

# Determinarea duratei de reverberație într-o sală de învățământ și propunerea unor soluții tehnice de remediere

## Determination of the reverberation time in an educational room and proposal of some corrective technical solutions

Mariana Stan<sup>1</sup>, Luminița Anghel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultatea de Arhitectură, Universitatea Spiru Haret - București  
Str. Ion Ghica nr.13, Romania  
*E-mail:* sonobel\_ms3@yahoo.co.uk

<sup>2</sup>Universitatea Tehnică de Construcții București  
Bdul Lacul Tei 122 - 124, sect.2, București, Romania  
*E-mail:* luminitanghel@gmail.com

**Rezumat.** Unul dintre parametrii care trebuie respectați într-o sală de clasă este durata de reverberație.

Lucrarea prezintă procedura de măsurare a duratei de reverberație și rezultatetele obținute într-o sală de clasă de la Facultatea de Ingineria Instalațiilor, București. În același timp, lucrarea evidențiază importanța materialelor fonoabsorbante într-o sală de învățământ, pentru obținerea unei durate de reverberație adecvate, în scopul de a crea un climat acustic favorabil pentru buna înțelegere a discursului profesorului.

**Cuvinte cheie:** durată de reverberație, materiale fonoabsorbante

**Abstract.** One of the parameters that must be met to achieve the educational rooms is reverberation time.

This paper presents the procedure of measuring reverberation time in a classroom of the Faculty of Building Services and obtained results.

In the same time, the paper highlights the importance of sound absorbing materials into an educational room, to obtain an adequate reverberation time, in order to create a favorable acoustic climate for the best understanding of the professor's discourse.

**Key words:** reverberation time, sound absorbing materials

### 1. Introducere

Acustica deficitară în sălile de învățământ este un factor de stress și influențează negativ capacitatea de concentrare, atât pentru cursanți cât și pentru cei care predau.

Potrivit studiilor realizate în acest domeniu, o acustică deficitară poate cauza:

- oboseală;
- dureri de cap;
- pierderi de memorie;
- absenteism;
- agresivitate;
- depresii.

Valorile duratei de reverberație  $T$  variază atât în funcție de volumul sălilor cât și de natura surselor sonore. De exemplu: pentru producțiile sonore vorbite, durata de reverberație medie trebuie să fie  $T_m \leq 1,0$  s; pentru producțiile sonore muzicale,  $T_m$  va fi de  $1,0 - 2,0$  s, în funcție de tipul de muzică .[1]

Tratarea încăperilor cu materiale fonoabsorbante duce la reducerea duratei de reverberație, îmbunătățind inteligența, dar reducând în același timp nivelul sonor al conversației.

În consecință, o prea mare cantitate de materiale fonoabsorbante poate duce, pe de o parte la creșterea confortului acustic (prin reducerea duratei de reverberație), dar, pe de altă parte la scăderea nivelului sonor – deci a inteligenței.

Pentru a menține niveluri sonore adecvate ale conversației este necesară o durată de reverberație optimă, fără reflexii sonore excesive.

## 2. Analiza răspunsului acustic în săli existente

### *Descrierea sălii analizate*

Laboratorul de fizică al Facultății de Ingineria Instalațiilor din Universitatea Tehnică de Construcții București, are forma unui paralelipiped dreptunghic, cu dimensiuni în plan de  $9,50 \times 6,25$  m și o înălțime de 3,50 m.

Volumul sălii este **207,80 m<sup>3</sup>**.

În sală sunt 28 scaune pentru studenți și 2 scaune pentru cadrele didactice.

### *Reglementări tehnice de referință*

1. C 125 – 2005 „Normativ privind proiectarea și executarea măsurilor de izolare fonică și a tratamentelor acustice în clădiri”;
2. P 123 – 89 „Instrucțiuni tehnice privind proiectarea și execuția sălilor de audiție publică din punct de vedere acustic” ;
3. STAS 9783/0 – 84 „Acustica în construcții. Parametri pentru proiectarea și verificarea acustică a sălilor de audiție publică. Clasificare și limite admisibile”.

### *Stabilirea limitelor admisibile*

Durata de reverberație optimă pentru sălile cu volum de cca.  $210 \text{ m}^3$ , ce sunt utilizate ca săli de audiții pentru producții vorbite este :  $T_{opt} = 0,9 \text{ s}$  [2]

Determinarea duratei de reverberație într-o sală de învățământ și propunerea soluțiilor tehnice de remediere

Valorile maxime și minime ale duratei de reverberație acceptate, conform standardului STAS 9783/0 – 84, sunt prezentate în Tabelul 1:

*Tabel 1*  
**Valorile maxime și minime ale duratei de reverberație**

T (s)	Frecvența (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
T max	1,27	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
Tmin	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72

*Rezultate obținute prin măsurări*

### Descrierea măsurărilor

Măsurările pentru verificarea duratei de reverberație au fost efectuate cu utilizarea unui semnal de tip impuls ( generat prin spargerea baloanelor ), în două poziții ale sursei ( la locul cadrului didactic și în centrul sălii ) și în două poziții ale receptorului ( în primul și în al treilea rând de mese ).

### Rezultate obținute

Rezultatele obținute pentru durata de reverberare T 30 sunt prezentate în Tabelul 2.

*Tabel 2*  
**Valori ale duratei de reverberație “T 30” în sala fără auditoriu**

Nr. crt.	Pozitia microfonului	Pozitia sursei	T 30 ( s )
1	1	S I	1,9
2	2		2,1
3	1	S II	2,4
4	2		2,3
<b>T mediu sală</b>			<b>2,17 s</b>

În standardul menționat sunt specificate abateri admise de  $\pm 20\%$ . Rezultă că durata medie admisă în sala analizată este:

$$\mathbf{Tm = 0,72... 1,08 s}$$

*Rezultate obținute prin calcul*

Calculul duratei de reverberație la fiecare frecvență din domeniul 125...4000 Hz se face cu relația lui Sabine [2] :

$$T(f) = 0,163 \frac{V}{A(f)} \text{ [s]} \quad (1)$$

în care :

$V$  – volumul sălii [ $\text{m}^3$ ];

$A(f)$  – aria de absorbție acustică echivalentă la frecvența "f" [ $\text{m}^2\text{UA}$ ].

Aria de absorbție acustică echivalentă  $A(f)$  se calculează cu relația:

$$A(f) = \sum \alpha_i(f) S_i \text{ [m}^2\text{UA}] \quad (2)$$

în care:

$\Sigma_i(f)$  – coeficient de absorbție acustică a materialului "i", la frecvența „f” [-]

$S(i)$  – suprafața geometrică pe care este dispus materialul "i" [ $\text{m}^2$ ].

Calculul ariilor de absorbție acustică și al duratelor de reverberație s-a efectuat cu ajutorul programului **MS 3**, în două variante:

Sala fără tratament acustic ( tabel 3 );

Sala cu tratament acustic ( tabel 4 ).

#### *Descrierea soluțiilor propuse*

**Din analiza rezultatelor obținute prin măsurări (tabelul 2) și prin calcul (tabelul 3), pentru sala fără tratament acustic, se constată că durata de reverberație depășește limitele admisibile precizate în tabelul 1.**

În consecință, calculul a fost reluat ( tabelul 4 ), cu introducerea unei suprafete de **43,37 mp** material absorbant ( plăci gips-carton perforat RIGITONE 8/18)

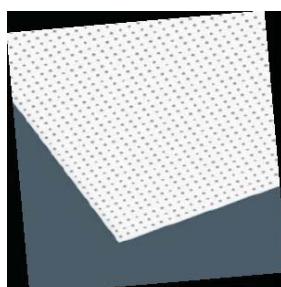


Fig. 1. Placă gips-carton RIGITONE 8/18

La proiectarea acustică a sălilor de clasă trebuie respectate unele principii de bază, în ceea ce privește alcătuirea și distribuția tratamentelor acustice, dintre care cel mai important este alegerea unor materiale ai căror coeficienți de absorbție acustică să permită realizarea unor dure de reverberație cât mai uniforme, în domeniul de frecvențe 125...4000 Hz .

Ținând seama de forma și volumul sălii și de principiile privind amplasarea optimă a materialelor fonoabsorbante într-o sală de clasă, prezentate anterior, pentru asigurarea scopurilor propuse (nîncadrarea duratelor de reverberație în valorile admisibile, precizate de legislația tehnică în vigoare și reducerea nivelului sonor prin absorbție acustică ) s-a optat pentru amplasarea **43,37 mp** de material fonoabsorbant, astfel:

Determinarea duratei de reverberație într-o sală de învățământ și propunerea soluțiilor tehnice de remediere

- **8,87** mp pe peretele din fundul sălii (de la înălțimea de 1,50 m în sus);
- **28,50** mp pe pereții laterală (o bandă cu înălțime de 1,50 m, în partea de sus);
- **6,00** mp pe peretele din față (o bandă cu înălțime de 1,0 m, în partea de sus).

**Prin aplicarea tratamentelor propuse, duratele de reverberație ale sălii (tabel 4) se încadrează în limitele admisibile, menționate.**

În figura2 sunt prezentate câteva imagini din sala în care s-au făcut măsurările duratei de reverberație T30.



Fig. 2. Imagini din Laboratorul de Fizică

## 6. Concluzii

6.1 Lucrarea pune în evidență importanța amplasării materialelor fonoabsorbante în sălile de clasă, în vederea obținerii unei durate de reverberație corespunzătoare, pentru realizarea unui climat acustic propice bunei înțelegeri a discursului profesorului.

6.2. În vederea optimizării confortului acustic din sălile de curs, trebuie parcursse următoarele etape :

- a) Evaluarea configurației geometrice a sălilor cu detalierea suprafețelor și volumelor;
- b) Evaluarea prin măsurări a duratelor de reverberație în diverse grade de ocupare a încăperii cu persoane și/sau mobilier;
- c) Alegerea materialelor și structurilor pentru tratamentele acustice;
- d) Calculul duratei de reverberație pentru diverse variante de combinații între materialele și structurile alese și, în funcție de rezultatele obținute, alegerea variantei optime;

- e) Distribuția materialelor și structurilor, conform principiilor de proiectare acustică a sălilor de audiere publică;
- f) Atestarea experimentală a tratamentelor acustice aplicate.

## Referințe

- [1] *Alexandru Radu STAN* – Importanța studierii acusticii muzicale pentru formarea profesorilor de educație muzicală, (lucrare de dizertație) – USH, 2010
- [2] STAS 9783/0 “Acustica în construcții. Parametri pentru proiectarea și verificarea acustică a sălilor de audiere publică”
- [3] *Mariana Cristina STAN* – Acustica pentru arhitecți – Ed. Fundației “România de mâine” – București , 2007

Tabel 3

Laborator fără tratament absorbant											
Material absorbant	Tip	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Nume/Cod	Mozaic	Absorbant	Ușи	Geam	Refl	Persoane	Covor	Gol acces	Mobilier lemn	Nimic
	125	0,01	0,5	0,3	0,2	0,02	0,3	0,08	1	0,02	0
	250	0,01	0,7	0,2	0,1	0,02	0,4	0,09	1	0,02	0
<b>Coefficienți de absorbție la frecvența:</b>	500	0,02	0,8	0,15	0,05	0,03	0,35	0,1	1	0,03	0
	1000	0,02	0,9	0,1	0,03	0,03	0,45	0,2	1	0,04	0
	2000	0,03	0,9	0,07	0,02	0,04	0,5	0,25	1	0,04	0
	4000	0,03	0,8	0,04	0,02	0,05	0,5	0,3	1	0,05	0
Volum [m <sup>3</sup> ]	207,8										
Materiale absorbante utilizate											
	Tip	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Nume/Cod	Mozaic	Absorbant	Uși	Geam	Refl	Persoane	Covor	Gol acces	Mobilier lemn	Nimic
	Arie [m <sup>2</sup> ]	30,07	0	3,2	8,1	157,45	2	12	6	17,4	0
	125	0,3007	0	0,96	1,62	3,149	0,6	0,96	6	0,348	0
	250	0,3007	0	0,64	0,81	3,149	0,8	1,08	6	0,348	0
<b>Suprafața echivalentă de absorbție la frecvența:</b>	500	0,6014	0	0,48	0,405	4,7235	0,7	1,2	6	0,522	0
	1000	0,6014	0	0,32	0,243	4,7235	0,9	2,4	6	0,696	0
	2000	0,9021	0	0,224	0,162	6,298	1	3	6	0,696	0
	4000	0,9021	0	0,128	0,162	7,8725	1	3,6	6	0,87	0

T med = 2,15 secunde

Tabel 4

**Laborator cu tratament fonoabsorbant**

Material absorbant	Tip Nume/Cod	1 Mozaic	2 Absorbant	3 Uși	4 G-eam	5 Refl	6 Persoane	7 Covor	8 Gol acces	9 Mobilier lemn	10 Nimic
Coefficienți de absorbiție la frecvența :	125 250 500 1000 2000 4000	0,01 0,01 0,02 0,02 0,03 0,03	0,3 0,5 0,7 0,6 0,55 0,45	0,3 0,2 0,1 0,1 0,07 0,04	0,2 0,1 0,05 0,03 0,02 0,02	0,02 0,02 0,03 0,03 0,04 0,05	0,3 0,4 0,35 0,45 0,5 0,5	0,08 0,09 0,1 0,2 0,25 0,3	1 1 1 1 1 1	0,02 0,02 0,03 0,04 0,04 0,05	0 0 0 0 0 0

Volum [m<sup>3</sup>]

207,8

Material absorbant	Tip Nume/Cod	1 Mozaic	2 Absorbant	3 Uși	4 G-eam	5 Refl	6 Persoane	7 Covor	8 Gol acces	9 Mobilier lemn	10 Nimic
Suprafața echivalentă de absorbiție la frecvența:	Arie [m <sup>2</sup> ] 125 250 500 1000 2000 4000	30,07 43,37 13,011 21,685 30,359 26,022 23,8535 19,5165	0,96 1,62 0,64 0,81 0,48 0,405 0,243 0,162	3,2 1,62 0,64 0,81 0,48 0,405 0,32 0,224	8,1 2,2816 2,2816 0,8 0,7 3,4224 3,4224 4,5632	114,08 0,6 0,8 1,08 0,7 1,2 2,4 3	2 0,96 0,8 1,2 0,9 1,2 2,4 3	12 6 6 6 6 6 6 6	6 0,348 0,348 0,522 0,696 0,696 0,87 0	17,4 0 0 0 0 0 0 0	26,0813 1,30 33,9453 1,00 43,6898 0,77 40,6048 0,83 40,4008 0,84 37,8826 0,89

**T med = 0,93 secunde**