

Masurari experimentale de timp de reverberatie intr-o sala de conferinte

Daniel PAVEL – Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti

Email : danielpavel22@gmail.com

Catalin BAILESCU – Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti

Email : catalin.bailescu@gmail.com

Vlad IORDACHE – Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti

Email : viordach@yahoo.com

Abstract

Compliance of the acoustic comfort is a requirement of major importance during the design of audition halls, conference rooms, concert halls. In this study we focused on the acoustic comfort parameter called reverberation time. After completion of construction, the value of this parameter is variable during the operation of the rooms, depending on the degree of furnishing and room occupancy. The aim of this study is to experimentally determine the influence of the furniture upon the reverberation time for a conference room. In this study the reverberation time was experimentally determined for three furnishing scenarios of the conference room: (S1) room furnished with 42 chairs and eight tables (S2) room furnished with only 42 chairs without tables and (S3) unfurnished room. The experimental study highlighted the degree to which the furniture, as variable element during room operation, can influence the reverberation time and acoustic comfort. It also set out the influence of the furniture type upon the reverberation time.

Key words : reverberation time, experiments, furniture influence

Rezumat

Respectarea confortului acustic reprezinta o cerinta de importanta majora in proiectarea salilor de auditiie, de conferinta, de concert. In acest studiu ne-am concentrat asupra parametrului de confort acustic numit timp de reverberatie. Dupa finalizarea constructiei, valoarea acestui parametru este variabila in timpul exploatarii unei anumite camere, depinzand de gradul de mobilare si de ocupare a camerei. Scopul acestui studiu este acela de a determina experimental influenta pe care o are mobilierul asupra timpului de reverberatie pentru o sala de conferinte. In acest studiu s-a determinat experimental valoarea timpului de reverberatie pentru o mai multe scenarii de mobilare a salii de conferinte: (S1) sala mobilata cu 42 scaune si 8 mese, (S2) sala mobilata cu doar 42 scaune fara mese si (S3) sala nemobilata. In urma studiului experimental s-a pus in evidenta gradul in care mobilierul, ca element variabil in timpul exploatarii unei sali de conferinte, poate sa influenteze timpul de reverberatie si confortul acustic. S-a pus de asemenea in evidenta influenta tipul materialelor mobilierului asupra timpului de reverberatie.

Cuvinte cheie : timp de reverberatie, studiu experimental, influenta mobilier

1. Introducere

Protecția la zgomot este stipulată ca cerință esențială în Directiva Consiliului European nr.89/106/CEE [1], și preluată în România, fiind CERINȚA DE CALITATE (F) [2] în construcții în contextul legii nr.10/1995. Cerința presupune crearea unor condiții de confort acustic pentru creșterea calitatii mediului interior [3]. În construcții, confortul acustic este descris în principal prin doi parametri: nivelul de zgomot și timpul de reverberație, care sunt reglementați prin valori maxime admisibile, diferite în funcție de destinația clădirii [4]. În acest studiu vom analiza timpul de reverberație.

Timpul de reverberație se exprimă ca fiind perioada de timp în care nivelul de presiune acustică scade cu 60 dB [4]. Astfel, măsurarea acestui parametru constă în următoarele etape: (1) realizarea unui nivel de zgomot foarte ridicat, (2) înregistrarea scaderii în timp a nivelului de presiune acustică și (3) determinarea timpului de reverberație (**Figura 1**).

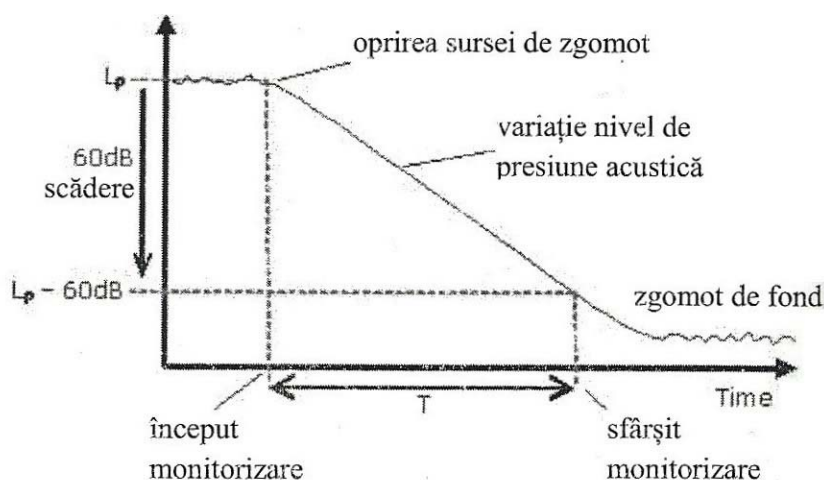


Figura 1. Determinarea grafică a timpului de reverberație [3]

În realitate, o anumită cameră, care trebuie să respecte condițiile de confort acustic din norme, este caracterizată de mai multe stări de exploatare diferite, în funcție de nivelul de mobilitate și de nivelul de ocupare al ei. În norme nu se specifică foarte clar starea de exploatare a camerei care trebuie să îndeplinească condițiile de confort acustic. Ca urmare camera ar trebui să satisfacă aceste condiții de confort acustic în condițiile de exploatare cele mai defavorabile din punct de vedere acustic, adică cu un minim de mobilitate și de ocupanți.

Astfel dacă în stare de exploatare condițiile de confort acustic sunt respectate, ca urmare și în situația unei exploatare mai intense vor fi respectate condițiile de confort acustic. Dar influența pe care o are tipul mobilierului și de gradul de încărcare al camerei cu mobilier asupra confortului acustic rămâne necunoscută, și depinde de beneficiar.

În acest studiu ne propunem tocmai evidențierea influenței pe care o exercită mobilierul asupra confortului acustic, exprimat prin intermediul parametrului timp de reverberație pentru o sală de geometrie complexă cu destinație „sală de conferință” (sală de reuniuni). Determinarea timpului de reverberație s-a realizat :

- prin experiment, în trei scenarii diferite:

- Scenariul 1 - camera cu 42 de scaune si 8 mese;
 - Scenariul 2 - camera cu 42 de scaune, fara mese;
 - Scenariul 3 - camera fara mobilier
- prin intermediul formulei teoretice, in scenariul 1 - camera cu 42 de scaune si 8 mese

Articolul prezinta masurarile experimentale realizate intr-o sala de conferinte si comparatiile cu valorile maxime admisibile din norme.

2. Experimente

In acest capitol vom prezenta pe scurt sala analizata, caracteristicile geometrice si acustice ale acesteia si protocolul experimental in vederea determinarii timpului de reverberatie.

Sala analizata este Sala coloanelor de la parterul cladirii Facultatii de Inginerie a Instalatiilor, situata la adresa: Bd. Pache Protopopescu, nr. 66, sect.2, Bucuresti (**Figura 2, Figura 3**). Destinatia salii este «sala de conferinte (de reuniuni)», iar pentru aceasta destinatie indeplinirea conditiilor de confort acustic sunt de o mare importanta.



Figura 2. Locatia cladirii si pozitia camerei analizate in interiorul cladirii

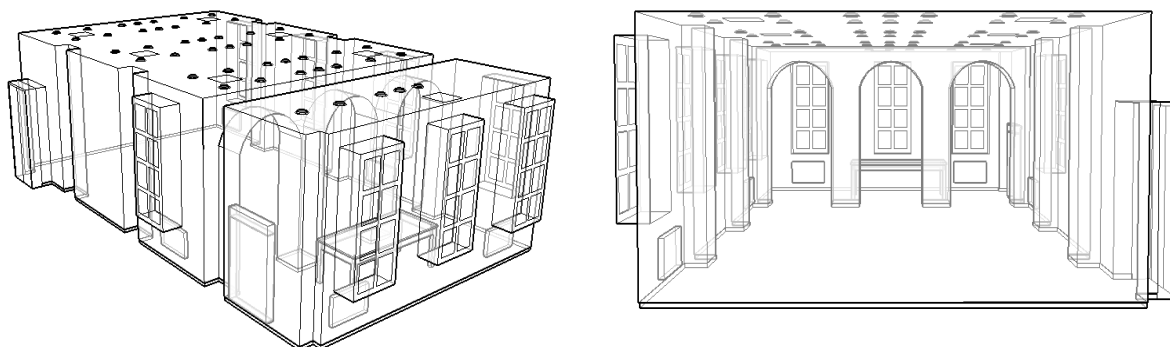


Figura 3 Schite 3D a salii analizate fara mobilier

În urma inspecției tehnice s-au prelevat caracteristicile geometrice și tipul de materiale prezente în camera. (**Figura 4**)

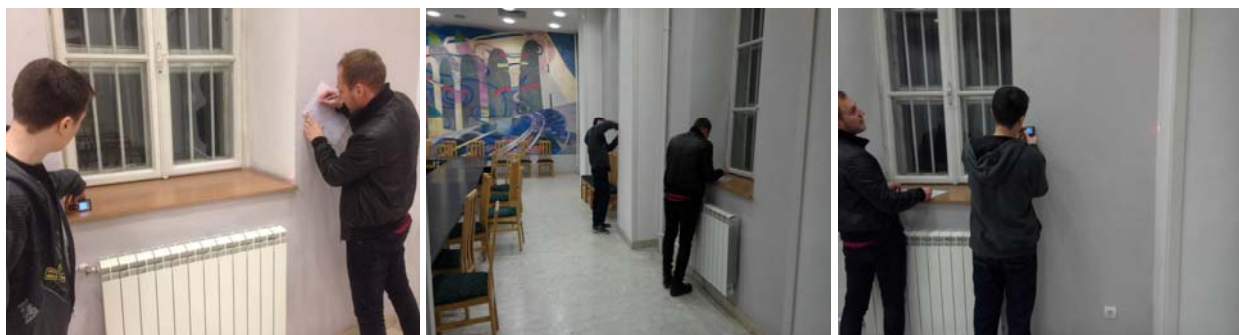


Figura 4. Prelevarea caracteristicilor geometrice

Dimensiunile sălii sunt: lungime 13,4m, lățime 7,68m, înălțime 4,01 m și un volum de 392,25m³. Suprafețele interioare și materialele aferente acestora sunt următoarele:

- pardoseala este din marmură, având o suprafață de 101,4m²
- pereții sunt din cărămidă plină, acoperiți cu tencuială, având o suprafață de 191m²
- tavanul este din rigips, având o suprafață de 95,81m²
- coloanele sunt din cărămidă plină, acoperite cu tencuială, având o suprafață de 37,68m²
- ferestrele sunt simple, din lemn, având o suprafață de 25,36 m²
- scaunele sunt din lemn, tapitate cu pânză, având o suprafață de 35,07m²
- mesele mici sunt din lemn, având o suprafață de 22,48 m²
- masa mare este din lemn, având suprafața de 10,32 m²
- ușa este din lemn, având o suprafață de 3,64m²
- cuierul este din lemn, având o suprafață de 7,28m²
- corpurile de încălzire sunt din aluminiu, având o suprafață de 7,6m²
- lampile sunt din aluminiu, având o suprafață de 1,8 m²
- grilele de ventilare sunt din pvc, având o suprafață de 2,52m²

Pentru a determina timpul de reverberație din încăpere și a influenței mobilierului, s-a realizat un experiment pe timp de noapte, pentru a diminua sursa de eroare reprezentată de zgomotul strădal. Durata de timp a experimentului a fost destul de mare, datorită numărului mare de măsurări efectuate pentru a acoperi toată suprafața încăperii.

Echipamentul experimental utilizat este compus din: sonometru 2250 de la Bruel&Kjaer (clasă de precizie 1) [5], soft reverberation time measurement 7227 de la Bruel&Kjaer [6], sursa de zgomot – un balon. Sursa de zgomot a fost plasată în mijlocul încăperii, iar pentru receptoare au fost alese 17 puncte de măsură (**Figura 5**).

Protocolul experimental a urmărit măsurarea timpului de reverberație în 3 scenarii de ocupare a sălii prin intermediul cărora să punem în evidență care este influența mobilierului:

- Scenariul 1: camera cu 42 de scaune și 8 mese (**Figura 6. a** - Scenariul 1)
- Scenariul 2: camera cu 42 de scaune, fără mese (**Figura 6. b** - Scenariul 2)
- Scenariul 3: camera fără mobilier (**Figura 6. c** - Scenariul 3)

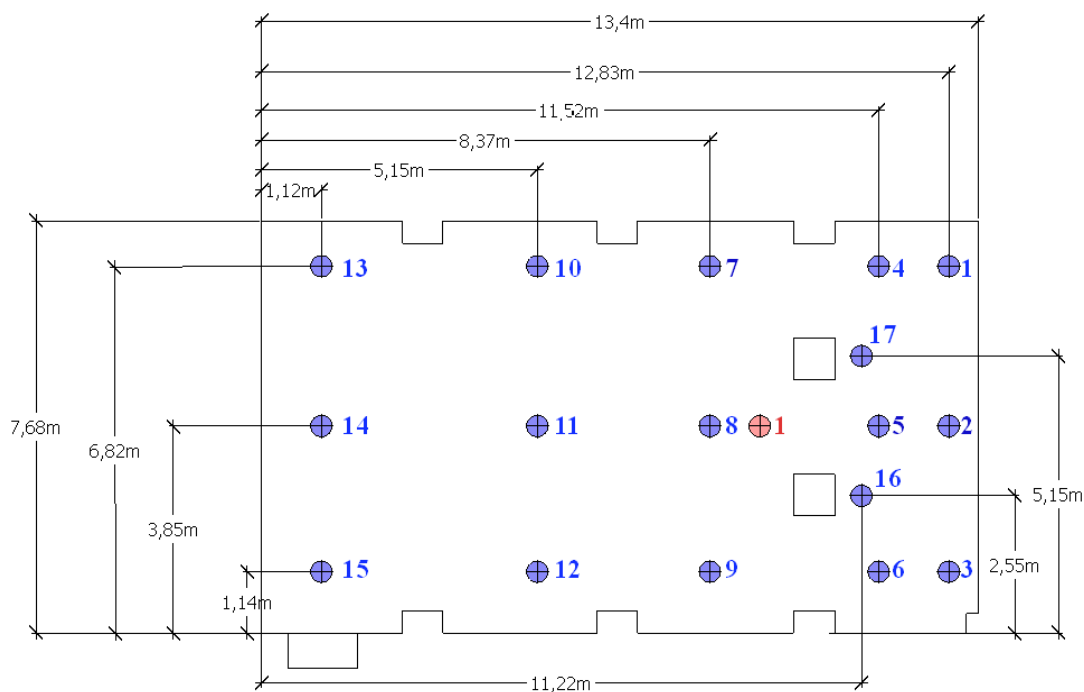


Figura 5. Pozitia sursei de zgomot (culoarea rosie) si a celor 17 receptori (culoarea albastra)



a. Scenariul 1

b. Scenariul 2

c. Scenariul 3

Figura 6. Scenariile protocolului experimental

3. Rezultate

În acest capitol vom prezenta pe scurt rezultatele obținute experimental (timp de reverberație experimental, TR_{exp} (s)), și comparația cu: rezultatele obținute teoretic (timp reverberație teoretic, TR_{teor} (s)) și cu valoarea max admisibilă conform normelor (timp reverberație maxim admisibil, TR_{max} (s)).

Determinarea timpului de reverberație bazat pe fundament teoretic a fost realizat doar pentru Scenariul 1- camera cu 42 de scaune și 8 mese, iar determinarea experimentală a fost realizată pentru fiecare dintre cele trei scenarii: Scenariul 1 - camera cu 42 de scaune și 8 mese; Scenariul 2 - camera cu 42 de scaune, fără mese; Scenariul 3 - camera fără mobilier.

Timpul de reverberatie teoretic

Timpul de reverberatie a fost calculat conform relatiei lui Sabine (**Ecuatia 1**) :

$$Tr = \frac{0,161 \cdot V}{\sum(S \cdot \alpha)} = \frac{0,161 \cdot V}{S_{pardoseala} \cdot \alpha_{marmura} + S_{pereti} \cdot \alpha_{tencuiala} + S_{tavan} \cdot \alpha_{grile} + S_{scaune} \cdot \alpha_{tencuiala} + S_{ferestre} \cdot \alpha_{ferestre} + S_{scaune} \cdot \alpha_{scaun} + S_{mese} \cdot \alpha_{lemn} + S_{masa\ mare} \cdot \alpha_{lemn} + S_{usa} \cdot \alpha_{usa} + S_{ouieri} \cdot \alpha_{lemn} + S_{corp\ inc} \cdot \alpha_{corp\ inc} + S_{lampi} \cdot \alpha_{lampi} + S_{grile\ ventilare} \cdot \alpha_{grile\ ventilare}}, \quad (1)$$

unde: V [m³] este volumul incaperii, S [m²] este suprafata prezenta in incapere, iar α (-) este coeficientul de absorbtie.

Suprafetele utilizate sunt cele determinate in urma prelevarii caracteristicilor geometrice, iar coeficientii de absorbtie au fost alesi in functie de tipul materialului aferent fiecarei suprafete (**Tabelul 1**) din [3]. Pentru corpurile de incalzire si lampi, coeficientii de absorbtie nefiind disponibili, au fost aproximati conform [7].

Frecventa	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
α tencuiala	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05
α marmura	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
α lemn	0,15	0,11	0,1	0,07	0,06	0,07	0,07
α usa	0,1	0,11	0,1	0,09	0,08	0,08	0,08
α ferestre	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04	0,04
α tavan	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03
α grile vent	0,16	0,26	0,3	0,35	0,29	0,26	0,26
α scaune	0,2	0,19	0,2	0,23	0,22	0,2	0,2
α mese	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07	0,07
α corp inc	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
α lampi	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02

Tabelul 1. Coeficientii de absorbtie folositi [3]

Rezultatele calculului teoretic (Ecuatia 1) sunt prezentate in **Tabelul 2**. Deoarece coeficientii de absorbtie ai diferitelor suprafete de la interior sunt diferiti de la o frecventa la alta, prin urmare si valorile timpului de reverberatie vor fi diferite de la o frecventa la alta.

frecventa	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
TRteo [s]	2,09	2,34	2,29	2,16	2,08	2,23	2,23

Tabelul 2. Timpul de reverberatie folosind formula teoretica a lui Sabine

Timpul de reverberatie maxim admisibil

Timpul de reverberatie, TRmax (s), conform normelor in vigoare, pentru o sala de conferinte cu un volum de 392,25 (m³), este de 0,96 secunde conform [1] si [2]. Se observa din **Tabelul 1**, cum timpul de reverberatie teoretic, TRteo (s), depaseste timpul maxim admisibil, TRmax (s), pentru sala de conferinte analizata, fiind nevoie de tratarea acustica a salii.

Timpul de reverberatie experimental in Scenariul 1 – S1

S-a masurat valoarea timpului de reverberatie pentru toate frecventele si pentru cele 17 puncte la interiorul salii, iar valoarea finala caracteristica salii reprezinta media celor 17 valori ale timpului de reverberatie (**Tabelul 3**). S-a constatat ca timpul de reverberatie variaza la interiorul salii analizate : valoarea minima este de 1,6 (s) in pozitia 8 de masura, iar cea maxima este de 3,06 (s) in pozitia 15 de masura; concluzie asemanatoare altor studii experimentale [8].

Pozitia/ Frecventa	TRexp camera cu 42 de scaune+8 mese (s)						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
1	2,12	2,75	2,97	2,64	2,11	1,71	1,23
2	2,07	2,84	2,9	2,61	2,18	1,65	1,2
3	2,16	2,86	2,98	2,6	2,22	1,71	1,19
4	2,13	2,79	3,01	2,64	2,15	1,66	1,23
5	2,42	2,77	2,81	2,59	2,2	1,66	1,19
6	2,14	2,86	2,99	2,6	2,18	1,68	1,18
7	2,05	2,76	2,9	2,61	2,11	1,66	1,21
8	1,84	2,68	2,96	2,53	2,16	1,6	1,12
9	2,11	2,78	2,88	2,52	2,18	1,65	1,2
10	2,28	2,73	2,84	2,59	2,08	1,69	1,17
11	2,05	2,72	2,96	2,63	2,1	1,65	1,14
12	2,34	2,84	2,88	2,59	2,12	1,67	1,2
13	2,18	2,81	2,99	2,6	2,15	1,65	1,17
14	2,04	2,71	2,87	2,62	2,1	1,66	1,21
15	2,22	2,85	3,06	2,58	2,17	1,65	1,22
16	2,09	2,86	2,97	2,55	2,15	1,68	1,18
17	2,31	2,79	2,88	2,72	2,06	1,68	1,19
TRexp mediu (s)	2,15	2,79	2,93	2,60	2,14	1,67	1,19

Tabelul 3. Rezultatele masurarilor experimentale in cele 17 puncte de masura in scenariul 1

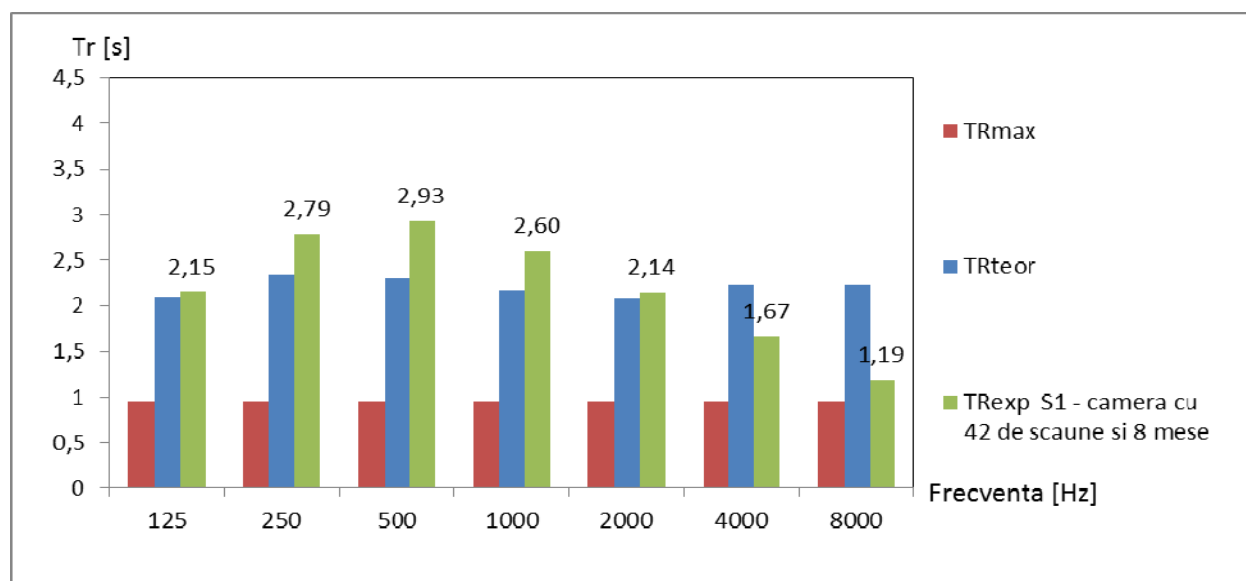


Figura 7. Variatia timpului de reverberatie mediu in Scenariul 1 – S1

Se observa ca valorile timpului de reverberatie obtinut depasesc valoarea maxima admisibila pentru respectarea conditiilor de confort acustic (**Figura 7**) si deci este necesara tratarea acustica a salii. In comparatie cu timpul de reverberatie teoretic rezulta diferente de aproximativ 0,5 secunde la frecventele de 500 Hz, 1000 Hz si 4000 Hz, iar la frecventa de 8000 Hz de 1 secunda. Aceste erori ale formulei teoretice sunt datorate urmatoarelor cauze: in calculul teoretic camerei este echivalata cu un tub, simplificarea introdusa de Sabine asupra logaritmului din formula de calcul a lui Eyring [9], neluarea in considerare a absorbtiei undei sonore in aer in cadrul formulei teoretice si diferentele dintre coeficientii de absorbtie preluati pentru diferitele suprafete de la interior pentru calculul teoretic si cei reali ale materialelor existente in camera.

Timpul de reverberatie experimental in Scenariul 2 – S2

Timpul de reverberatie pentru Scenariul 2 este determinat printr-o metoda asemanatoare cu cea folosita pentru scenariul 1 (medie intre cele 17 valori masurate la interior) (**Figura 8**).

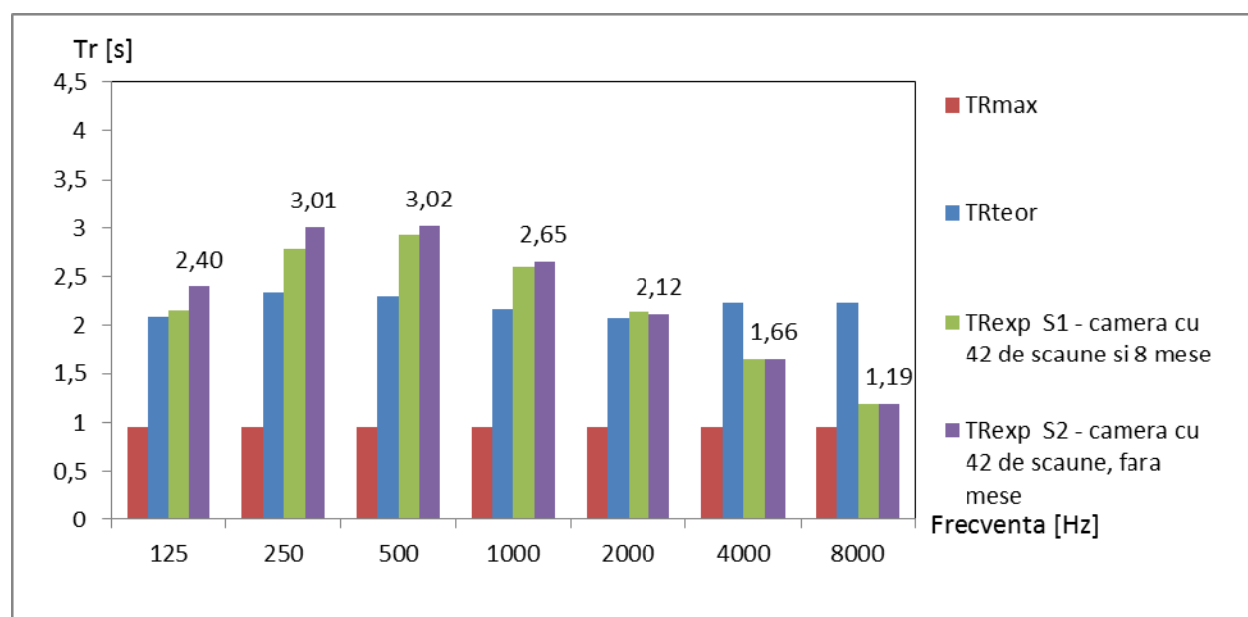


Figura 8. Variatia timpului de reverberatie mediu in Scenariul 2 – S2

Se observa ca timpul de reverberatie variaza foarte putin fata de Scenariul 1. Din aceasta observatie tragem concluzia ca mesele au o influenta redusa asupra timpului de reverberatie. Prin urmare, mesele sunt suprafete care absorb foarte putin unda sonora, probabil datorita datorita suprafetelor lucioase ale acestora. In comparatie cu normele in vigoare si in acest scenariu 2 se depaseste valoarea timpului maxim.

Timpul de reverberatie experimental in Scenariul 3 – S3

Timpul de reverberatie pentru Scenariul 3 este determinat printr-o metoda asemanatoare cu cea folosita pentru Scenariile 1 si 2 (medie intre cele 17 valori masurate la interior) (**Figura 9**). Se observa ca in Scenariul 3, fata de Scenariul 2, timpul de reverberatie creste foarte mult pentru frecventele de 500 Hz si 2000 Hz cu aproximativ 1 secunda, iar pentru frecventa de 1000 Hz cu 1,4 secunde.

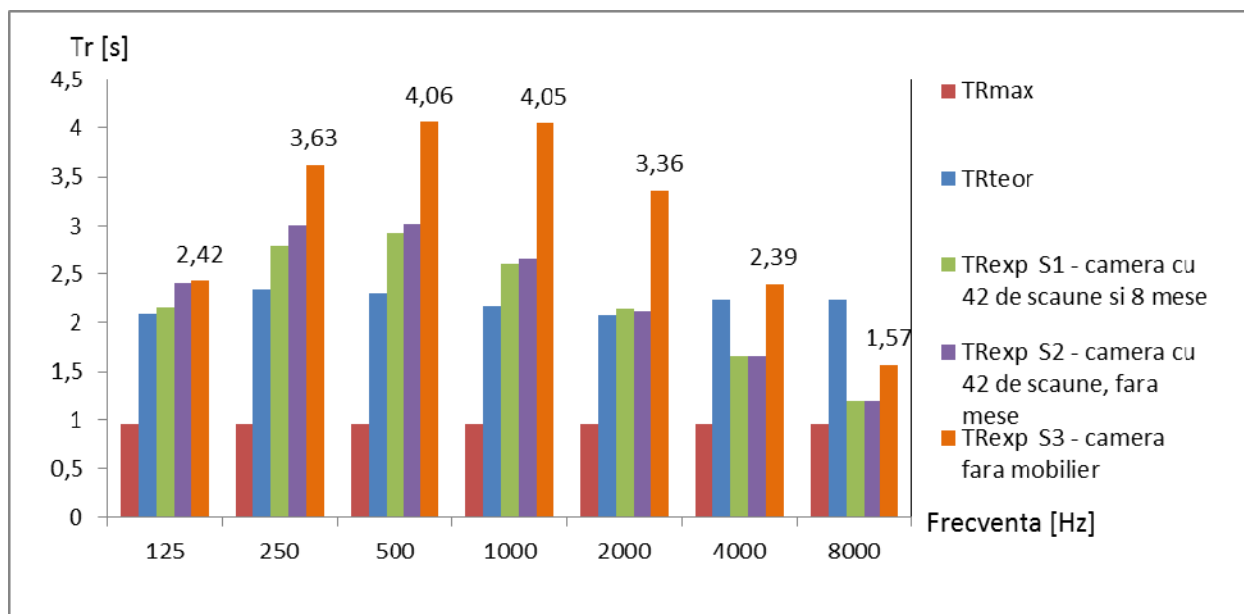


Figura 9. Variatia timpului de reverberatie mediu in Scenariul 3 – S3

Deci scaunele au o influenta mare asupra timpului de reverberatie, absorb mult din energia unei sonore. De aceea disparitia scaunelor a condus la o sala mult mai reverberanta decat in Scenariul anterior. Aceasta influenta este datorata captuselii de la partea de sezut a scaunelor (Figura 6.b). Timpul de reverberatie in Scenariul 3 este de 4 ori mai mare decat cel maxim admisibil, deci normele nu sunt respectate.

Toate determinarile realizate, si teoretice si experimentele arata necesitatea tratarii acustice a salii analizate.

4. Concluzii

Studiul de fata a presupus determinarea timpului de reverberatie si a influentei mobilierului, prin experiment, intr-o sala cu geometrie complexa in vederea tratarii acustice a acesteia. Experimentul s-a realizat in trei scenarii diferite: Scenariul 1 - camera cu 42 de scaune si 8 mese; Scenariul 2 - camera cu 42 de scaune, fara mese; Scenariul 3 - camera fara mobilier.

In urma experimentului s-a constatat ca timpul de reverberatie al salii in toate cele trei scenarii depaseste timpul maxim admisibil impus de normele in vigoare, fiind necesara tratarea acustica a acesteia.

S-a constatat ca nu este indicata folosirea formulei teoretice de calcul a lui Sabine pentru salile cu geometrie complexa, deoarece putem avea erori de pana la 1 secunda.

Masurarile acustice efectuate, in scenariile S1 (camera cu 42 scaune si 8 mese) si S2 (camera cu doar 42 de scaune, fara mese), au pus in evidenta influenta scazuta a meselor de tip studentesc asupra timpului de reverberatie. Aceasta influenta scazuta se datoreaza suprafetelor lucioase a acestora care absorb foarte putin din energia unei sonore.

Masurarile acustice efectuate, in scenariile S2 (camerei cu 42 scaune) si S3 (camera goala), au pus in evidenta influenta scaunelor asupra timpului de reverberatie. S-a constatat ca scaunele

au o influență mare, datorită suprafețelor capturate ale seșutului, suprafețe care absorb energiei unda sonoră.

În concluzie mobilierul are o influență foarte mare asupra timpului de reverberație, o soluție posibilă de tratare poate fi captarea spatelor scaunelor, sau la partea inferioară a mesei.

5. References

- [1] C125:2013 - Normativ privind acustica în construcții și zone urbane
- [2] HG 731/1991 publicat în Monitorul Oficial, Partea I nr. 227 din 13.11.1991 pentru aprobarea Regulamentului de atestare tehnico-profesională a specialiștilor cu activitate în construcții
- [3] Catalina, T., Iordache, V., IEQ assessment on schools in the design stage, Building and Environment, vol 57, february 2013, p 302-312
- [4] Iordache V., Catalina T. - Acustica clădirii și a instalațiilor - Aplicații proiectare -, Editura Matrix Rom, București, 2013
- [5] <http://www.bksv.com/Products/handheld-instruments/sound-level-meters/sound-level-meters/type-2250.aspx>
- [6] <http://www.bksv.com/products/handheld-instruments/sound-level-meters/sound-level-meter-software/reverberation-time-bz-7227.aspx>
- [7] http://www.acoustic.ua/st/web_absorption_data_eng.pdf
- [8] Iordache, V., Catalina T., Cucu, B.-M, Experimental Investigation of the Reverberation Time Inside a Complex Geometry Indoor Space, Romanian journal of Acoustics and Vibration, vol X, nr 2, 2013
- [9] Beranek, L.L., Analysis of Sabine and Eyring equations and their application to concert hall audience and chair absorption, Journal of Acoustic Society of America, vol 120 (3) September 2006 <http://www.leoberanek.com/pages/sabineandeyringeq.pdf>