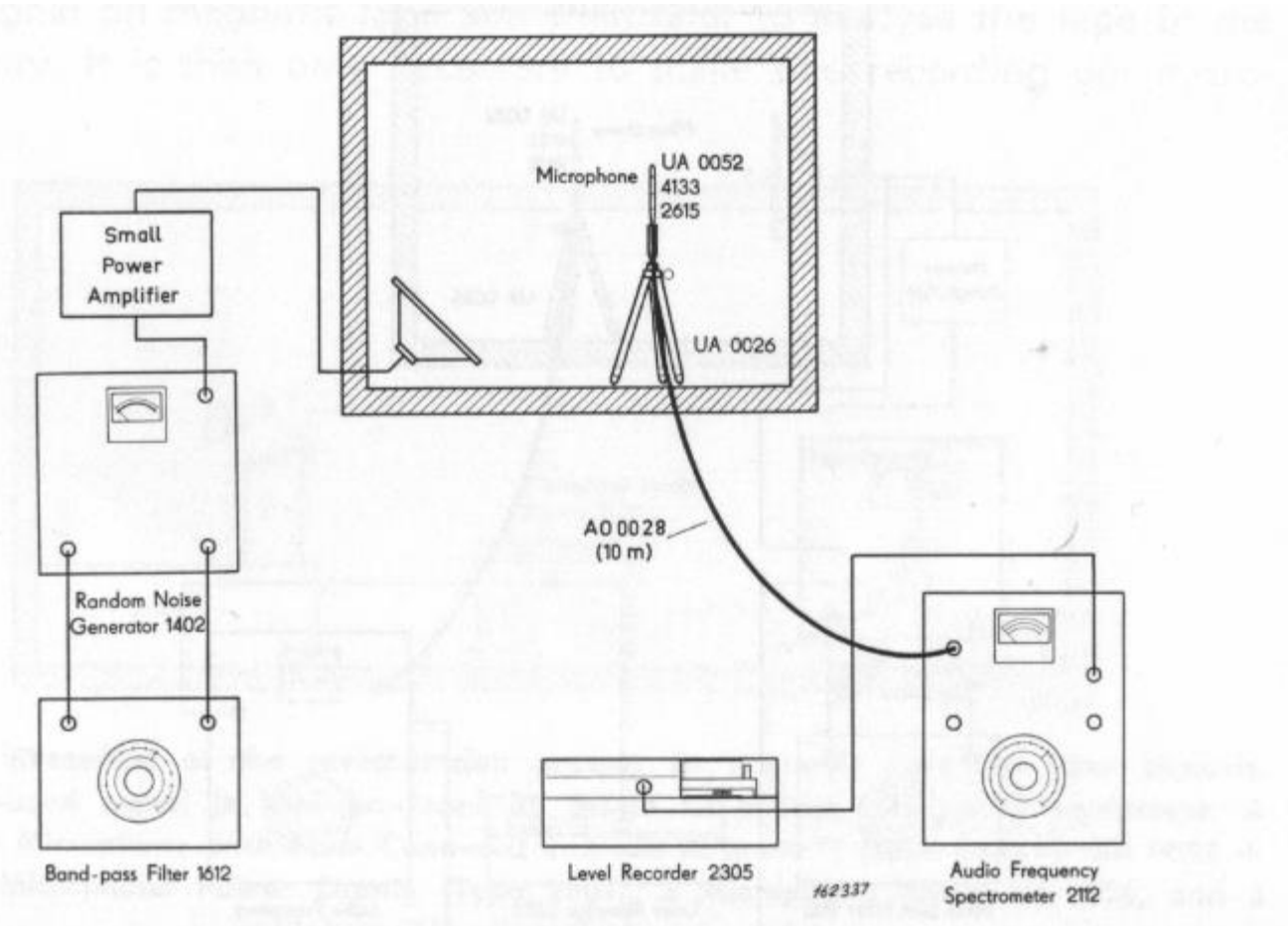


Fig. 11. Measuring arrangement employing 1/3 octave bands of noise as sound source. The arrangement is obtained by simply adding a Band-Pass Filter Set Type 1612 to the set-up shown in Fig. 7.

Pomiar czasu pogłosu

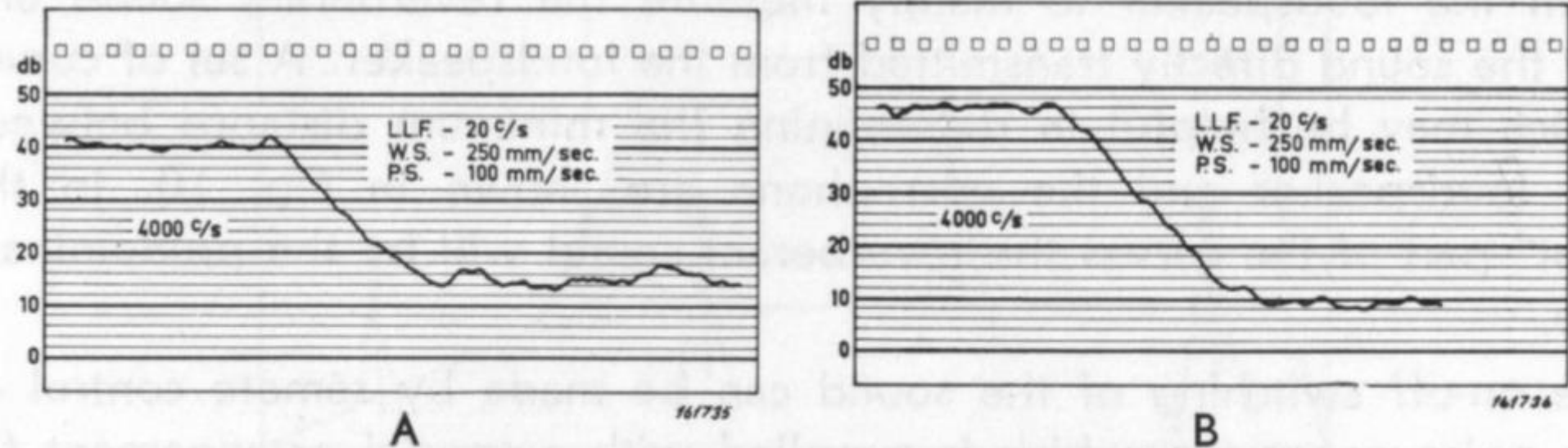


Fig. 12. Examples of reverberation curves recorded with:

a) the set-up shown in Fig. 7.

b) the set-up shown in Fig. 11.

Note the distinct difference in dynamic range.

Pomiar czasu pogłosu

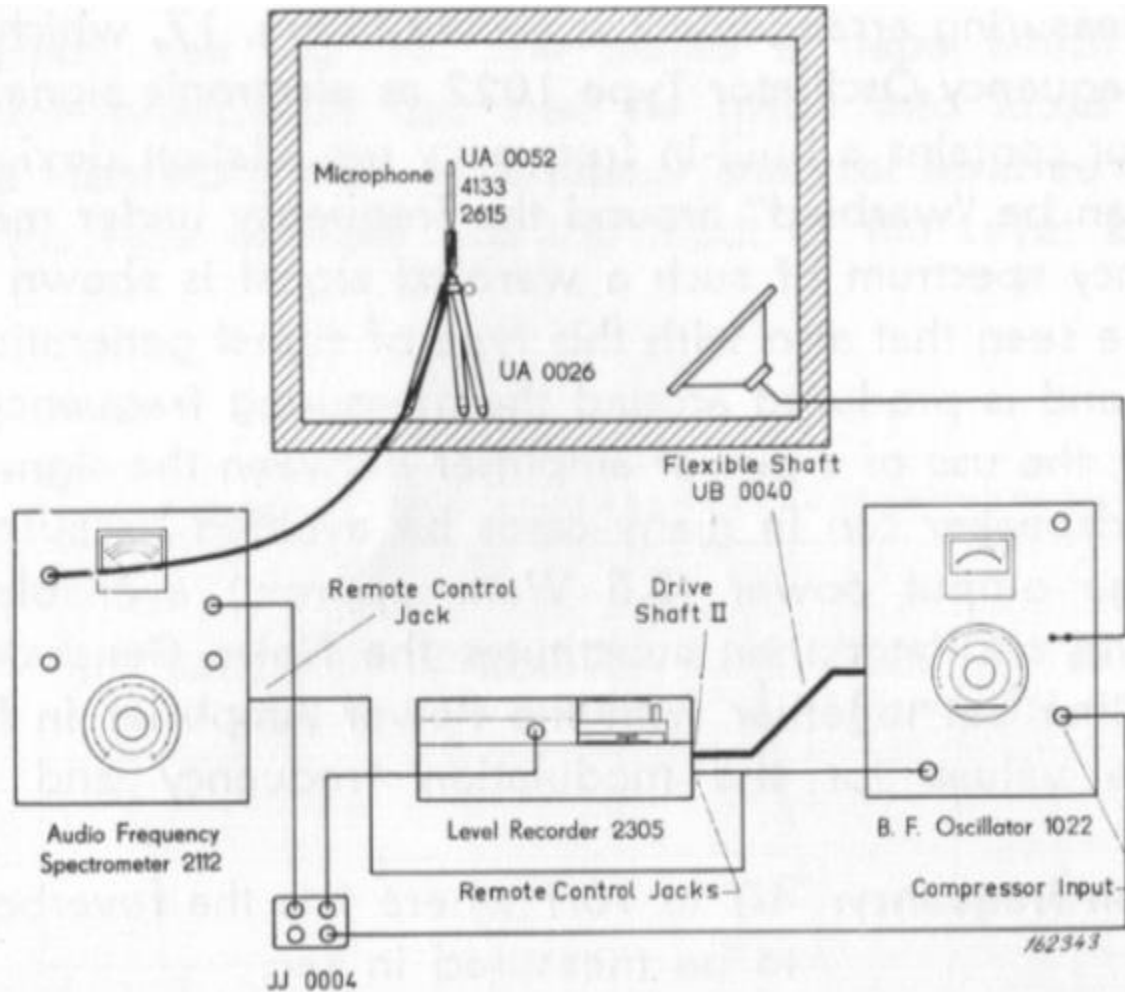
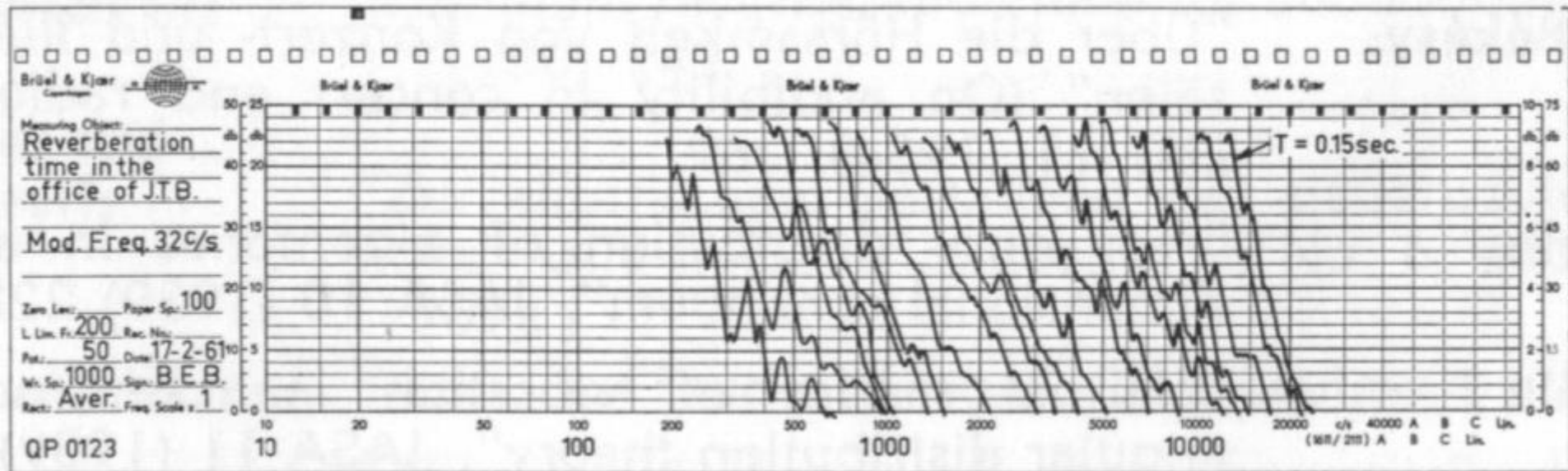


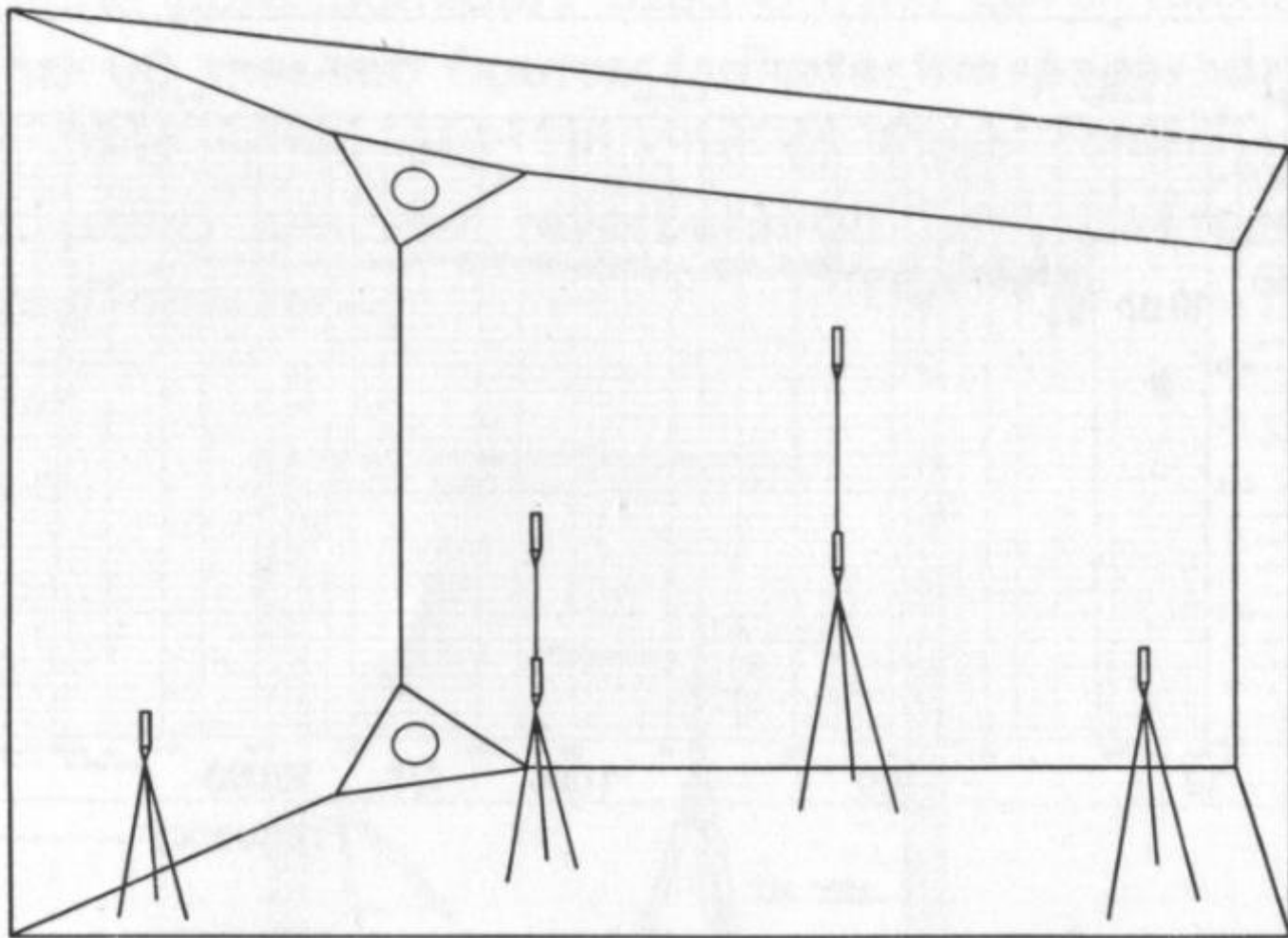
Fig. 19. Measuring arrangement for the automatic recording of reverberation curves using warbled tones. Measuring equipment: The same as shown in Fig. 17. However, the frequency analyzer must in this case be the Audio Frequency Spectrometer (Type 2112).

Pomiar czasu pogłosu



161854

Pomiar czasu pogłosu



162336

Fig. 9. Example of "correct" location of loudspeakers and microphones.

Pomiar czasu pogłosu

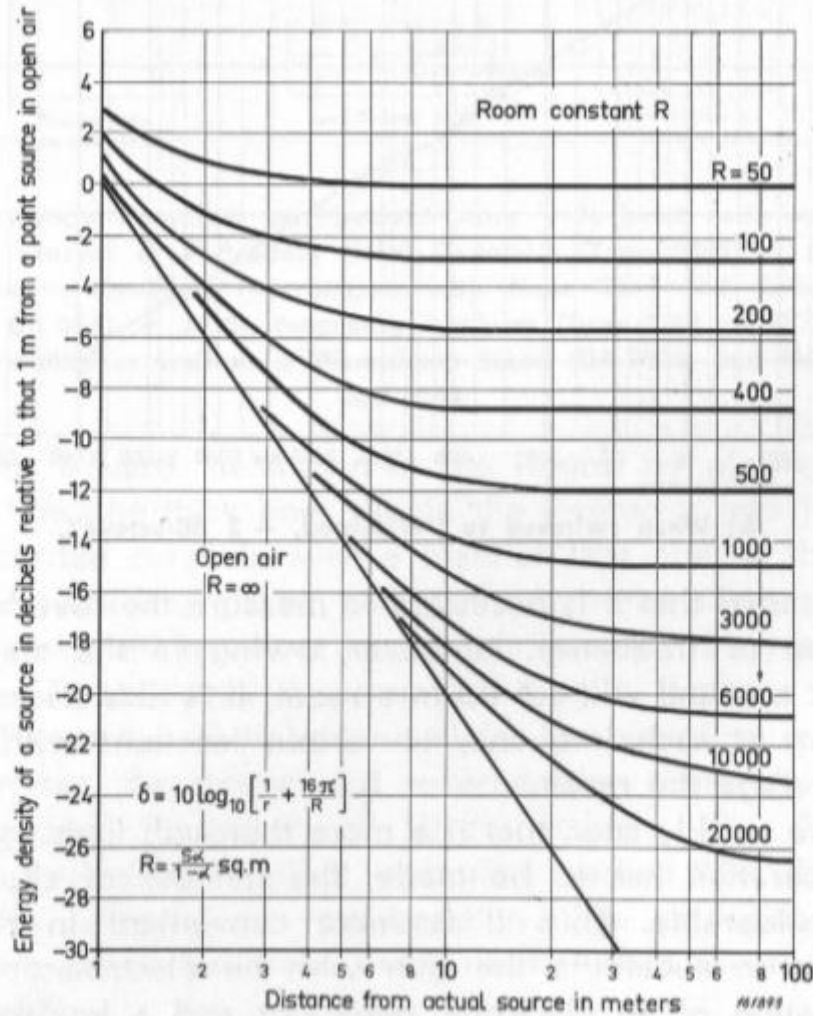
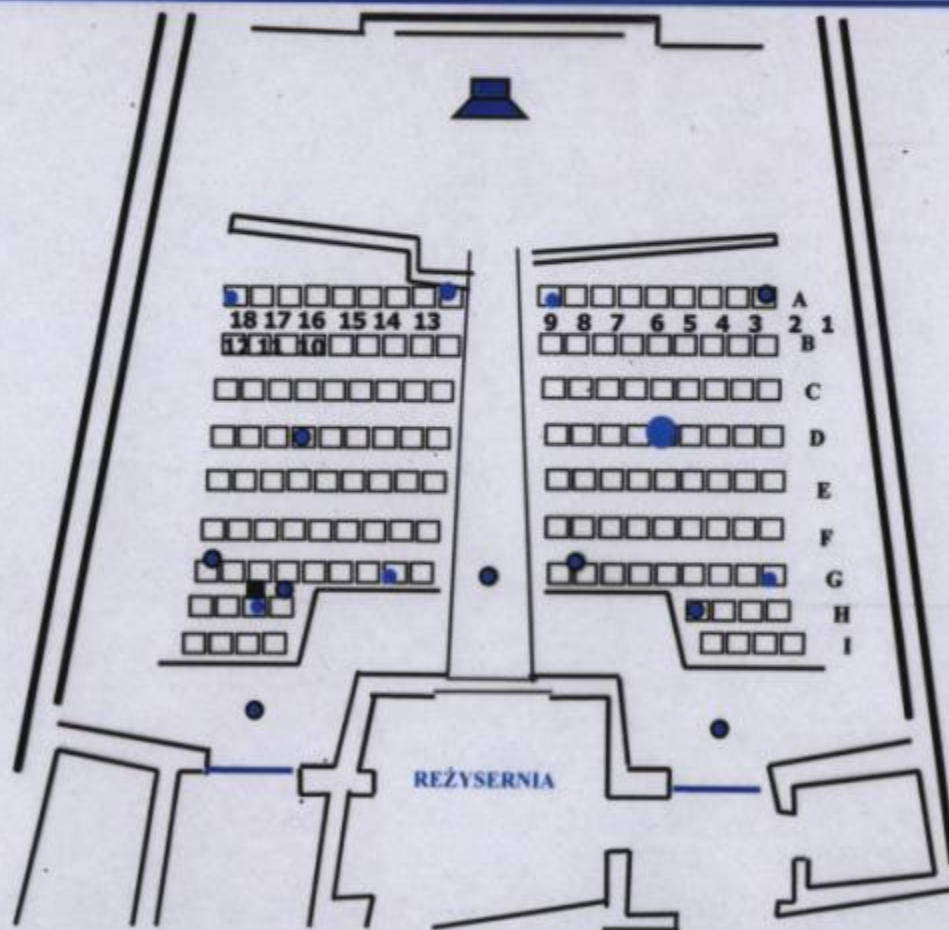


Fig. 10. Curves showing the average energy density at different distances away from a point source placed in a room with the absorption $S \times \alpha$. (After Hopkins and Stryker Also reproduced in L. L. Beranek; Acoustic Measurements).

Rozmieszczenie punktów pomiarowych w audytorium nr 1, WETI



Pomiar rozkładu natężenia dźwięku

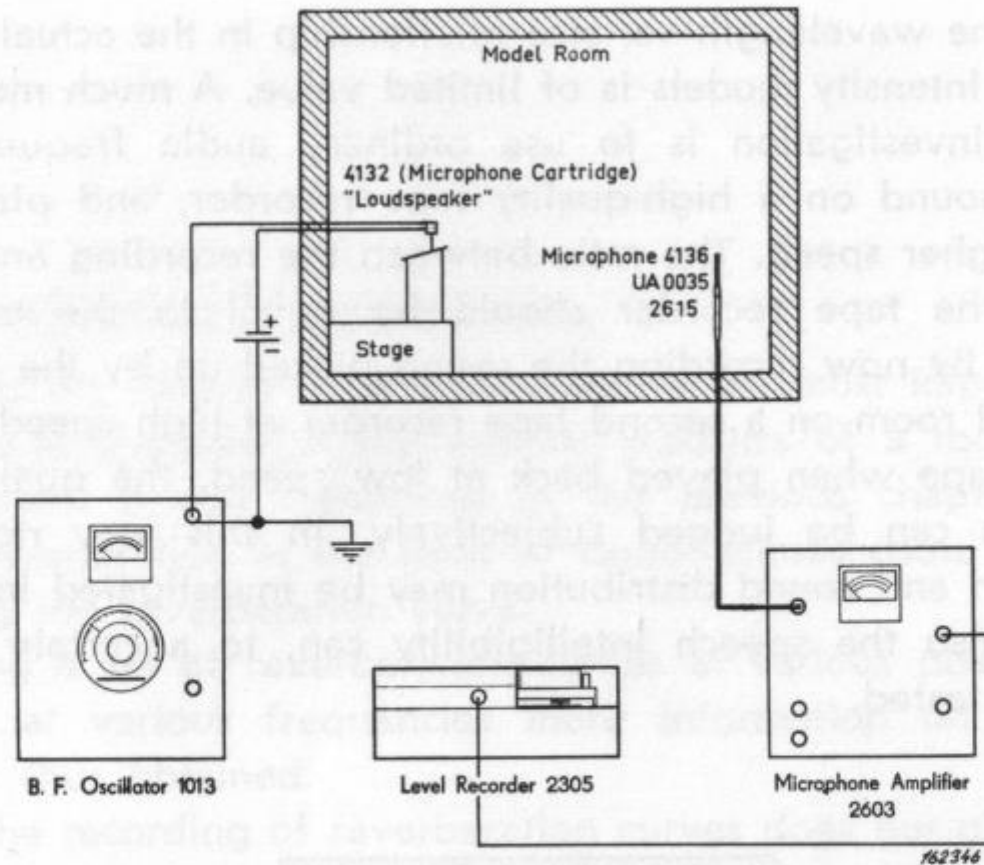
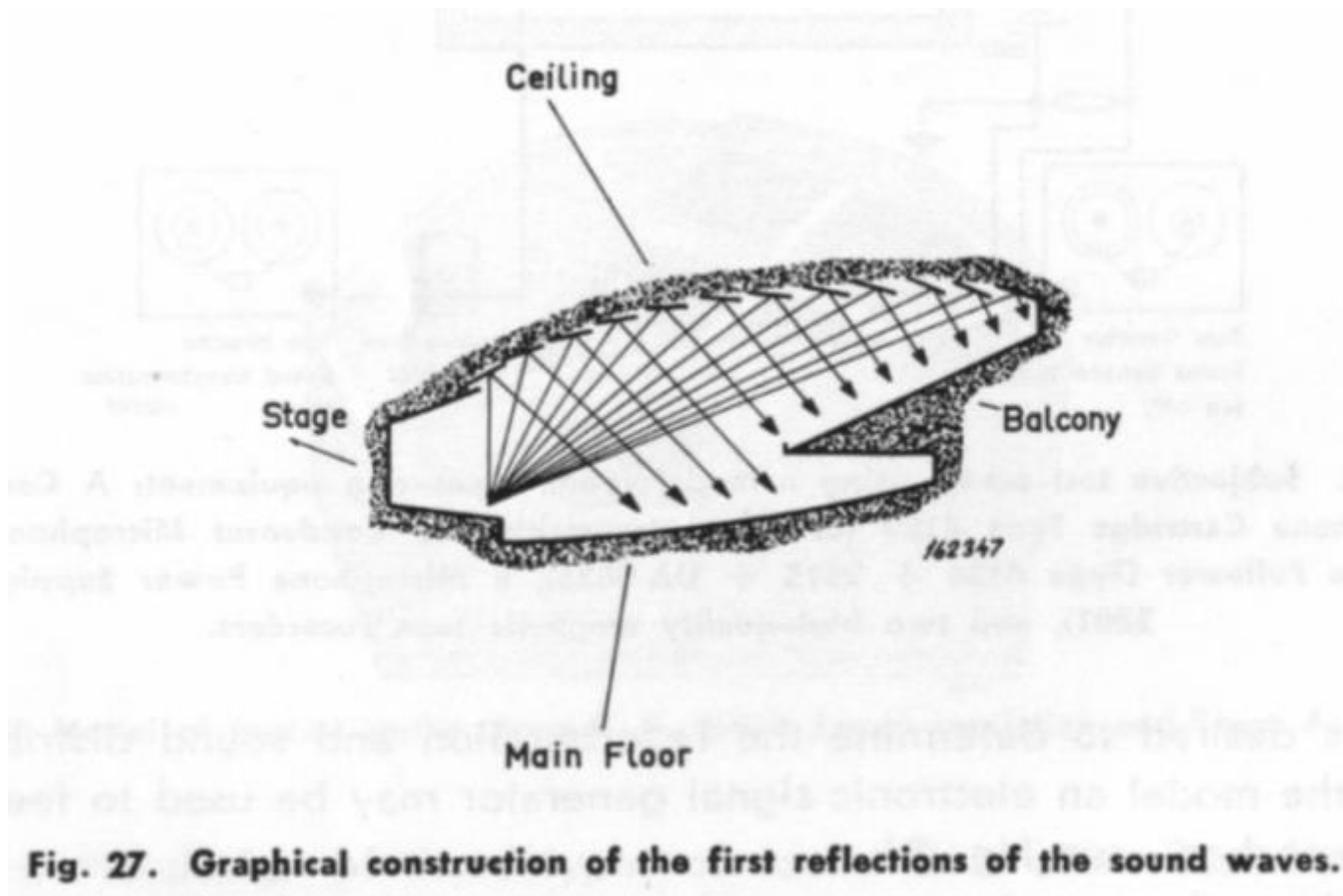


Fig. 26. Arrangement used to measure the reverberation and sound distribution in model rooms by means of warbled tones. Measuring equipment: A Beat Frequency Oscillator (Type 1013), a Condenser Microphone Cartridge Type 4131 (as "loudspeaker"), a Condenser Microphone with Cathode Follower (Type 4136 + 2615 + UA 0035), a Microphone Amplifier (Type 2604), and a Level Recorder (Type 2305).

Pomiar rozkładu natężenia dźwięku



Pomiar rozkładu natężenia dźwięku

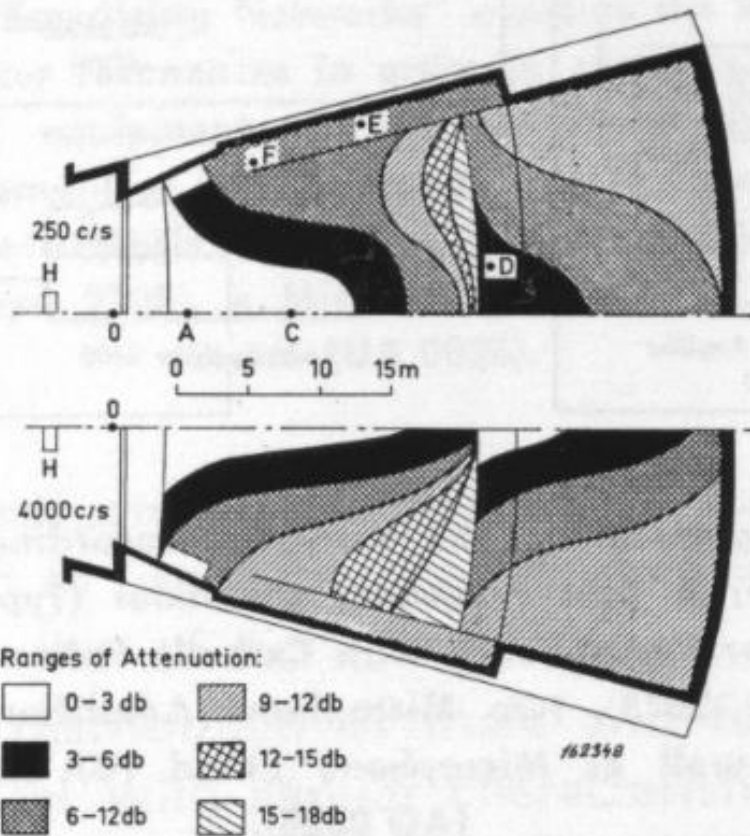


Fig. 28. Example of sound distribution curves measured in a concert hall. (From: T. Tarnoczy: Raumakustische Verbesserung des Budapester Stadttheaters. — Acustica, Vol. 4. 1954).

Pomiar rozkładu natężenia dźwięku

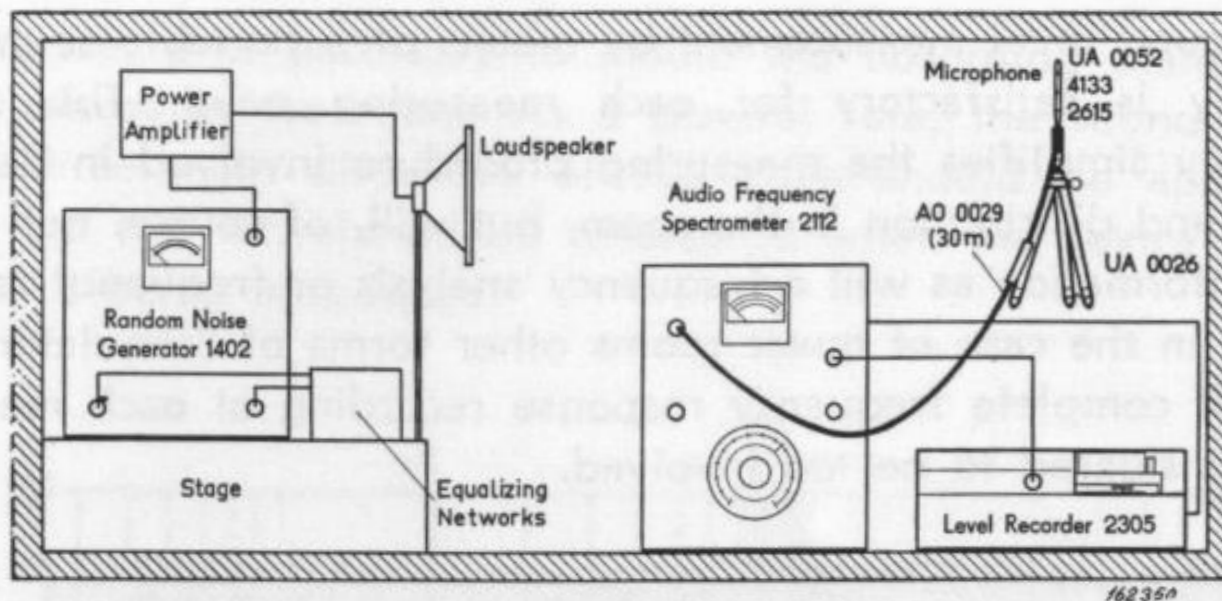


Fig. 31. Sound distribution measurements using wide band random noise as the sound source. The "box" marked "Equalizing Networks" contains the R-L-C components necessary to compensate for loudspeaker resonances in order to obtain a "flat" frequency response of the speaker. Measuring equipment: A Random Noise Generator (Type 1402), an equalizing network, power amplifier and loudspeaker, a Condenser Microphone with Nose Cone and Cathode Follower* (Type 4133 + UA 0052 + 2615), a Spectrometer (Type 2112), a Level Recorder (Type 2305), a Microphone Cable (AO 0029), and a Microphone Stand (UA 0026).

Pomiar rozkładu natężenia dźwięku

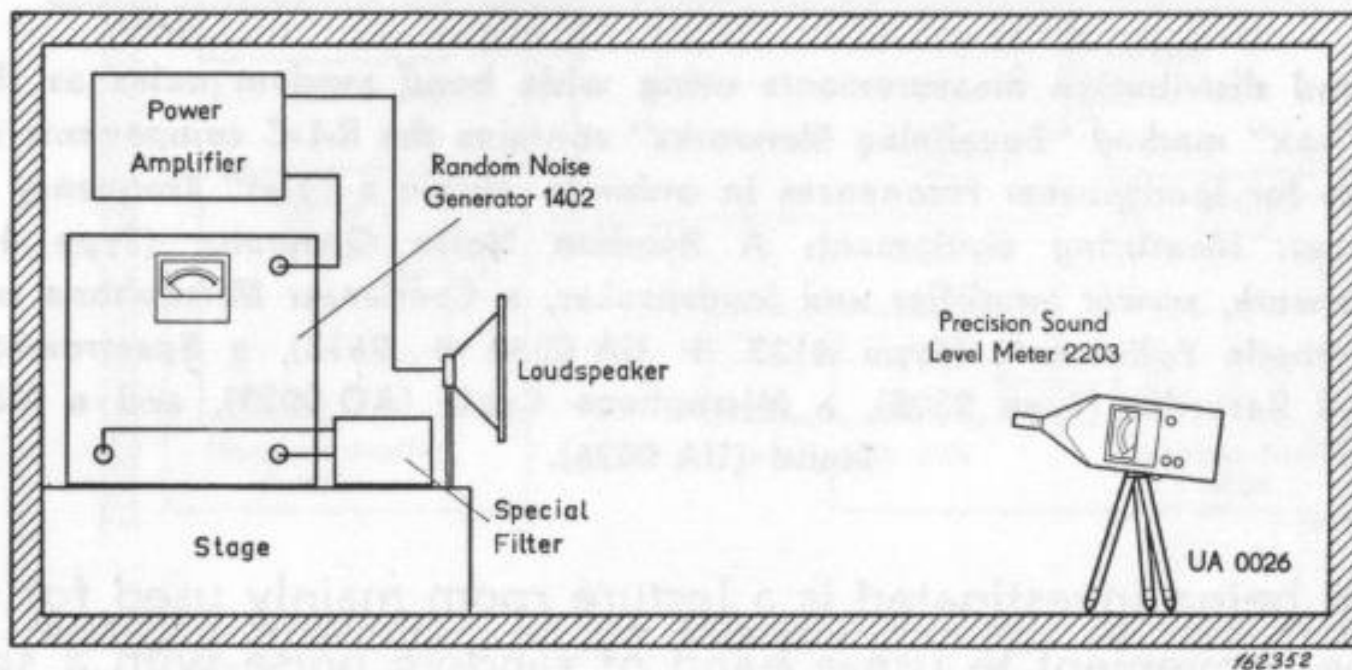
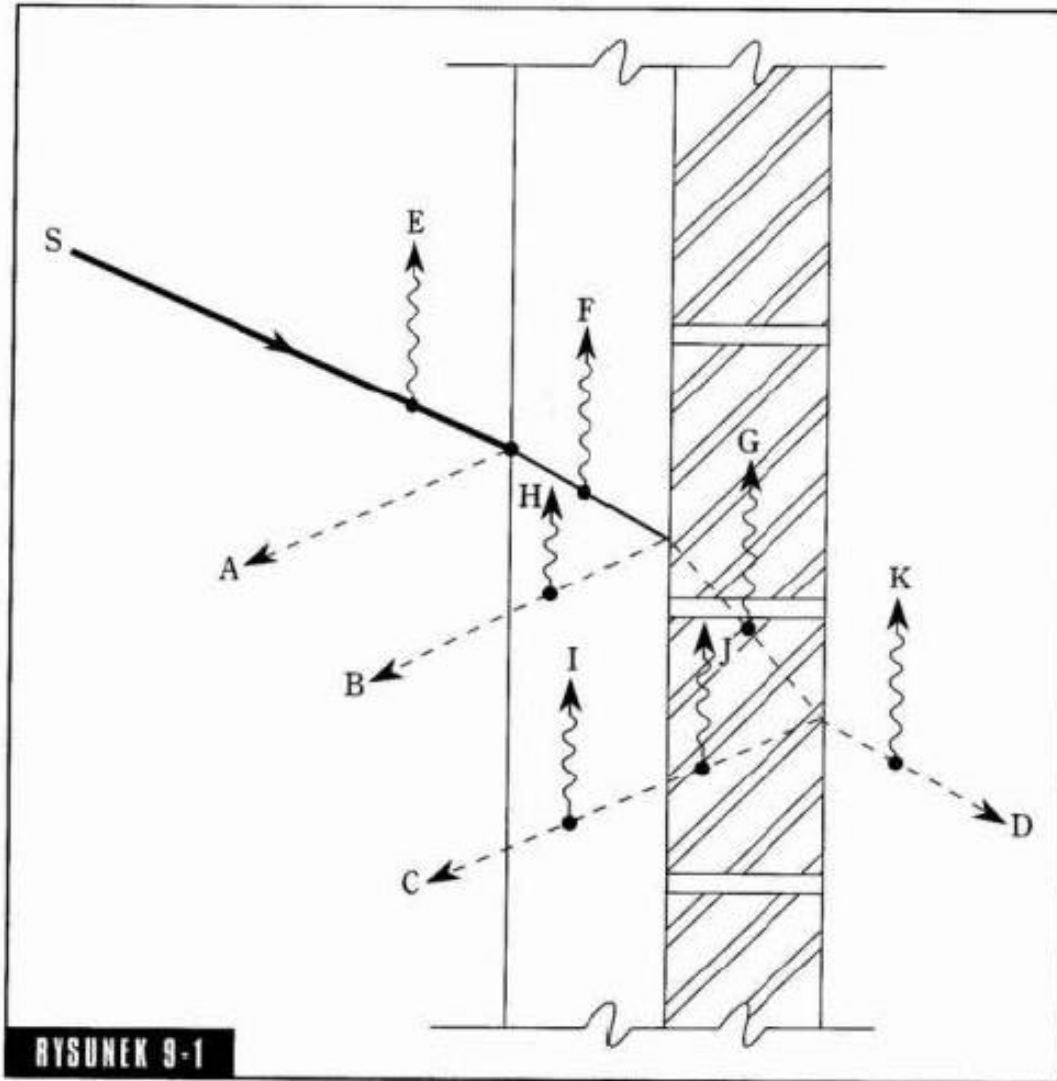


Fig. 33. "Simple" measuring set-up for sound distribution measurements in rooms mainly used for speech. Measuring equipment: A Random Noise Generator (Type 1402) with special filter, a power amplifier and loudspeaker, a Precision Sound Level Meter (Type 2203) and a Microphone Stand (UA 0026).

Rozpraszanie energii dźwiękowej



Współczynnik pochłaniania dźwięku

Współczynnik pochłaniania – parametr służący do opisu właściwości dźwiękochłonnych ciał fizycznych. Jest miarą skuteczności materiału w pochłanianiu dźwięku.

Współczynnik pochłaniania jest określony wzorem:

$$\alpha = \frac{E_{poch}}{E_{pad}}$$

, gdzie: E_{poch} , E_{pad} – energia fali odpowiednio pochłoniętej i padającej w jednostce czasu.

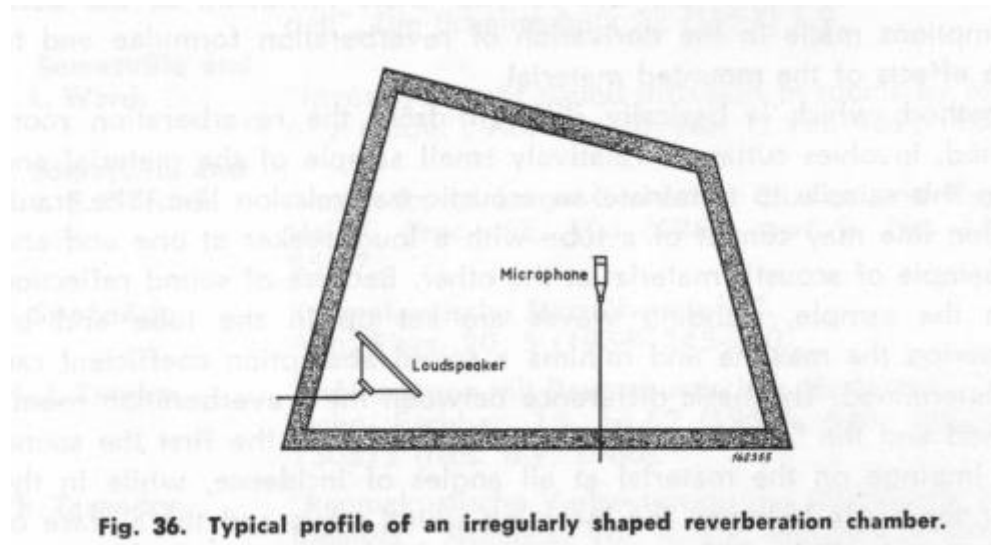
Ilość energii, która zostanie pochłonięta zależy od właściwości dźwiękochłonnych ciała, na który pada fala (m. in. od struktury wierzchniej warstwy, faktury i grubości) oraz od częstotliwości padającego dźwięku.

Metody pomiaru współczynnika pochłaniania dźwięku

Wyróżniamy dwie podstawowe metody wyznaczania wartości współczynnika pochłaniania dźwięku:

- Pomiar w warunkach pola pogłosowego
- Pomiar w rurze Kundta

Pomiar w warunkach pola pogłosowego



$$\alpha_{sample} = \frac{0,16 * V}{S_{sample}} \left(\frac{1}{T_{60,sample}} - \frac{1}{T_{60,empty}} \right) + \alpha_{empty}$$

, gdzie

$T_{60,empty}$ - początkowy czas pogłosu

$T_{60,sample}$ - czas pogłosu z badanym materiałem

V - objętość pomieszczenia [m³]

S_{sample} - powierzchnia badanego materiału [m²]

Pomiar w warunkach pola pogłosowego

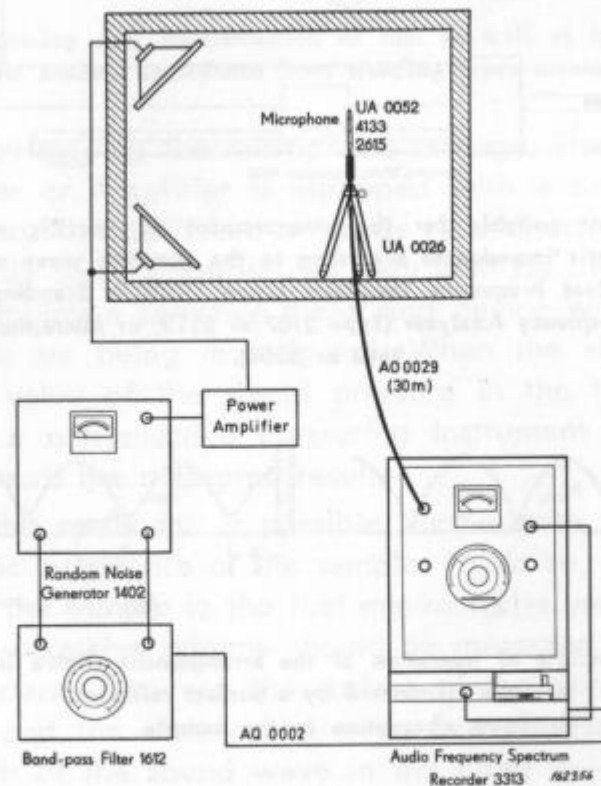
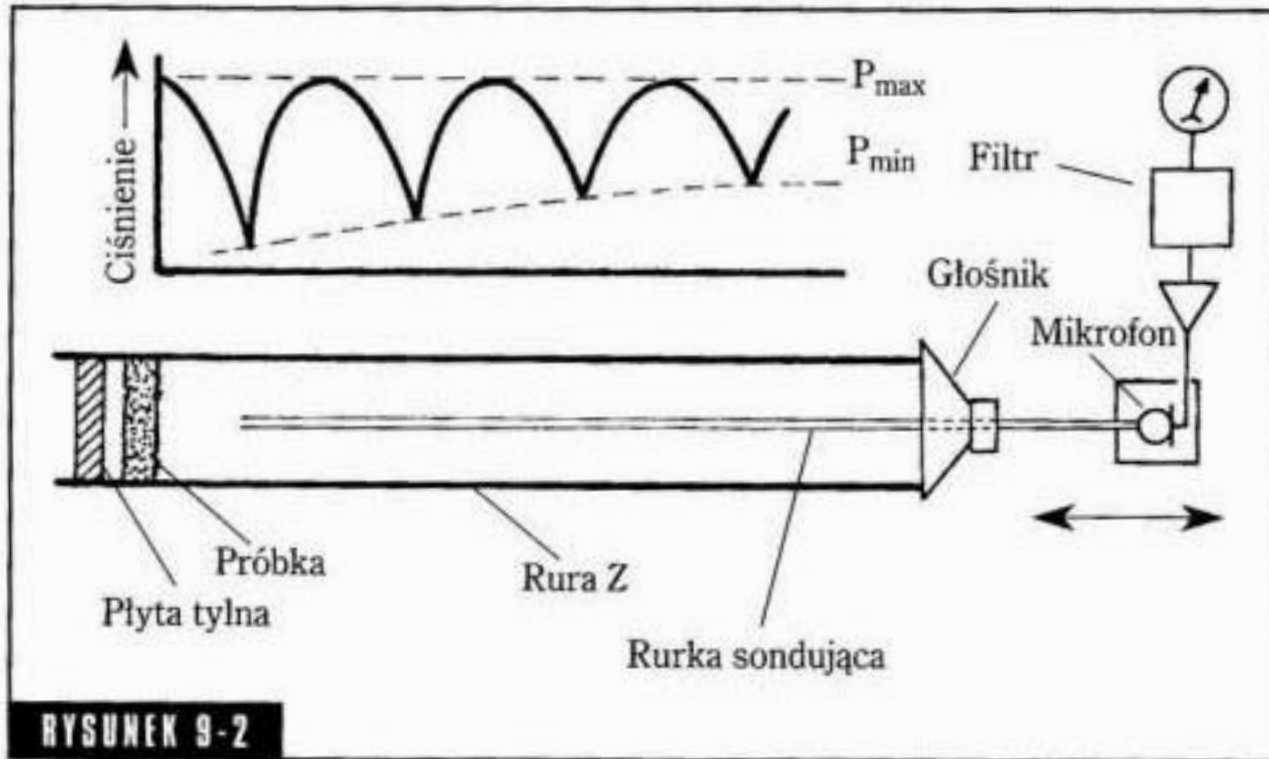


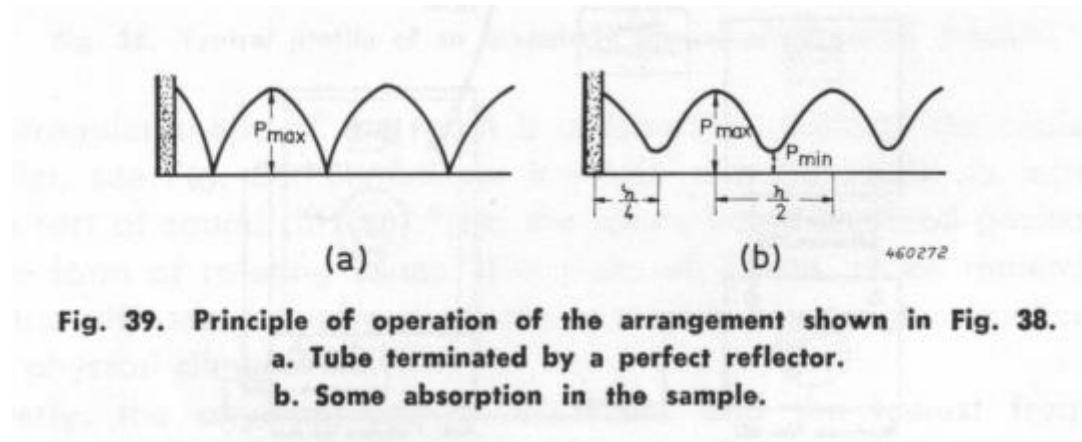
Fig. 37. Automatic reverberation measuring arrangement suitable for "stationary" use. The equipment consists of: A Random Noise Generator (Type 1402), a Band-Pass Filter Set Type 1612), a small power amplifier and loudspeakers, a Condenser Microphone with Nose Cone and Cathode Follower (Type 4133 + UA 0052 + 2615), an Audio Frequency Spectrum Recorder (Type 3313), as well as a Microphone Stand (UA 0026) and Microphone Cable (AO 0029). If it is desired to use more stationary microphone positions, use should be made of the Microphone Power Supply (Type 2801).

Pomiar w rurze Kundta



Pomiar współczynnika pochłaniania w rurze Kundta metodą fali stojącej dla prostopadłego padania fali.

Pomiar w rurze Kundta



$$\alpha = 1 - \left(\frac{\frac{p_{max}}{p_{min}} - 1}{\frac{p_{max}}{p_{min}} + 1} \right) = 1 - \beta$$

, gdzie: $\frac{p_{max}}{p_{min}}$ - stosunek amplitud największego ciśnienia akustycznego do najmniejszego
 β - wsp. odbicia od pow. materiału

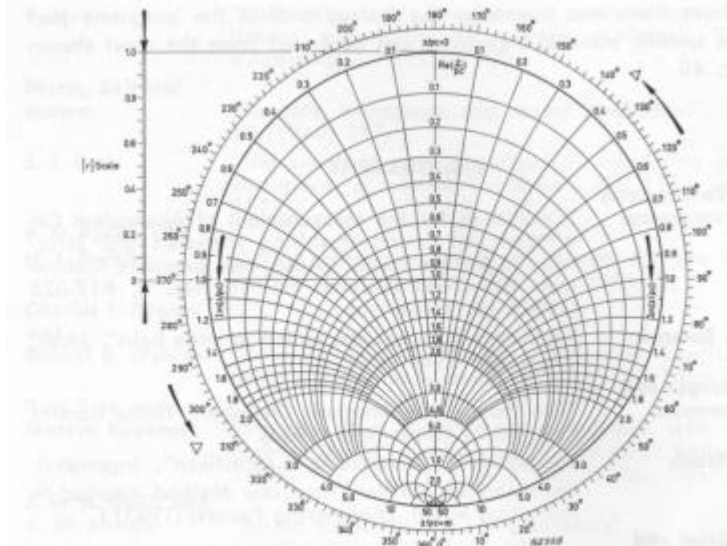


Fig. 40. Chart allowing easy determination of real as well as imaginary part of the specific acoustic impedance from standing wave measurements.

Pomiar w rurze Kundta

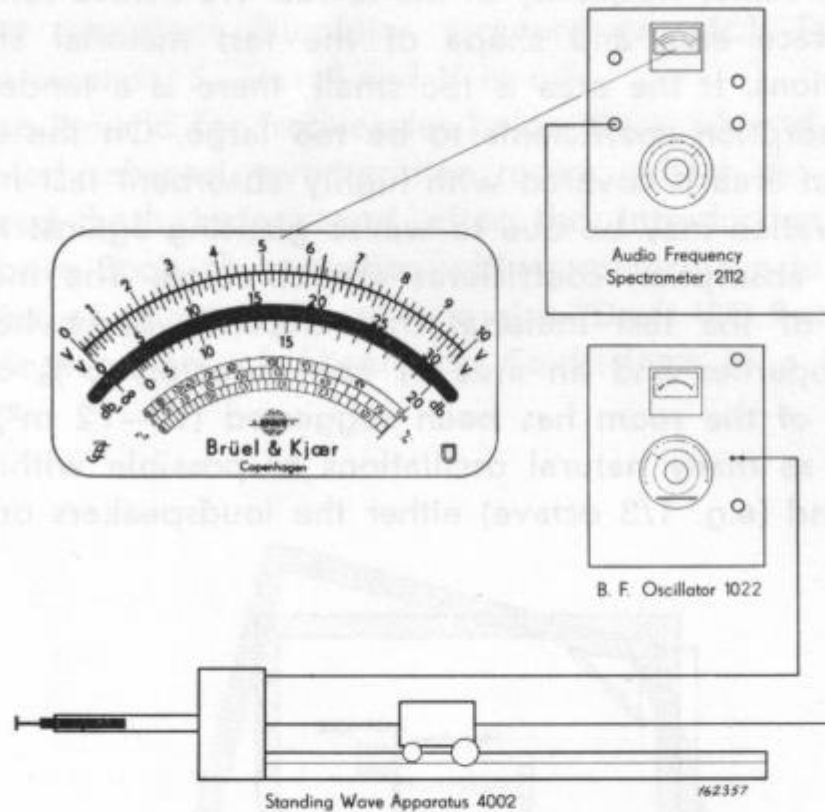
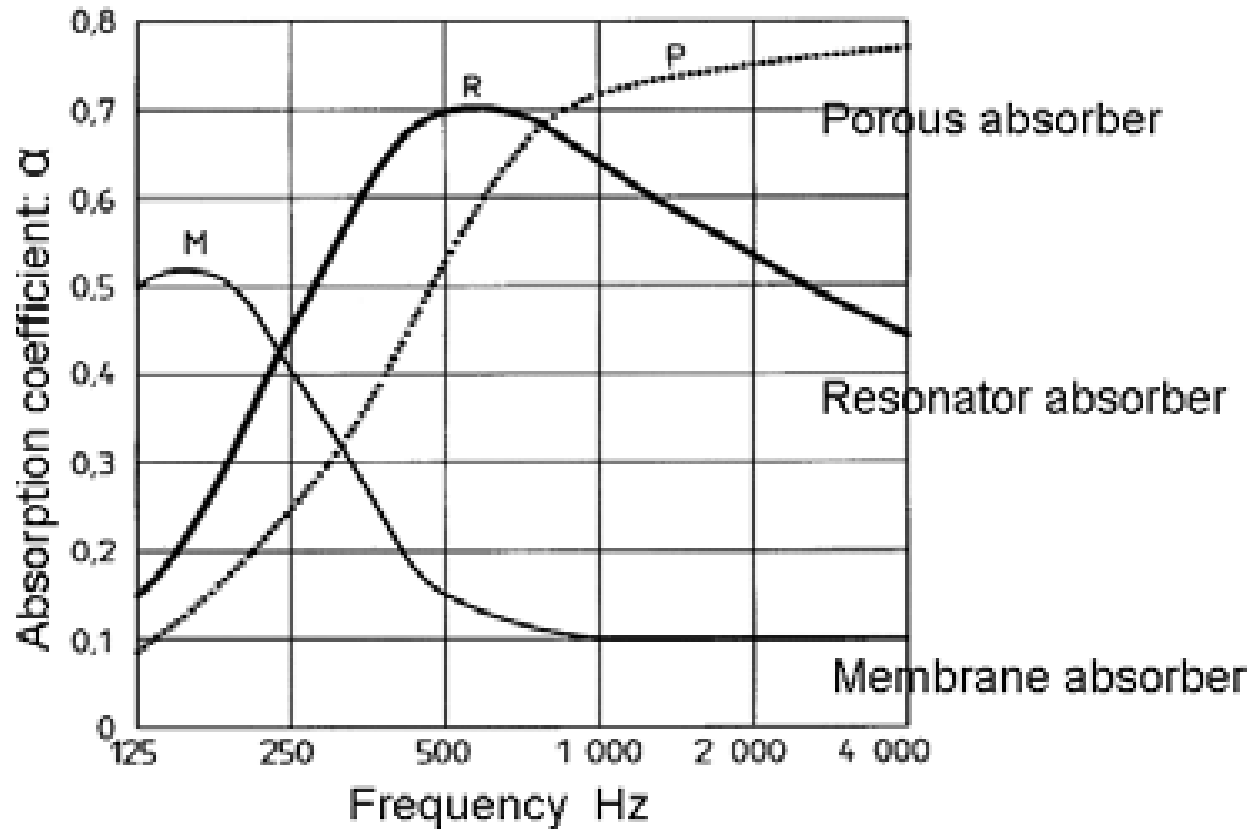
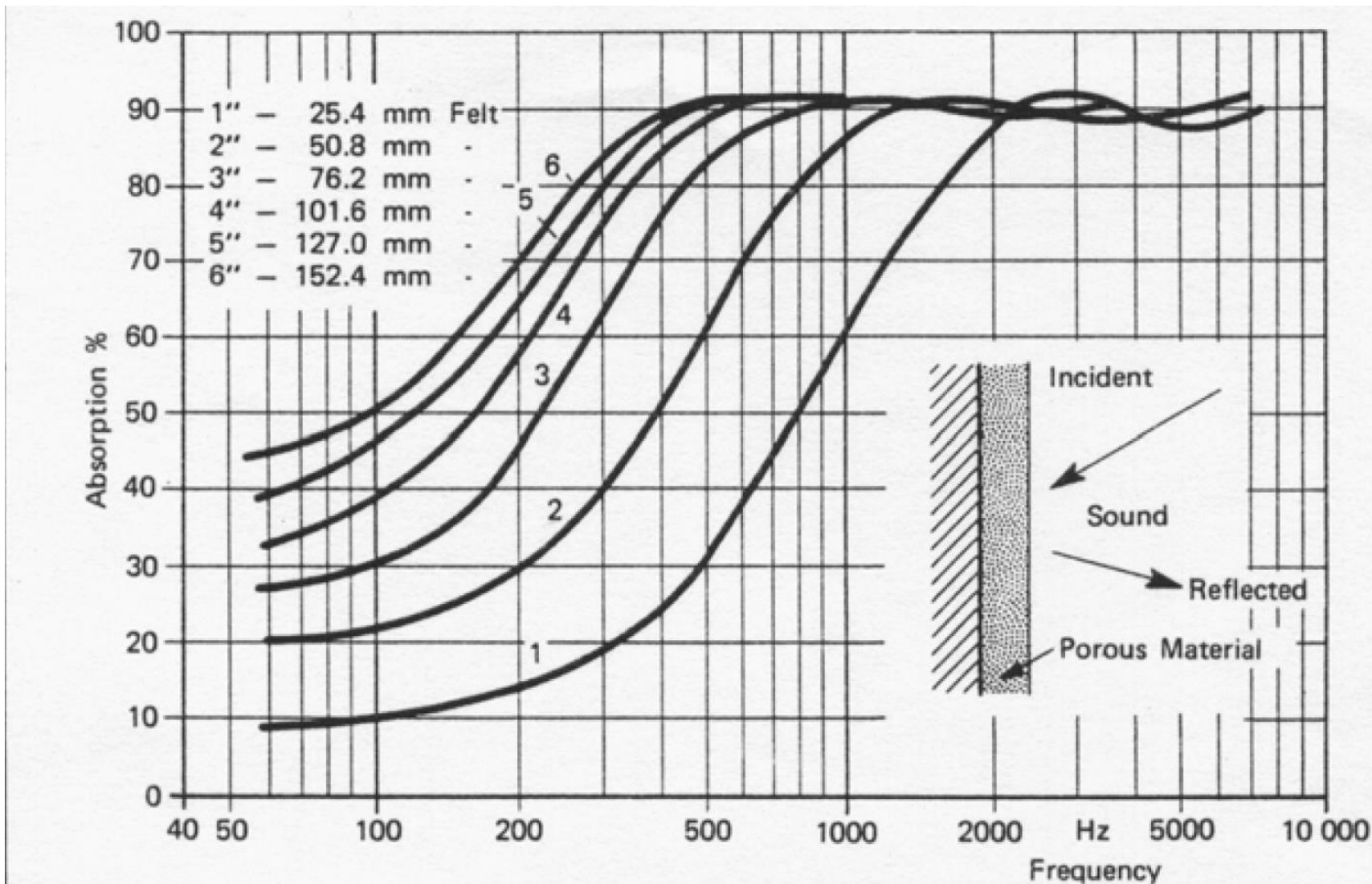


Fig. 38. Arrangement suitable for the measurement of specific acoustic absorption coefficients and acoustic impedances according to the standing wave method. The equipment consists of a Beat Frequency Oscillator (Type 1022), a Standing Wave Apparatus (Type 4002) and a Frequency Analyzer (Type 2107 or 2112) or Microphone Amplifier (Type 2603 or 2604).

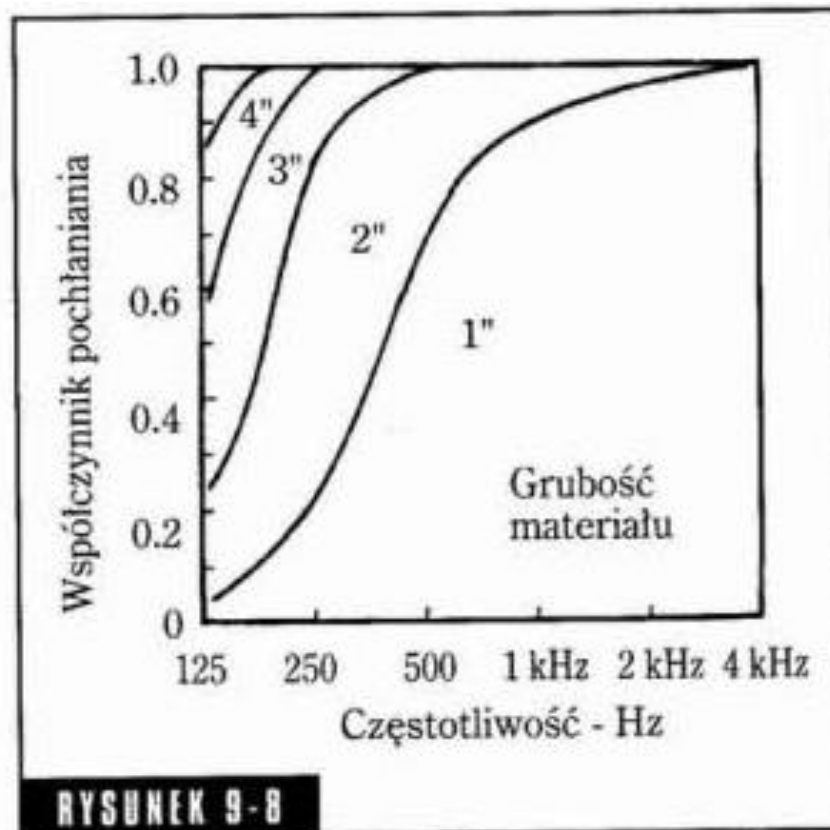
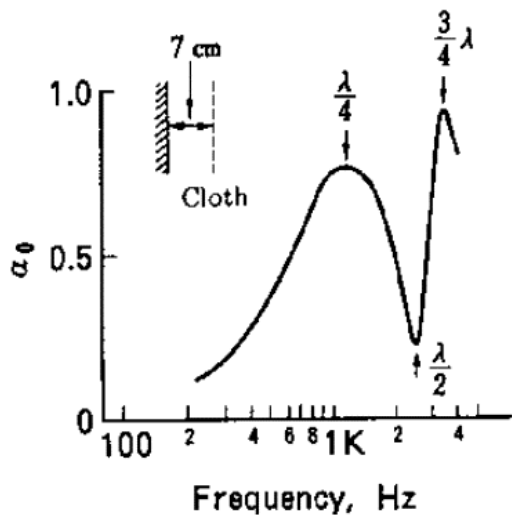
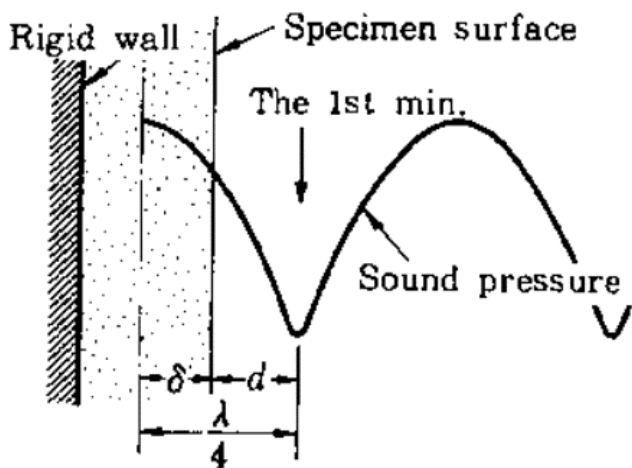
Rodzaje materiałów dźwiękochłonnych



Wpływ grubości materiału na jego właściwości pochłaniające



Wpływ grubości materiału dźwiękochłonnego



RYСУNEK 9-8

Pochłanianie w zakresie niskich częstotliwości zależy od grubości materiału dźwiękochłonnego z włókna szklanego (gęstość 48 kg/m^3). Materiał jest montowany bezpośrednio na ścianie.

Pochłanianie dźwięku

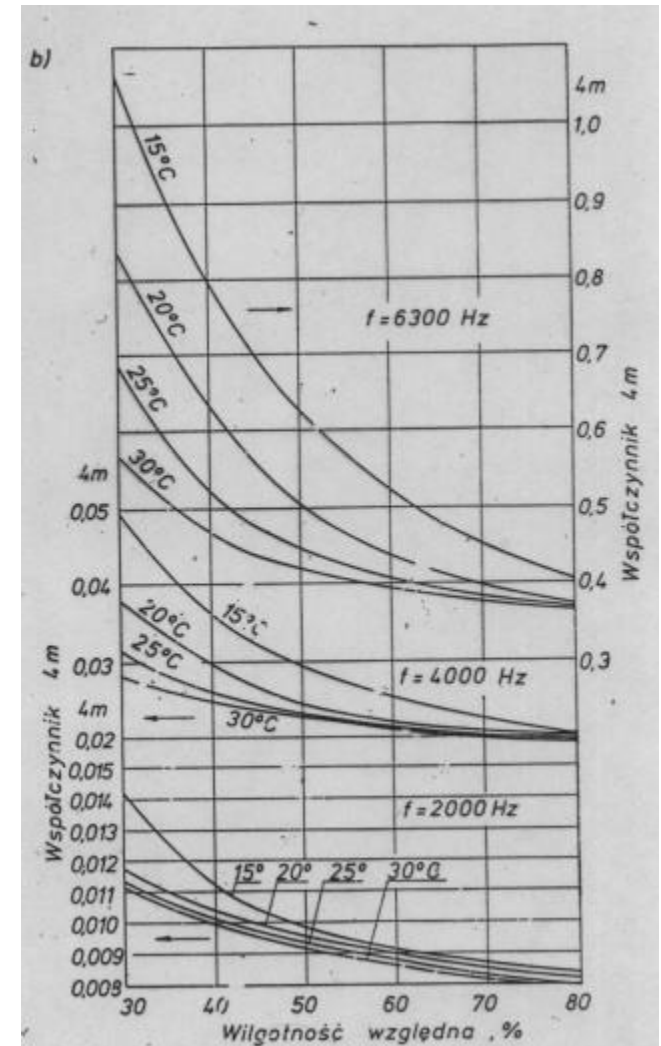
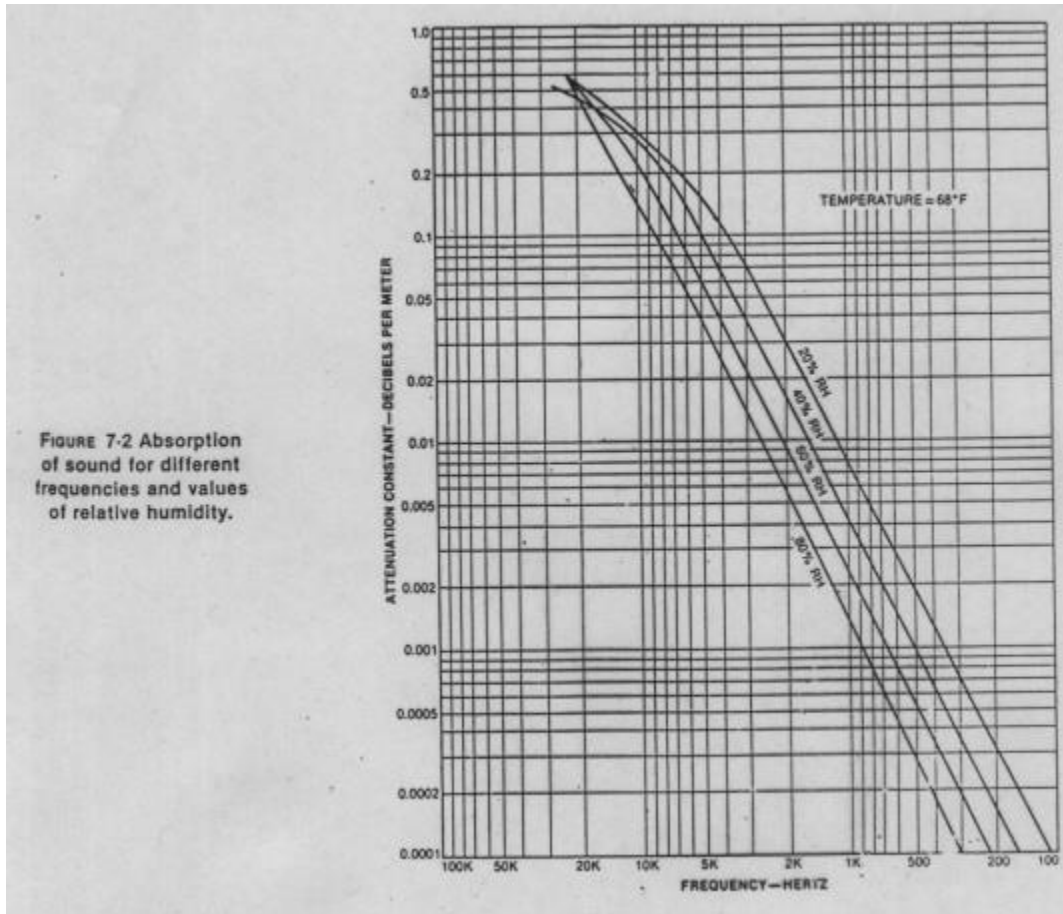
Tabela 9.2 Pochłanianie dźwięku przez ludzi (jednostki — sabiny na osobę)

	Częstotliwość					
	125	250	500	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Uczniowie szkoły średniej swobodnie ubrani, siedzący w ławkach ⁶	-	2,5	2,9	5,0	5,2	5,0
Publiczność, w zależności od odstępów między siedzeniami i rodzajem obicia foeli ²²	2,5- 4,0	3,5- 5,0	4,0- 5,5	4,5- 6,5	5,0- 7,0	4,5- 7,0

Pochłanianie dźwięku w powietrzu:

Częstotliwość [Hz]	Pochłanianie (sabiny na 1000 stóp sześciennych)
1,000	0,9
2,000	2,3
4,000	7,2

Wpływ temperatury i wilgotności powietrza



Przykłady



Fig. 4.3.6 Example of membrane absorbers attached to the concrete side wall in the multi purpose hall (Kolding Teater). Besides controlling low frequency reverberation, the panels also provide some diffusion of the sound.

Przykłady



Fig. 4.4.2 Examples of acoustic treatment mounted in ceiling in industrial halls. Left: suspended ceiling of mineral wool tiles with integrated light fixtures. Right: Vertical Mineral wool baffles.

Pomiar izolacyjności

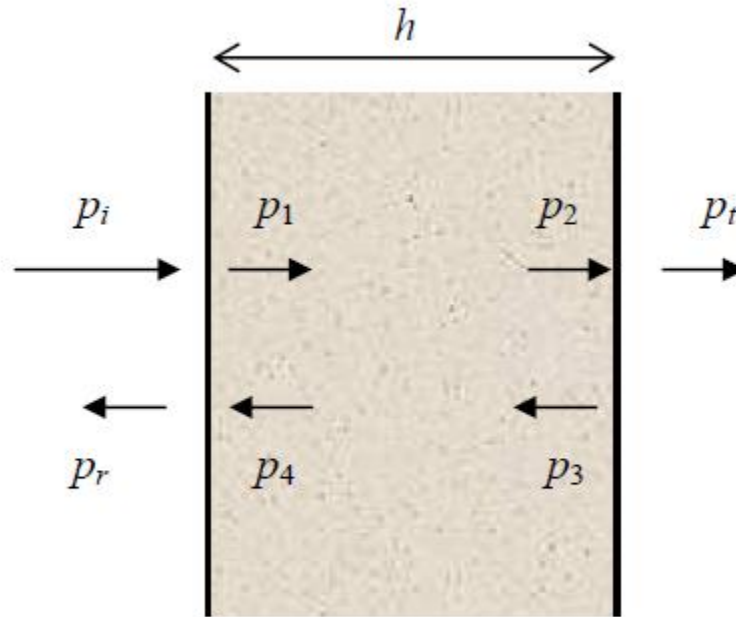


Figure 5.2.1. Thick wall with incident, reflected and transmitted sound waves

$$p_i + p_r = p_1 + p_4$$

Pomiar izolacyjności

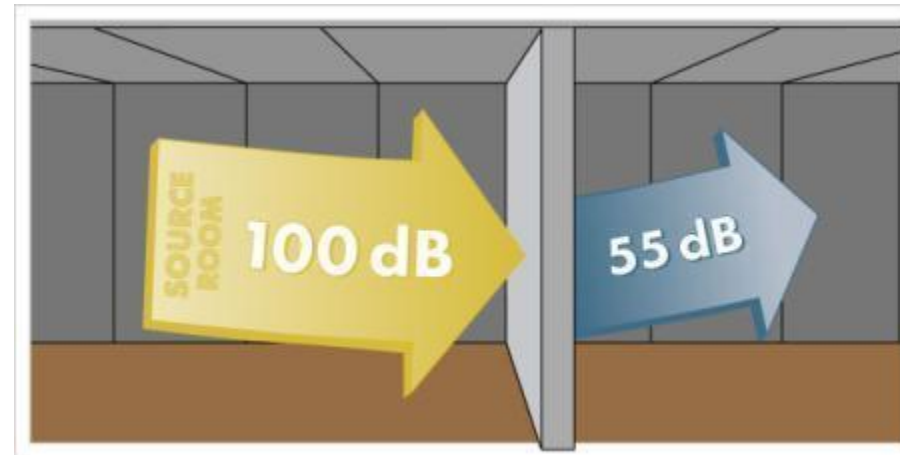
Współczynnik transmisji dźwięku (ang. *sound transmission coefficient*):

$$\tau = \frac{P_2}{P_1}$$

, gdzie: P_1 - moc emitowanego dźwięku
 P_2 - moc dźwięku odbieranego

Straty transmisyjne (ang. *transmission loss*):

$$T.L. = 10 \log \frac{P_1}{P_2} = -10 \log \tau$$



Pomiar izolacyjności

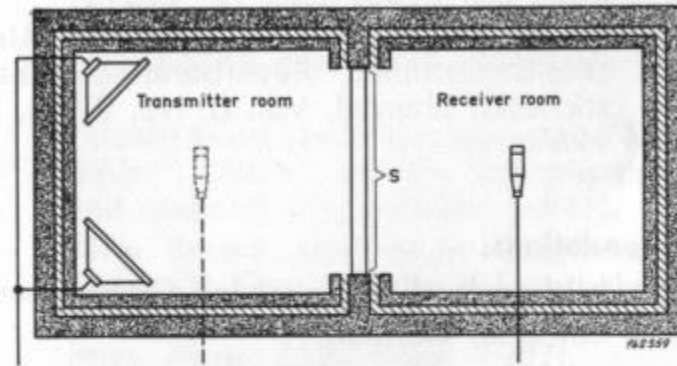


Fig. 41. Laboratory measurement on a wall of area S . In this case means have been provided to effectively insulate the two rooms from each other, and the only area through which sound energy can "pass" is S .

$$T.L. = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A}$$

, gdzie: L_1, L_2 – poziom ciśnienia dźwięku odpowiednio w pomieszczeniu nadawczym i odbiorczym [dB]
 S – pole powierzchni badanej [m²]
 A – absorbcja materiału

Pomiar izolacyjności

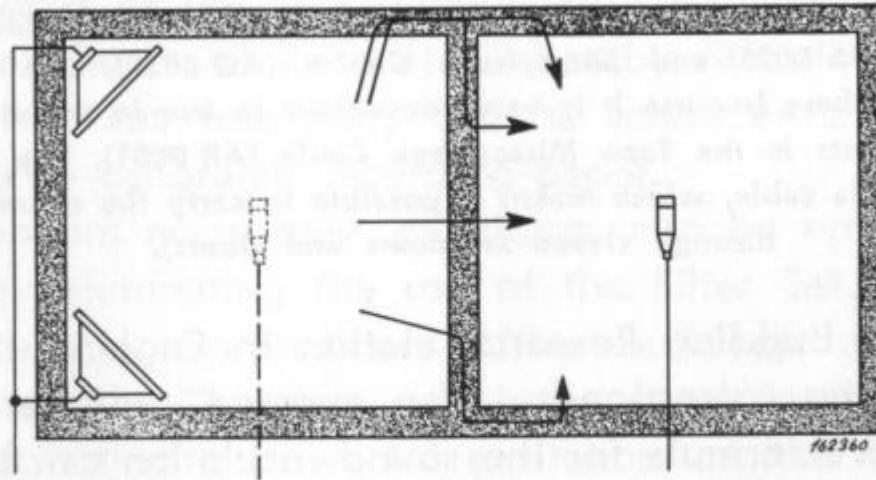


Fig. 42. Field measurements of sound insulation. The various paths that the sound energy may take in a completed building are indicated.

$$T.L. = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{0,5}$$

, gdzie: L_1, L_2 – poziom ciśnienia dźwięku odpowiednio w pomieszczeniu nadawczym i odbiorczym [dB]

T – czas pogłosu w pomieszczeniu odbiorczym

Pomiar izolacyjności

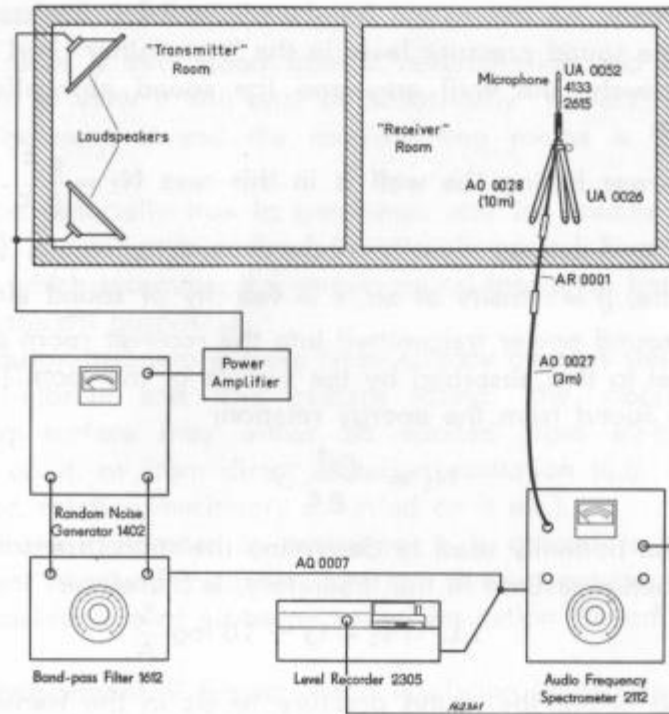


Fig. 43. Arrangement suitable for measuring airborne sound insulation data by means of bands of noise. Measuring equipment: A Random Noise Generator (Type 1402) with the Band Pass Filter Set (Type 1612), a power amplifier and loudspeaker(s), a Condenser Microphone with Nose Cone and Cathode Follower (Type 4133 + UA 0052 + 2615), an Audio Frequency Spectrometer (Type 2112), a Level Recorder (Type 2305), as well as a Microphone Stand (UA 0026) and Microphone Cables (AO 0028). (An accessory, which should be mentioned here because it is very convenient to use in conjunction with sound insulation measurements is the Tape Microphone Cable (AR 0001). The Tape Microphone Cable is a flat, flexible cable, which makes it possible to carry the microphone connection through closed windows and doors).

Pomiar izolacyjności

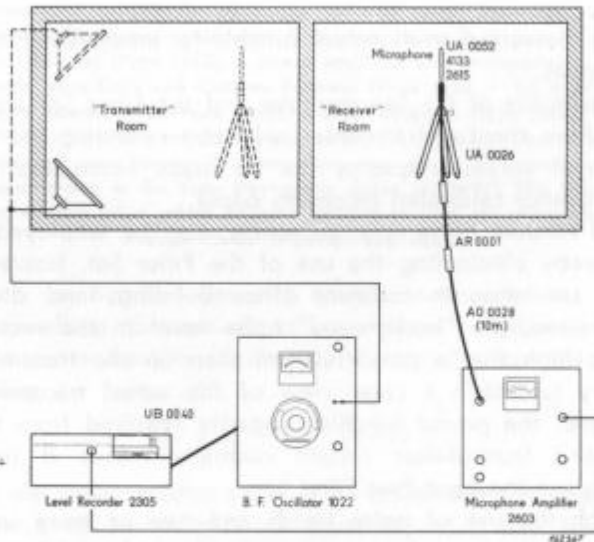


Fig. 45. A sound insulation measurement using the sweeping warble tone method. The arrangement consists of a Beat Frequency Oscillator (Type 1022), loudspeaker(s), a Condenser Microphone with Nose Cone and Cathode Follower (Type 4133 + UA 0052 + 2615), a Microphone Amplifier (Type 2603), a Level Recorder (Type 2305), as well as a Microphone Stand (UA 0026) and Microphone Cable (AO 0028) and, if desired, a Tape Microphone Cable (AR 0001). In cases where the ambient noise level in the receiver room is high, it is recommended to substitute the Microphone Amplifier by a Spectrometer Type 2112.

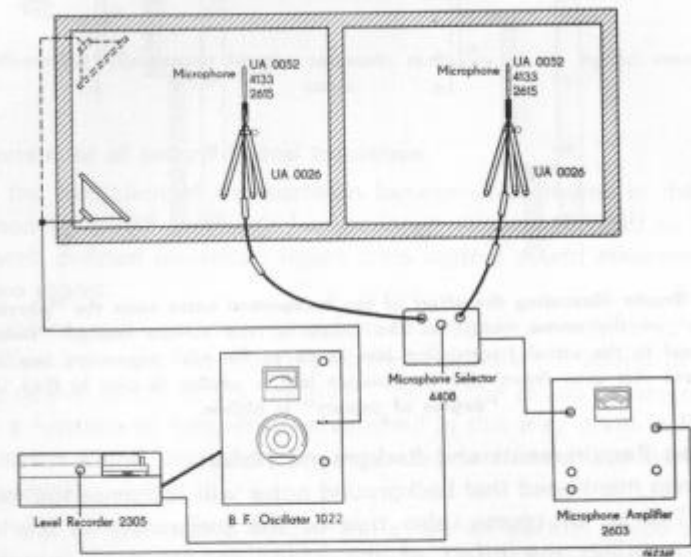


Fig. 46. Automatic sound insulation measurement with warble tones. The measuring equipment is the same as shown in Fig. 45. However, a further microphone and a Two-Channel Microphone Selector (Type 4408) have been added.

Pomiar izolacyjności

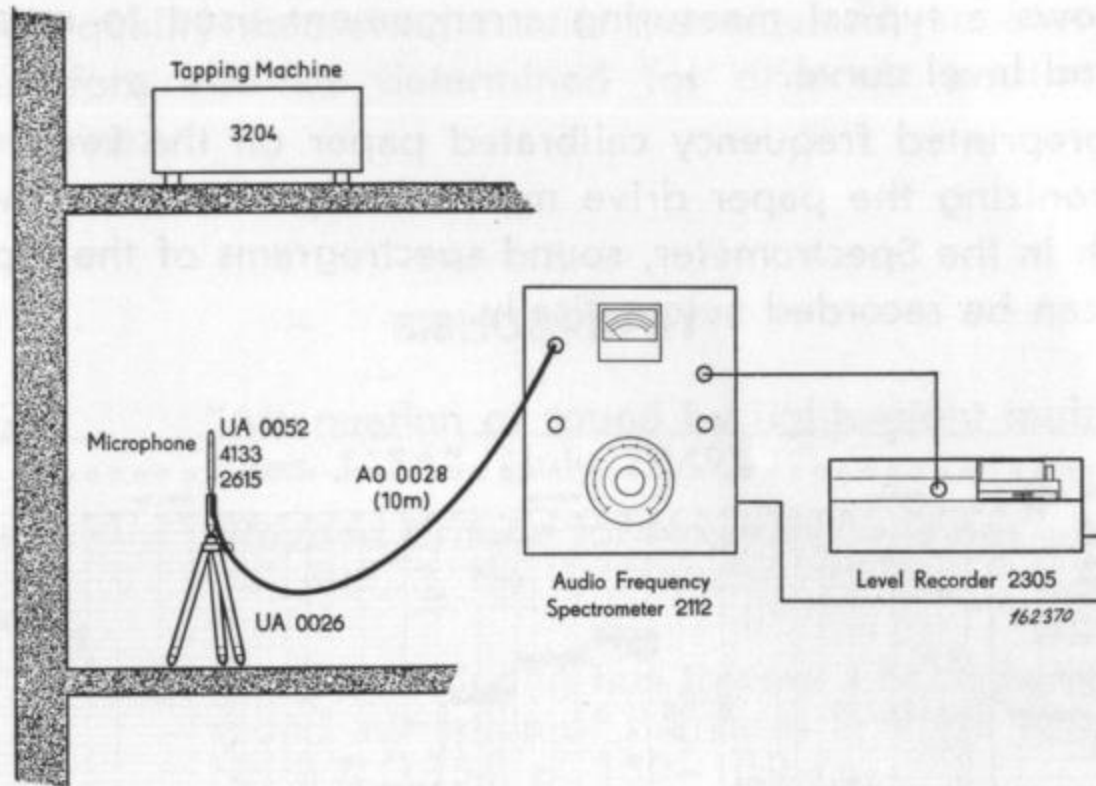


Fig. 49. Measuring arrangement for the automatic recording of the impact sound level curve.