



**S.C. UBICUU ARCHITECTS S.R.L., IASI**

J22/1697/2016 - CUI 36354521; Telefon: 0744 633 067

## **STUDIU ACUSTIC**

**Sală de spectacole**

**MODERNIZAREA CENTRULUI CULTURAL NEMIRA, SITUAT  
IN ORASUL  
DARMANESTI, STRADA CHIMIEI, NR. 148, JUDETUL BACAU"**

Elaborat  
Prof. dr.ing. IRINA BLIUC

Conf. dr.arh. Călin Corduban



### 1. Obiectul lucrării

Lucrarea are ca obiectiv final proiectarea tratamentelor acustice pentru sala de spectacole aparținând centrului cultural propus spre reabilitare, în vederea asigurării condițiilor pentru recepționarea optimă a sunetelor (producție vorbită și muzicală) pentru orice zonă a sălii.

### 2. Reglementări

- Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea și execuția sălilor de audiție publică din punct de vedere acustic, indicativ P-123-89
- STAS 9783/0-84 Parametri pentru proiectarea și verificarea acustică a sălilor de audiție publică
- SR EN ISO 12354/2005- Acustica în construcții. Calculul performanțelor acustice a clădirilor plecând de la performanța elementelor.
- Normativ privind proiectarea și executarea măsurilor de izolare fonică și a tratamentelor acustice în clădiri- Indicativ C125-05

### 3. Elemente de temă

Proiect de modernizare a centrului cultural, realizat de **S.C. COMPASSLINE S.R.L.**, șef proiect arh.Mihai GRAJDEANU, proiectată de arh.Mihai GRAJDEANU și arh.stag. Ovidiu NICOARA, cu dimensiuni geometrice și elemente de finisaj precizate.

Se cere proiectarea tratamentelor acustice pentru îndeplinirea criteriilor de performanță referitoare la calitatea acustică a spațiului în conformitate cu prevederile normative în vigoare și verificarea măsurii în care vor fi îndeplinite criteriile de calitate acustică în urma aplicării acestor tratamente.

### 4. Criterii și niveluri de performanță referitoare la sălile de audiție publică

a. Încadrarea conform STAS 9783/0-84 Parametri pentru proiectarea și verificarea acustică a sălilor de audiție publică

- după alcătuire- auditoriu cuplat cu scenă (sală de teatru)

- după genul de producție sonoră- *sală de tip polivalent – teatru de varietăți (muzică ușoară, muzică populară, teatru vorbit)*

- după modul de transmitere a sunetelor către auditoriu – *transmisie acustică directă.*

b. Limitele admisibile ale parametrilor de proiectare și verificare pentru sală de tip polivalent – teatru de varietăți (muzică ușoară, muzică populară, teatru vorbit)

- volum specific .....**5...6 m<sup>3</sup>/auditor**

- durata de reverberație medie funcție de volum .....**1,18 – teatru vorbit**

**1,30 muzică ușoară/populară**

- procent de articulație minim .....**75%**

- indice de difuzivitate .....**40...70 %**

- nivelul zgomotului de fond.....**25 dB**

c. Elemente geometrice conform *Instrucțiuni tehnice pentru proiectarea și execuția sălilor de audiție publică din punct de vedere acustic, indicativ P-123-89*

c.1 Pentru auditoriu

- distanța ( $D_{max}$ ) între sursa sonoră și auditorul cel mai îndepărtat de scenă trebuie să respecte relația:

$$D_{max} \leq 0,35 \sqrt{V/T_m} \quad (1)$$

În care:

$V$ , volumul sălii ( $m^3$ );

$T_m$ , durata medie de reverberație (s).

Pentru săli cu un volum mai mic sau egal cu  $2000 m^3$ , pentru o bună audiere valorile rapoartelor între dimensiunile paralelipipedului de bază ( $L/h$  și  $l/h$ ) trebuie să se înscrie în conturul delimitat în fig.1

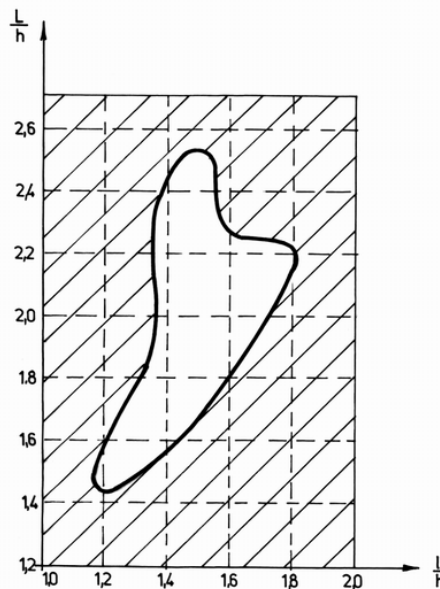


Fig.1 Domeniul admisibil pentru valorile rapoartelor  $L/h$  și  $l/h$ .

Pentru săli de formă complexă cu volum mai mare de  $2000 m^3$  se admit și alte rapoarte între laturile paralelipipedului de bază, în afara celor prevăzute prin fig.1

- La sălile prevăzute cu balcon, înălțimea acestuia deasupra pardoselii, precum și adâncimea lui, trebuie astfel stabilite încât la ultimul rând de scaune de la parter să mai ajungă unde reflectate de tavanul sălii.

c.2 Dimensiuni maxime admisibile pentru scenă

- suprafața scenei fără buzunare (adâncime x lățime).....12x24 m
- înălțimea turnului scenei..... 18 m
- deschiderea (golul) scenei (înălțimea x lățimea).....7x16 m

d. Durata de reverberație

d.1. Pentru auditoriu

Determinarea domeniului admisibil în care trebuie să se încadreze curba de reverberație caracteristică sălii se face, în cazul sălilor polivalente fie pentru un gen de spectacol preponderent fie pentru a corespunde tuturor genurilor de producție prevăzute a se desfășura în sală, conf. STAS 9783/0-84, prg. 3.3.1

#### d.2 Pentru scenă

Durata de reverberație a scenei nu este standardizată. Se recomandă ca pentru frecvențele normale considerate, durata de reverberație a scenei să se încadreze în domeniul:

$$0,8 T_{\text{auditoriu}} < T_{\text{scenă}} < 1,5 T_{\text{auditoriu}} \quad (2)$$

În care:

$T_{\text{auditoriu}}$  reprezintă durata de reverberație medie a auditoriului

$T_{\text{scenă}}$ , durata medie de reverberație a scenei

### 5. Analiza acustică a sălii de spectacole. Distribuția energiei acustice în sala de spectacole, uniformitatea câmpului sonor, conform proiectului.

Analiza acustică a unei săli de audiție publică presupune parcurgerea următoarelor etape:

- Verificarea caracteristicilor geometrice pentru auditoriu și scenă;
- Determinarea absorbției totale, medii și în benzi de frecvență, pentru auditoriu și scenă;
- Determinarea duratei de reverberație în benzi de frecvență pentru auditoriu și scenă fără tratamente acustice;
- Determinarea suprafeței necesare de absorbție pentru auditoriu și scenă pentru a îndeplini condiția referitoare la durata de reverberație;
- Propunere de tratamente acustice;
- Verificarea duratei de reverberație pentru scenă și auditoriu cu considerarea aportului de absorbție corespunzător tratamentelor propuse.
- Verificarea modului de distribuție a energiei sonore, identificarea zonelor de concentrare/ umbra acustică.

**Întrucât în proiect au fost propuse tratamente acustice la nivelul pereților și tavanului, în cadrul studiului etapele enumerate au fost parcurse în vederea:**

- verificării criteriilor de calitate acustică a sălii în situația propusă de proiectant;
- elaborarea unor propuneri de îmbunătățire a calității acustice în concordanță cu prevederile normative în vigoare.

#### 5.1 Verificarea caracteristicilor geometrice și acustice ale sălii

Caracteristici geometrice sală (auditoriu)

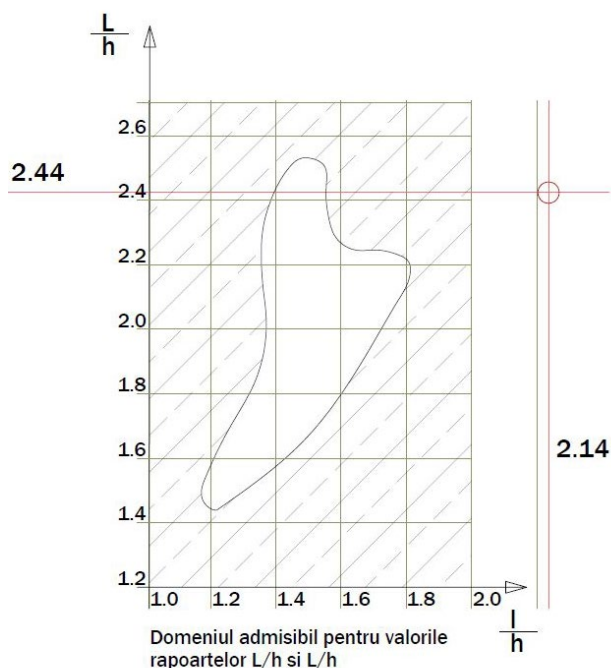
- Suprafață – sală-parter.....230,90 m<sup>2</sup>

- Volum sală .....aprox. 1560,00 m<sup>3</sup>
- Număr de locuri (total P+E).....297 locuri
- Volum specific.....5.25 m<sup>3</sup>/auditor
- Înălțimea medie, h .....6,65 m
- Latimea, l.....14,25 m
- Lungimea, L.....16,28 m
- rapoartele .....L/h=2,44 și l/h=2,14

Caracteristici geometrice scenă

- Suprafață (adâncime x lățime).....11,30 x 14,25m
- Volum scenă .....1100 m<sup>3</sup>

Comparând valorile efective ale caracteristicilor geometrice cu cele prevăzute în norme pentru asigurarea unei bune audiții se constată că nu sunt îndeplinite condițiile, având în vedere că pentru săli cu volum mai mic de 2000 m<sup>3</sup> este obligatoriu ca raportul dintre laturile paralelipipedului de bază să se încadreze în conturul marcat în fig. 1.2. **Înălțimea medie optimă a sălii ar trebui să se încadreze între 8,20 și 8,40, dar acest lucru nu este fezabil din considerente tehnice.**



Distanța maximă admisibilă funcție de volum și durata medie de reverberație, conform relației (1) este de **12,47 m** teatru, respectiv **11,88 m** pentru muzică ușoară/populară.

Distanța efectivă de la sursă la cel mai îndepărtat spectator, măsurată din portalul scenei este de cca. 19,25m, **ceea ce indică faptul că nu este îndeplinită condiția geometrică de evitare a ecoului.** (Planșa A1)

## 5.2 Determinarea absorbției și duratei de reverberație medii și în benzi de frecvență pentru auditoriu și scenă

Suprafața de absorbție echivalentă pentru sală se calculează cu relația:

$$A = \sum \alpha_i S_i + \sum n_j F_j \quad (3)$$

în care :

$\alpha_i$  - coeficientul de absorbție acustică a suprafeței i;

$S_i$  - aria suprafeței i;

$n_j$  – numărul de absorbanți de tip j;

$F_j$  – suprafața de absorbție echivalentă corespunzătoare unui absorbant funcțional de tip j

Coeficientul mediu de absorbție a sălii,  $\alpha$ , se determină cu relația:

$$\alpha = \sum \alpha_i S_i / S \quad (4)$$

în care S – suprafața geometrică totală a elementelor delimitatoare ale sălii.

Durata de reverberație este parametrul principal care determină calitatea acustică a sălilor de audiție, fiind funcție de natura producției sonore.

Asigurarea unei durate optime de reverberație implică următoarele consecințe:

- Caracteristici favorabile ale duratei de reverberație în toată gama de frecvențe;
- Un raport avantajos între sunetul direct și reflectat ce ajunge la audiență;
- O creștere /descreștere susținută și lină a energiei sonore.

Pentru determinarea duratei de reverberație în faza de proiectare, reglementările în vigoare recomandă formula lui Sabine:

$$T = 0.161V/A \quad [\text{sec}] \quad (5)$$

în care:

T- durata de reverberație, [sec]

V- volumul auditoriului / scenei, [m<sup>3</sup>]

A. absorbția totală [-]

A fost calculată durata de reverberație a sălii în două ipoteze:

### **Varianta de mobilare cu scaune:**

- sală goală, fără spectatori (tabelul 1)
- sală ocupată în proporție de 100%.(tabelul 2)


**Finisaje propuse pentru sală:**

- Tavan – placaj din gips carton simplu
- Pereți laterali (axele 5-9): 2GT32 Ø 8 mm (perforation 1,94%) – fără strat de vată minerală
- Pereți în zona posterioară (peretele din axul 5): panouri de tip Microacustic – montat cu 4cm de vată minerală

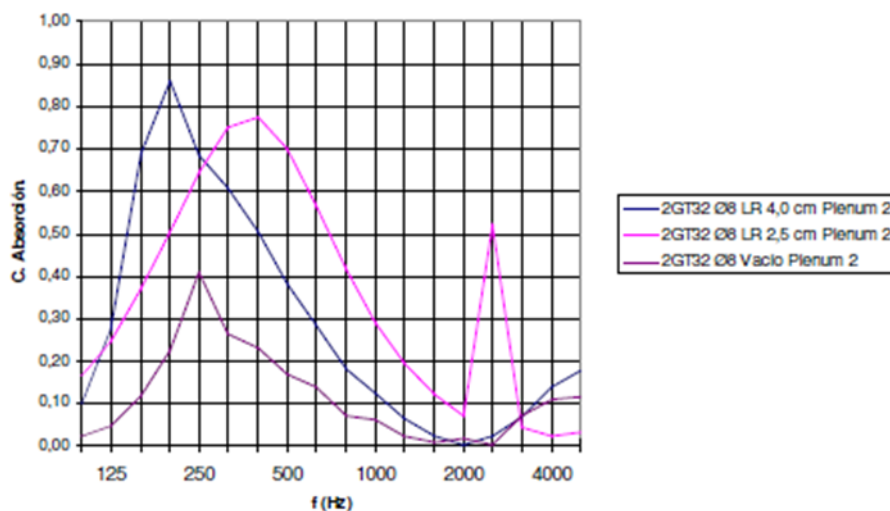
**Kind of plate:**  
2GT32 Ø 8 mm (perforation 1,94%) (Plate 2)  
**Number of holes:** 136  
(Measurement according norm UNE 20354)  
**Mounting (total of 30 plates):**

A	1 cm (Ancho de la placa)
	B
	Aire (cuando proceda)

A = 8 cm (Total height of the plenum 2)  
B = 0 cm empty  
4,0 cm With rock wool  
2,5 cm With rock wool (\*)



**Plot plenum 2:**



**Table absorbing plenum 2:**

f (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000
$\alpha_{empty}$	0,02	0,05	0,12	0,23	0,41	0,26	0,23	0,17	0,14	0,07	0,06	0,03	0,01	0,02	0,00	0,07	0,11
$\alpha_{rock\ wool\ 4\ cm}$	0,10	0,28	0,69	0,86	0,68	0,61	0,51	0,38	0,29	0,18	0,12	0,06	0,02	0,00	0,02	0,07	0,14
$\alpha_{rock\ wool\ 2,5\ cm\ (*)}$	0,17	0,25	0,37	0,51	0,64	0,75	0,77	0,70	0,57	0,42	0,29	0,20	0,12	0,07	0,52	0,04	0,02

(\*) Curve obtained with software developed in collaboration with DISAO group

**Tabel 1** - Determinarea duratei de reverberație – sala neocupată (repetiții)

Element /material	Aria - S (m2)	Coef. de absorbtie acustica $\alpha$ pentru frecventele (Hz)/ aiSi					
		125	250	500	1000	2000	4000.00
1 Sală - Pard sala mocheta 8mm fibre nat, burete	230.90	0.08	0.11	0.12	0.25	0.37	0.46
		18.47	25.40	27.70	57.72	85.43	106.21
2 Tavan suspendat – gips carton normal	238	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
		4.76	4.76	7.14	9.52	11.90	11.90
3 Pereți laterali sală – panouri acustice - 2GT32 Ø 8 mm - axele 5-9	214	0.05	0.41	0.17	0.06	0.02	0.11
		10.70	87.74	36.38	12.84	4.28	23.54
4 Peretele posterior -panouri acustice – Microacustic	59.0	0.50	0.67	0.72	0.50	0.25	0.15
		29.50	39.53	42.48	29.50	14.75	8.85
5 Scaune plusate mat. textil	297.00	0.25	0.30	0.35	0.39	0.38	0.38
		74.25	89.10	103.95	115.83	112.86	112.86
6 Usa interioara dubla, plina, cu doua canate mobile, profil din aluminiu, culoare gri antracit, echipata cu feronerie antiefracție, bara antipanica	4.83	0.10	0.10	0.10	0.07	0.03	0.02
		0.48	0.48	0.48	0.33	0.14	0.10
<b>Suma ariilor</b>	<b>746.73</b>						
<b>Volu sală</b>	<b>1560</b>						
<b>Absorbția totală pe frecvențe</b>		<b>138.16</b>	<b>247.01</b>	<b>218.13</b>	<b>225.74</b>	<b>229.36</b>	<b>263.46</b>
<b>Durata de reverberație pe frecvențe T<sub>r</sub></b>		<b>1.81</b>	<b>1.01</b>	<b>1.15</b>	<b>1.11</b>	<b>1.09</b>	<b>0.95</b>

**Tabel 2** - Determinarea duratei de reverberație – sala ocupată

	Element /material	Aria - S (m2)	Coef. de absorbtie acustica $\alpha$ pentru frecventele (Hz)/ aiSi					4000.00
			125	250	500	1000	2000	
1	Sală - Pard sala mocheta 8mm fibre nat, burete	230.90	0.08	0.11	0.12	0.25	0.37	0.46
			18.47	25.40	27.70	57.72	85.43	106.21
2	Tavan suspendat – gips carton normal	238	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
			4.76	4.76	7.14	9.52	11.90	11.90
3	Pereți laterali sală – panouri acustice - 2GT32 Ø 8 mm - axele 5-9	214	0.05	0.41	0.17	0.06	0.02	0.11
			10.70	87.74	36.38	12.84	4.28	23.54
4	Peretele posterior – panouri acustice – Microacustic	59.0	0.50	0.67	0.72	0.50	0.25	0.15
			29.50	39.53	42.48	29.50	14.75	8.85
5	Spectatori asezati	297.00	0.25	0.30	0.35	0.46	0.46	0.46
			74.25	89.10	103.95	136.62	136.62	136.62
6	Usa interioara dubla, plina, cu doua canate mobile, profil din aluminiu, culoare gri antracit, echipata cu feronerie antiefracție, bara antipanica	4.83	0.10	0.10	0.10	0.07	0.03	0.02
			0.48	0.48	0.48	0.33	0.14	0.10
<b>Suma ariilor</b>		<b>746.73</b>						
<b>Volu sală</b>		<b>1560</b>						
<b>Absorbția totală pe frecvențe</b>			<b>138.16</b>	<b>247.01</b>	<b>218.13</b>	<b>246.53</b>	<b>253.12</b>	<b>287.22</b>
<b>Durata de reverberație pe frecvențe T<sub>r</sub></b>			<b>1.81</b>	<b>1.01</b>	<b>1.15</b>	<b>1.02</b>	<b>0.99</b>	<b>0.87</b>

Modul în care valorile calculate ale duratei de reverberație se încadrează în intervalul recomandat de norme pentru cele două genuri de producție sonoră luate în considerare sunt prezentate în tabelele 3 și 4.

Tabelul 3

**Teatru (producție vorbită)**

Durata de reverberație <b>teatru</b> T <sub>r</sub> (sec)	Frecvența (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
T <sub>r max. adm</sub>	1.71	1.46	1.46	1.46	1.46	1.46
T <sub>r</sub> sală neocupată	<b>1.81</b>	<b>1.01</b>	<b>1.15</b>	<b>1.11</b>	<b>1.09</b>	<b>0.95</b>
T <sub>r</sub> sală ocupată100%	<b>1.81</b>	<b>1.01</b>	<b>1.15</b>	<b>1.02</b>	<b>0.99</b>	<b>0.87</b>
T <sub>r min. adm</sub>	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98

Tabelul 4

**Muzică ușoară/populară**

Durata de reverberație <b>Muzică ușoară/populară</b> T <sub>r</sub> (sec)	Frecvența (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
T <sub>r max. adm</sub>	1.89	1.62	1.62	1.62	1.62	1.62
T <sub>r</sub> sală neocupată	<b>1.81</b>	<b>1.01</b>	<b>1.15</b>	<b>1.11</b>	<b>1.09</b>	<b>0.95</b>
T <sub>r</sub> sală ocupată100%	<b>1.81</b>	<b>1.01</b>	<b>1.15</b>	<b>1.02</b>	<b>0.99</b>	<b>0.87</b>
T <sub>r min. adm</sub>	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08

Comparând valorile calculate ale duratei de reverberație cu cele recomandate de STAS 9783/0-84 se constată că pentru situațiile analizate condiția  $T_{r \text{ min. adm}} < T_r < T_{r \text{ max. adm}}$  este respectată în majoritatea intervalelor de frecvențe, fiind foarte apropiate de intervalele de referință în restul situațiilor.

**Scenă** - pereți tencuiți, pereții din fața portalului scenei, axele 9 -10 – panouri din lemn 2GT32 Ø 8 mm (perforation 1,94%) – fără strat de vată minerală, tavan placaj din gips carton normal. Pentru a corecta durata de reverberație se folosesc draperii din material textil, alte elemente funcționale (decoruri, recuzită, fundal scenă, etc.).

Pentru scenă, valorile duratei de reverberație în benzi de frecvență sunt prezentate în tab.5

Tabelul 5 Determinarea duratei de reverberație pentru scenă

Element /material	Aria (m <sup>2</sup> )	Coef. de absorbtie acustica $\alpha$ pentru frecventele (Hz)					
		125	250	500	1000	2000.00	4000.00
Pardoseala scenă dușumea fâltuită	156.94	0.02	0.02	0.08	0.12	0.12	0.10
		3.13	3.13	12.55	18.83	18.83	15.69
Portal scenă tencuială și var lavabil	50.75	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05
		1.01	1.01	1.01	1.52	2.03	2.53
Pereți scenă – zona frontală- 2GT32	42.90	0.05	0.41	0.17	0.06	0.02	0.11
		2.145	17.58	7.29	2.57	0.85	4.71
Pereți scenă – zona posterioară portalului, inclusiv peretele despartitor	170.83	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05
		3.41	3.41	3.41	5.12	6.83	8.54
Planșeu peste zona frontală gips carton normal	43.80	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05	0.05
		0.87	0.87	1.31	1.75	2.19	2.19
Planșeu peste zona spate - tencuială și var lavabil	114.91	0.02	0.02	0.02	0.03	0.04	0.05
		2.29	2.29	2.29	3.44	4.59	5.74
Uși – Tâmplărie din Al	9.78	0.10	0.10	0.10	0.07	0.03	0.02
		0.97	0.97	0.97	0.68	0.29	0.19
<b>Elemente funcționale</b>		<b>70</b>	<b>70</b>	<b>80</b>	<b>80</b>	<b>90</b>	<b>90</b>
<b>Suma ariilor</b>	<b>589.57</b>						
<b>Volu scenă</b>	<b>1100</b>						
<b>Absorbția totală în benzi de frecvență</b>		<b>83.82</b>	<b>99.26</b>	<b>108.83</b>	<b>113.91</b>	<b>125.61</b>	<b>129.59</b>
<b>Durata de reverberație</b>		<b>2.11</b>	<b>1.78</b>	<b>1.62</b>	<b>1.55</b>	<b>1.40</b>	<b>1.36</b>

Durata de reverberație $T_r(\text{sec})$						
	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{r \times 0.8}$	1.44	0.81	0.92	0.84	0.84	0.72
$T_r$ sală neocupată	<b>1.81</b>	<b>1.01</b>	<b>1.15</b>	<b>1.11</b>	<b>1.09</b>	<b>0.95</b>
$T_r$ sală ocupată 100%	<b>1.81</b>	<b>1.01</b>	<b>1.15</b>	<b>1.02</b>	<b>0.99</b>	<b>0.87</b>
$T_{r \times 1.5}$	2.71	1.51	1.72	1.57	1.57	1.365
$T_r$ scenă	<b>2.11</b>	<b>1.78</b>	<b>1.62</b>	<b>1.55</b>	<b>1.53</b>	<b>1.36</b>

Pentru scenă, valorile duratei de reverberație calculate se încadrează în intervalul recomandat pentru întreaga gamă de frecvențe în toate scenariile considerate, cu excepția frecvenței de 250Hz.

### 3. Verificarea modului de distribuție a energiei sonore, identificarea zonelor de concentrare acustică

Uniformitatea câmpului sonor este o condiție esențială pentru asigurarea unei audiții corespunzătoare în fiecare zonă a sălii. Identificarea punctelor sensibile este posibilă prin utilizarea unei metode geometrice bazată pe analogia cu optica geometrică. (plansa A2)

Se constată zone de intensitate sonoră redusă în ultima treime a sălii.

### 4. Concluzii privind modul în care soluțiile propuse în proiect se încadrează în criteriile recomandate de reglementări.

- Caracteristicile geometrice ale sălii, inclusiv scena, nu satisfac condițiile formulate în Normativ P123 - 89 referitoare la asigurarea calitatii acustice a sălilor de audiție publică, intrucat:
  - rapoartele dintre dimensiunile paralelipipedului de bază nu se încadrează în dimensiunile recomandate de normativul SR EN ISO 12354/2005, pentru săli cu volum mai mic de 2000 m.c
  - distanța efectivă de la sursă la cel mai îndepărtat punct al sălii este de cca 19,25 m, mai mare decât 14,28 m, respectiv 11,88 m, pentru teatru (producție vorbită), respectiv pentru muzică ușoară/populară. În consecință, există riscul apariției ecolului.
- Constrângerile tehnice existente nu permit soluții de modificare a geometriei sălii sau a scenei, calitatea acustica a salii la nivelul prevazut in reglementari asigurandu-se prin tratamente acustice.
- Solutia finala referitoare la tratamentele acustice (materiale, mod de dispunere) a fost stabilita in urma unui studiu de optimizare, criteriul avut in vederea fiind durata de reverberatie. In cadrul studiului, pentru determinarea absorbtiei si duratei de



J22/1697/2016 - CUI 36354521; Telefon: 0744 633 067

reverberatie, au fost realizate calcule in 5 ipoteze de placare a salii si a tavanului cu diverse tratamente acustice, pentru sala goala si ocupata 100% .

Studiul prezinta rezultatele pentru varianta optima din punct de vedere acustic, in conditiile estetice agreate de arhitect

### Concluzii finale

- În vederea optimizării sălii din punct de vedere al calității acustice au fost elaborate propuneri de corecție, care au în vedere caracteristicile și distributia tratamentelor acustice.

Elaborat  
Prof. dr.ing. IRINA BLIUC

Conf. dr.arh. Călin Cordu

