

Cursul 12 Acustica spațiilor închise și fenomene acustice specifice

- 12.1. Acustica spațiilor închise.
- 12.2. Reverberația.
- 12.3. Atenuarea undelor elastice.
- 12.4. Efectul Doppler.

12.1 Acustica spațiilor închise

Generalități

Sunetele atunci când sunt generate în spații închise (hale industriale, săli de teatru, de concert, amfiteatre, săli de cursuri) sunetele suferă fenomene tipice undelor: i) absorbție; ii) reflexie și refracție pe tavan, podea, pereți și obiecte din încăperea; iii) undele sonore pot interfera și iv) există posibilitatea producerii undelor staționare; v) se pot auzi fenomenul de bătăi și vi) undele sonore suferă fenomenul de difracție (adică ocolesc obstacolele). Într-o încăperea cu o bună acustică sunetele pot fi percepute

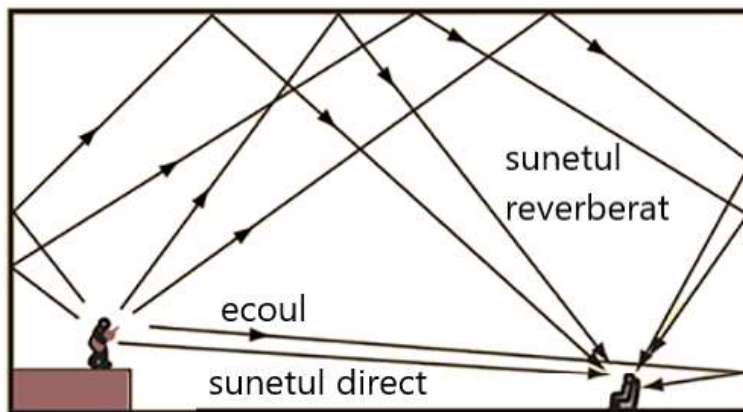


Fig. 1 Propagarea sunetului în spații închise.

fără niciun efort, la aceeași intensitate clare și nedistorsionate în orice loc din încăperea. La proiectarea clădirilor și spațiilor cu diferite funcționalități acustica arhitecturală prevede anumite cerințe acustice geometrice și fizice pentru spațiul interior.

Cerințe geometrice

Standardele din construcții prevăd un volum necesar de 6 până la 8 m³ per persoană și circa 30 000 de m³ per încăperea. Pentru evitarea ecoului este indicat ca:

- Înălțimea încăperii sa fie sub 10 m; sau
- Dacă din construcție se depășește această valoare atunci sunt necesare asigurarea unei acustici bune prin proiectare: i) tavanul trebuie să nu fie plan sau concav; ii) să nu aiba focarul în planul podelei; iii) în ceea ce privește formele obiectelor funcționale sau cu rol estetic dintre o încăpere este bine de știut că suprafețele reflectoare convexe permit o bună împrăștiere a sunetului. În acest sens se recomandă existența balcoanelor și logiilor. Acestea împiedică generarea undelor staționare, cu poziții de ventere alterând cu noduri în care amplitudinea rezultată fiind nulă nu se poate auzi nimic. iv) tot pentru evitarea undelor staționare prin reflexie multiple și a efectelor acustice nedorite, în săli de spectacole și de concerte tavanele nu trebuie să fie paralele cu podeaua.

12.2 Reverberația

Cerințe fizice

Fenomene ca reflecția repetată și absorbția sunetelor, pe pereți și pe alte suprafețe interioare, pot împiedica recepționare a sunetelor la calitatea dorită.

Definiție: *Reverberația* este fenomenul de prelungire a sunetului în încăpere după ce sursa încetează să emită. Astfel reverberația reprezintă recepția cu întârziere a momentelor când un sunet este produs și când încetează să mai fie auzit. Fie t_0 momentul în care sunetul este generat în încăpere. El va fi perceput la intensitatea

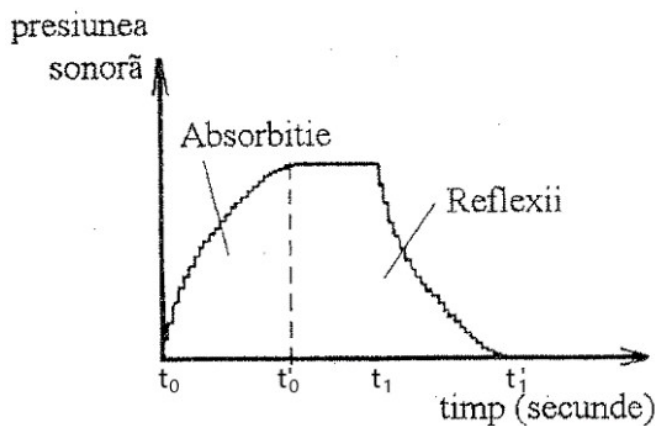


Fig. 2 Mecanismul de producere a reverberației.

sa maximă doar la t_0' , întârziere datorată absorbției sunetului pe suprafețe din sală (vezi figura 2). Dacă la momentul t_1 sunetul încetează să mai fie produs el va mai fi auzit până la t_1' . Acest este momentul în care sunetul dispare complet și este întârziat datorită reflexiei repetate pe pereții sălii.

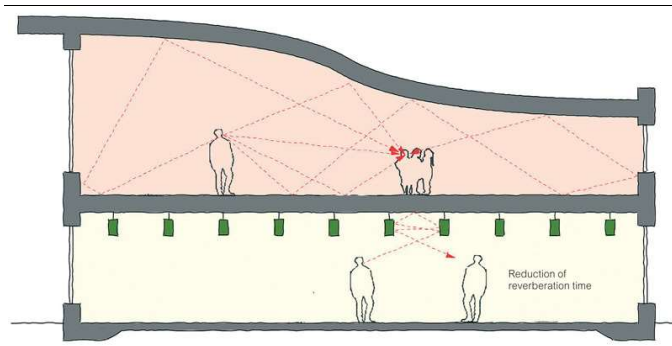


Fig. 3 Modalități de reducere a timpului de reverberație în spații închise.

Definiție: **Timpul de reverberație** este timpul în care nivelul sonor scade de 6 ori sau intensitatea scade de 10^6 ori. Astfel, durata de reverberație se definește ca intervalul de timp după care energia sunetului scade la o milionime din valoarea sa inițială. Timpuri de

reverberație se poate calcula atunci ca:

$$T_R = -\frac{\ln(10^{-6})}{\alpha \cdot n} = \frac{6 \ln(10)}{\alpha \cdot n}, \quad (1)$$

unde numărul de reflexe, n ale sunetului cu viteza de propagare v pe pereții unei săli cu aria totală reflectată S și cu volumul V se poate afla din formula de dusă în acustica construcțiilor:

$$n = \frac{v \cdot S}{4 \cdot V}, \quad (2)$$

iar durata de reverberație va fi dată de relația

$$T_R = 0,164 \frac{V}{\alpha \cdot S}, \quad (3)$$

și care este numită și legea acusticii arhitecturale. Se recomandă ca în salile de concert durată de reverberație să fie de 2,4 secunde dar de numai 1,2 secunde în săli de teatru.

12.3 Atenuarea undelor elastice

O parte din energia oscilațiilor este absorbită de mediul în care se propagă. În cazul undelor mecanice se datorează existenței forțelor de frecare. Să considerăm intensitatea unei incidente ca fiind I_0 . Se observă că descreșterea intensității acestei unde de-a lungul unei distanțe infimizezimale dx este proporțională cu intensitatea I :

$$\frac{dI}{dx} = -k \Rightarrow dI = -kI dx, \quad (4)$$

de unde prin integrare obținem:

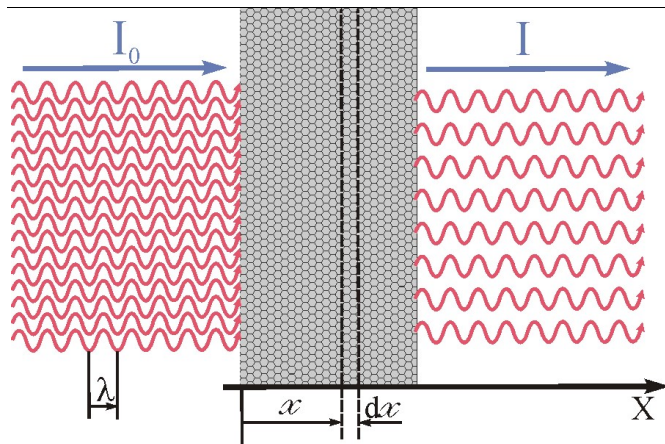


Fig. 4 Absorbția undelor mecanice în diverse medii elastice.

$$\int_{I_0}^I \frac{dI'}{I'} = -k \int_0^x dx' \Rightarrow \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) = -k \cdot x, \quad (5)$$

iar intensitatea unei care a străbătut o porțiune x de mediu este:

$$I = I_0 e^{-kx}. \quad (6)$$

Intensitatea unei descrește exponențial cu distanța parcursă. Constanta k este o măsură a absorbției mediului:

$$k = \frac{\alpha}{\lambda}, \quad (7)$$

unde α se numește coeficient de absorbție. În aceste caz legea de absorbție devine:

$$I = I_0 e^{-\frac{\alpha}{\lambda}x} = I_0 e^{-\alpha \frac{x}{\lambda}} \quad (8)$$

12.4 Efectul Doppler acustic

Enunț: Dacă o sursă se mișcă față de un receptor atunci frecvența cu care sunt recepționate sunetele depinde de viteza relativă a receptorului față de sursă. Există două cazuri particulare:

1 Receptorul fix și sursa mobilă

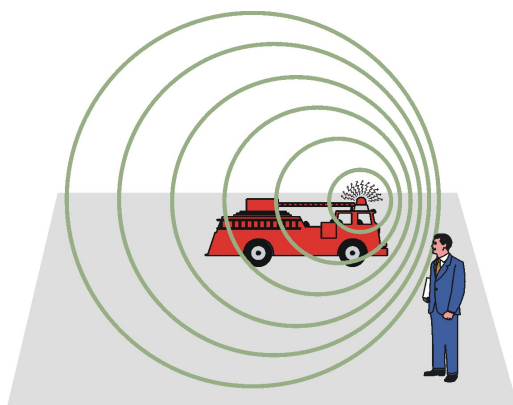


Fig. 5 Sunetul recepționat de către un observator fix are o frecvență diferită față de frecvența sursei.

Fie un receptor situat într-un punct B și care recepționează undele emise de o sursă situată într-un punct A. Timpul în care ajung acestea la receptor dacă distanța dintre sursă și receptor este o lungime de undă este:

$$T = \frac{\lambda}{c}. \quad (9)$$

Dacă sursa ar fi în repaus distanța AB ar rămâne egală cu lungimea de undă, λ dar

dacă sursa se găsește în mișcare cu viteza, v atunci distanța sursă observator se micșorează în timp de o perioadă cu:

$$AA' = v \cdot T, \quad (10)$$

astfel în mediul imobil se va propaga o undă cu lungimea de undă:

$$\lambda' = \lambda - v \cdot T, \quad (11)$$

care se va propaga cu viteza c într-o perioadă T' :

$$T' = \frac{\lambda'}{c}, \quad (12)$$

de unde dacă împărțim ecuația (11) cu c avem:

$$\frac{\lambda'}{c} = \frac{\lambda}{c} - \frac{v \cdot T}{c} \Rightarrow T' = T - \frac{v \cdot T}{c} = T \frac{c - v}{c}, \quad (13)$$

iar frecvența care este inversul perioadei este :

$$v' = v \frac{c}{c - v}, \quad (14)$$

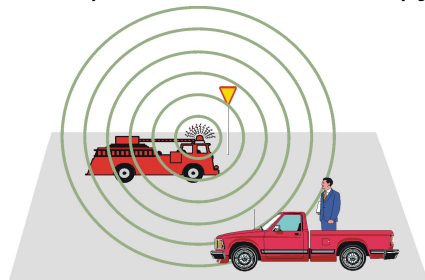
care este frecvența (mai înaltă decât în cazul static) dacă sursa se apropie de receptor, și care se transformă în mod evident în:

$$v' = v \frac{c}{c + v}, \quad (15)$$

(mai joasă decât în cazul static) dacă sursa se îndepărtează de observator.

II Receptorul mobil și sursa fixă

Fie v frecvența cu care emite sursa A. În punctul B aceste unde emise de A sunt recepționate. Dacă receptorul B se mișcă spre sursa A cu viteza v , atunci în unitatea de timp numărul undelor recepționate este mai mare cu:



$$\Delta v = \frac{BB'}{\lambda} = \frac{v \cdot 1s}{\lambda} = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{\frac{c}{v}} = \frac{v}{c} v, \quad (16)$$

de unde frecvența cu care se recepționează unda este:

$$\Delta v = v' - v = \frac{v}{c} v$$

$$v' = \frac{v}{c} v + v = \frac{c + v}{c} v, \quad (17)$$

Fig. 6 Sunetul recepționat de către un observator mobil de la o sursă fixă are o frecvență diferită față de frecvența sursei.

dacă receptorul se apropie de sursă și:

$$v' = \frac{c-v}{c} v, \quad (18)$$

dacă receptorul se îndepărtează de sursă.

Prin combinarea celor două cazuri se obține:

$$v' = \frac{c \pm v_r}{c \mp v_s} v, \quad (19)$$

unde v_r este viteza receptorului iar v_s viteza sursei. Primul semn fiind considerat la apropierea relativă dintre sursă și receptor iar semnul de jos fiind folosit la îndepărtarea relativă dintre sursă și receptor.