

Cursul 11 Acustica

- 11.1. Unde sonore.
- 11.2. Proprietatile sunetelor. Energia și intensitatea sunetelor. Presiunea sonora.
- 11.3. Caracteristicile sunetelor. Nivel sonor și nivel auditiv.

11.1 Unde sonore

Acustica: Sunetele și percepția lor

Sunetele sunt fenomene care însoțesc multe din activitățile umane cotidiene. Acestea sunt numeroase și de intensitate considerabilă, ele poluează mediul, mai ales cel urban, generând diverse efecte neuropsihice sau afecțiuni ale aparatului auditiv și ale altor organe vitale. Zgomotele din surse antropice sunt mult mai dăunătoare pentru sănătate decât cele din surse naturale cum ar fi: foșnetul frunzelor în bătaia vântului, vuietul unei cascade sau al valurilor, trilarile păsărilor din pădure și multe altele. Sunetele naturale nu reprezintă factori de stres ci dimpotrivă pot fi ingredientele unei atmosfere relaxante. Pe de altă parte sunetul sirenelor de la mașinile de intervenție, motoarele camioanelor, ambalarea motoarelor, claxonarea, muzica la nivel ridicat, tiuitul ventilelor defecte de la țevile de apă pot scoate din sărite și pe cel mai cald om. Unele afecțiuni ale auzului pot fi produse chiar de zgomotul avioanelor cu reacție, ciocane pneumatice și dispozitive utilizate în construcția clădirilor și a drumurilor.

*Definiție: **Acustica** este acea parte a fizicii care se ocupă cu studiul producerii, propagării, recepției și proprietățile sunetelor.*

*Definiție: Numim **sunete**, oscilațiile mecanice capabile să impresioneze organul auditiv al omului care este urechea (receptorul).*

Condițiile care trebuie îndeplinite de undele sonore pentru a fi percepute de ureche.

- Să fie emise de o sursa de sunete.
- Să existe un mediu elastic între sursa de sunete și receptor.
- Frecvența de oscilație să fie cuprinsă între 16 Hz și 20 000 Hz.

- Puterea undelor sonore trebuie să fie suficientă pentru a produce o senzație auditivă. Sau cu alte cuvinte să aibă o intensitate mai mare decât așa numitul prag auditiv (aproximativ 10^{-12} W/m² la o frecvență de 1 kHz).
- Sunetul trebuie să depășească durata minimă pentru ca organul auditiv să-l sesizeze (≥ 0.05 s).

*Definiție: Oscilațiile mecanice care au frecvența de oscilație deasupra limitei de audibilitate (peste 20 kHz) se numesc **ultrasunete**.*

*Definiție: Oscilațiile mecanice care au frecvența de oscilație dedesubtul limitei de audibilitate (sub 16 Hz) se numesc **infrasunete**.*

În afară de ureche sunetele mai pot fi recepționate și de dispozitive ca de exemplu microfonul.

Producerea și propagarea sunetelor

Sunetele sunt produse de corpuri sau medii elastice aduse în stare de oscilație. Corpurile capabile să emită sunete în condiții determinate se numesc surse sonore.

Sunetele se pot produce în corzi vibrante (vioara, corzi vocale, etc.), coloane de aer vibrante (orga, clarinet, etc.) și plăci și membrane vibrante (xilofon, difuzor, toba, etc.). Oricare ar fi mediul elastic în care se propagă sunetul nu implică transport de substanță ci doar transport de energie. Acest transfer se realizează prin intermediul particulelor mediului străbătut. De aici rezultă că sunetul nu se poate produce în vid. De obicei corpurile care emit sunete se găsesc în spațiu iar dacă nu sunt împiedicate sunetele se vor răspândi în toate direcțiile.



Fig. 1 Sursele sonore produc unde mecanice capabile să impresioneze, urechea, organul auditiv uman.

Sunetul fundamental și armonicile superioare

Un caz particular al interferenței undelor este producerea undelor staționare.

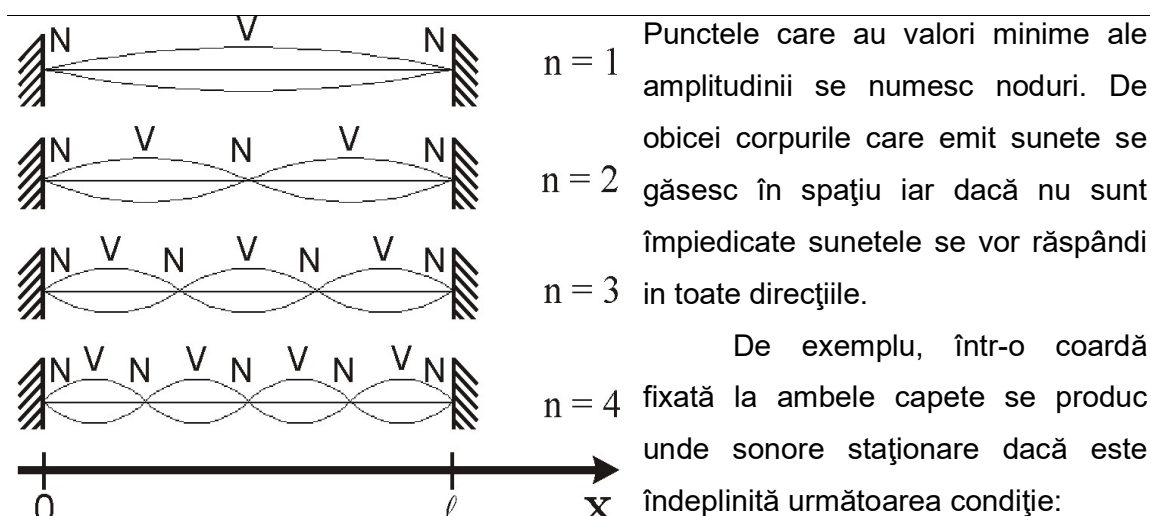


Fig. 2 Modurile de vibrație, fundamentală și primele trei armonice, într-o coardă vibrantă. Apariția nodurilor și a ventrelor.

$$l = n \frac{\lambda}{2}, \quad (1)$$

unde l este lungimea corzii. In acest caz frecvența oscilațiilor emise de coardă este:

$$v_n = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{\frac{2l}{n}} = n \frac{c}{2l} = n v_0, \quad (2)$$

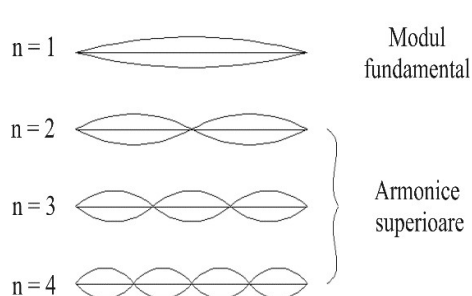
unde c este viteza sunetului iar:

$$v_0 = \frac{c}{2l}, \quad (3)$$

este frecvența fundamentală.

Sunetele produse de o coardă au frecvențele multiplu întreg al frecvenței fundamentale.

*Definiție: Sunetul care are frecvența egală cu v_0 se numește **sunet***



fundamental.

*Definiție: Sunetul care are frecvența egală cu un multiplu întreg al frecvenței fundamentale, v_0 se numește **armonică**.*

*Definiție: **Zgomotul** reprezintă o suprapunere de unde periodice dacă numărul componentelor este foarte mare.*

Fig. 3 Modul fundamental și primele trei armonice superioare în care poate sa vibreze o coardă fixată la capete.

11.2 Proprietățile sunetelor

Energia și intensitatea sunetelor

Procesul de propagare a undelor mecanice și deci și cele sonore, înseamnă propagarea mișcării, ceea ce semnifică o propagare a energiei. Fie o undă sonoră (longitudinală) ce se propagă într-un mediu elastic (aerul). Să considerăm funcția de undă ca fiind $\Psi(x,t)$ se consumă o energie pentru învingerea forței elastice care se opune deformării. Puterea consumată este:

$$P = -F \cdot v \Leftrightarrow \frac{\partial W}{\partial t} = -F \frac{\partial \Psi}{\partial t}, \quad (4)$$

unde s-a considerat că viteza de deformare este $v = \frac{\partial \Psi}{\partial t}$. Pentru o undă sinusoidală:

$$\Psi(x,t) = A \cdot \sin\left[2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)\right] = A \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right) = A \cdot \sin(\omega \cdot t - k \cdot x), \quad (5)$$

unde s-a definit vectorul de undă:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi v}{\lambda v} = \frac{\omega}{\lambda} = \frac{\omega}{v}. \quad (6)$$

Forța se poate exprima din legea lui Hooke:

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta l}{l_0} \Rightarrow \frac{F}{S} = E \frac{\partial \Psi}{\partial x} \Rightarrow F = ES \frac{\partial \Psi}{\partial x}. \quad (7)$$

Derivata parțială a funcției de undă în funcție de timp este:

$$\frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t} = A\omega \cos(\omega \cdot t - k \cdot x). \quad (8)$$

Iar derivata parțială a funcției de undă în funcție de spațiu este:

$$\frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial x} = -Ak \cos(\omega \cdot t - k \cdot x) = -A \frac{\omega}{v_s} \cos(\omega \cdot t - k \cdot x). \quad (9)$$

Iar din formula vitezei sunetelor se obține:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho_0}} \Rightarrow E = \rho_0 v_s^2. \quad (10)$$

Puterea transmisă secțiunii vecine de către secțiunea deformată este atunci:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = -ES \frac{\partial \Psi}{\partial x} \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \rho_0 v_s^2 SA \frac{\omega}{v_s} \cos(\omega \cdot t - k \cdot x) A \omega \cos(\omega \cdot t - k \cdot x), \quad (11)$$

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \rho_0 v_s SA^2 \omega^2 \cos^2(\omega \cdot t - k \cdot x)$$

care este întotdeauna o mărime pozitivă.

Valoarea medie a puterii este dată de relația generală:

$$\left\langle \frac{\partial W}{\partial t} \right\rangle = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{\partial W}{\partial t} dt = \frac{1}{T} \int_0^T \rho_0 v_s SA^2 \omega^2 \cos^2(\omega \cdot t - k \cdot x) dt, \quad (12)$$

care devine

$$\left\langle \frac{\partial W}{\partial t} \right\rangle = \rho_0 v_s SA^2 \omega^2 \frac{1}{T} \int_0^T \cos^2\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t - k \cdot x\right) dt = \frac{1}{2} \rho_0 v_s SA^2 \omega^2. \quad (13)$$

Definiție: Fluxul de energie prin unitatea de suprafață, adică energia transportată de undă în unitatea de timp prin unitatea de suprafață se numește **intensitatea undei**.

$$I = \frac{1}{S} \left\langle \frac{\partial W}{\partial t} \right\rangle = \frac{1}{2} \rho_0 v_s A^2 \omega^2. \quad (14)$$

Definiție: Densitatea medie de energie, w transportată de undă în unitatea de timp este:

$$w = \left\langle \frac{\partial W}{\partial V} \right\rangle = \left\langle \frac{\partial W}{\partial(S \cdot l)} \right\rangle = \left\langle \frac{\partial W}{\partial(S \cdot v_s \cdot t)} \right\rangle = \frac{1}{S \cdot v_s} \left\langle \frac{\partial W}{\partial t} \right\rangle = \frac{1}{v_s} \frac{1}{S} \left\langle \frac{\partial W}{\partial t} \right\rangle = \frac{1}{v_s} I, \quad (15)$$

de unde:

$$w = \frac{1}{2} \rho_0 A^2 \omega^2. \quad (16)$$

Intensitatea undei este legată de densitatea de energie medie prin viteza de propagare a undei:

$$I = w \cdot v_s. \quad (17)$$

Unitățile de măsură ale mărimilor implicate sunt:

$$\left[\left\langle \frac{\partial W}{\partial t} \right\rangle \right] = W$$

$$[I] = \frac{\left[\left\langle \frac{\partial W}{\partial t} \right\rangle \right]}{[S]} = \frac{W}{m^2} \cdot \quad (18)$$

$$w = \frac{[I]}{[v_s]} = \frac{W_s}{m^3}$$

Deoarece $\omega A = u_{\max}$ – viteza maximă de oscilație a elementului de volum, intensitatea undei devine:

$$I = \frac{1}{2} \rho_0 v_s u_{\max}^2 \cdot \quad (19)$$

Presiunea undelor

Definiție: Câmpul sonor constituie regiunea din spațiu învecinată surselor sonore unde se propagă sunetele.

Undele longitudinale în gaze presupun comprimări și destinderi succesive realizate prin deplasarea oscilatorie a particulelor mediului pe direcția de propagare a undei. Acest fapt se traduce prin mărirea și comprimarea presiunii statice locale a gazului.

*Definiție: Diferența dintre presiunea într-un punct din câmpul sonor în prezența undelor sonore și valoarea presiunii în absența acestora se numește **presiune acustică**.*

Modulul de compresibilitate se poate defini folosindu-se relația:

$$\chi = -V \frac{dp}{dV} \text{ de unde } dp = -\chi \frac{dV}{V}, \quad (20)$$

care este variația finită de presiune datorată oscilațiilor care determină variația volumului $V = Sdx$. Iar variația volumului este dată de $dV = Sd\psi$. Atunci relația (C7.32) devine:

$$p_s = dp = -\chi \frac{d\psi}{dx} = \chi Ak \cos(\omega y - kx), \quad (21)$$

care devine:

$$p_s = v^2 \rho A \frac{\omega}{v} \cos(\omega t - kx) = v \rho A \omega \cos(\omega t - kx). \quad (22)$$

Presiunea sonoră trece prin maxime și minime. Se poate defini presiunea sonoră maximă ca fiind:

$$p_{s,max} = v\rho A\omega = v\rho u_{max}, \quad (23)$$

care este dependentă prin ρ de proprietățile mediului și de viteza maximă a oscilațiilor elementare. Legătura dintre intensitatea sonoră și presiunea sonoră maxima:

$$I = \frac{1}{2} \rho_0 v_s u_{max}^2 = \frac{1}{2} \frac{(\rho_0 v_s u_{max})^2}{\rho_0 v_s} = \frac{1}{2} \frac{p_{s,max}^2}{\rho_0 v_s}. \quad (24)$$

Se poate defini presiunea efectivă ca fiind valoarea medie a presiunii:

$$p_{s,eff} = \langle p_s \rangle = \langle v_s \rho u_{max} \cos(\omega t - kx) \rangle = v_s \rho u_{max} \langle \cos(\omega t - kx) \rangle = \frac{p_{s,max}}{\sqrt{2}}, \quad (25)$$

de unde intensitatea sonoră devine:

$$I = \frac{1}{2} \frac{p_{s,max}^2}{\rho_0 v_s} = \frac{p_{s,eff}^2}{\rho_0 v_s}. \quad (26)$$

11.3 Caracteristicile sunetelor

Caracteristicile fiziologice ale sunetelor

Aparatul auditiv uman, alcătuit din ureche (externă, medie și internă), nervul auditiv și sistemul nervos central sesizează și diferențiază sunetele pe baza unor caracteristici ale acestora. În tabelul 1 sunt prezentate caracteristicile fiziologice ale sunetului și mărimile fizice corespunzătoare fiecăreia dintre acestea. Se observă că senzația de sunet este caracteristica fiziologică iar stimulul este mărimea fizică.

Tabelul 1 Caracteristici fiziologice ale sunetelor.

Caracterisrtica fiziologică (senzația)	Tăria	Înălțimea	Timbrul	Stereofonia
Marimea fizică (stimulul)	Intensitatea	Frecvența	Compoziția spectrala	Defazajul la cele două urechi

Tăria sunetelor

Calitatea sunetului numită tărie, este legată de intensitatea sunetului (deci de și de amplitudinea acestuia), fiind dependentă de energia transportată de sunet. Pe de

altă parte, aparatul auditiv uman (urechea) este sensibil și la frecvența sunetelor recepționate, fiind mai sensibil la sunetele acute (înalte). Interesata energia transportată de sunet în unitatea de timp prin unitatea de suprafață este proporțională cu pătratul amplitudinii și cu pătratul frecvenței sunetului (vezi ec. 14):

Înălțimea sunetelor

Caracteristica sunetului numită înălțime este legată de valoarea frecvenței acestuia. Diferitelor sunete armonice, de frecvențe diferite, li se atribuie note muzicale. Astfel, un sunet grav este unul de joasă frecvență iar un sunet acut are o frecvență înaltă. Două note muzicale ale căror frecvențe se află în raport de 1:2 diferă printr-o octavă. De exemplu nota muzicală La are frecvența de 440 Hz. O notă muzicală cu o octavă mai sus are frecvența de 880 Hz. Gama Do-Major, de exemplu începe cu sunetul de frecvență 16 Hz (care este limita inferioară de audibilitate), și se încheie cu sunetul de frecvență dublă 32 Hz. Printr-un acord internațional, în 1953 s-a convenit ca sunetele din gama Do-Major principală să fie cele cu frecvențe de 264, 297 și așa mai departe. Datele complete se pot observa în tabelul 2.

Tabelul 2 Exemple de octave și note muzicale

Nota muzicală	Do	Re	Mi	Fa	Sol	La	Si	Do
Raportul frecvențelor	1	9/8	10/8	12/9	12/8	15/9	15/8	16/8=2
Frecvența ν (Hz)	16	18	20	21.33	24	26.67	30	32

	264	297	330	352	396	440	495	528

Legea Weber-Fechner

Enunț: variația senzație răspunsului aparatului auditiv (R) este proporțională cu variația relativă a stimulului (S).

$$dR \propto \frac{dS}{S}, \quad (27)$$

care prin integrare duce la:

$$R \propto \ln(S). \quad (28)$$

Răspunsul R este determinat pentru nivelul sonor al sunetului perceput N_s . (vezi mai jos), iar stimulul S este legat de intensitatea I a sunetului. Aparatul auditiv uman este sensibil la sunete cu intensități aparținând unei game largi de valori. Pentru un sunet normal cu frecvența de 1000 Hz i) **pragul de audibilitate** al intensității este $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$; iar 2) la **praguri de durere** intensitatea este cu 12 ordine de mărime mai mare, adică 1 W/m^2 (vezi Fig. 2). În plus valoare maximă a intensității unei unde mecanice care mai este considerată sunet are valoarea de $I_{\max} = 10^{+2} \text{ W/m}^2$. În felul acesta domeniul total al intensității sonore acoperă un număr de 14 ordine de magnitudine.

Nivelul sonor

Altfel spus sunetele auzite de om pot să varieze într-o gamă foarte largă de ordine de mărime ale intensității sonore $I \in [10^{-12} \text{ W/m}^2 \div 10^2 \text{ W/m}^2]$. S-a constatat că scala logaritmică este mult mai comodă pentru a măsura intensitatea sunetului:

$$N_s = \log \frac{I}{I_0} \quad [\text{bel}], \quad (29)$$

sau

$$N_s = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad [\text{dB}], \quad (30)$$

unde $I_{s,\min} = I_0$ la frecvența $\nu = 1 \text{ kHz}$ și se numește așa cum am menționat anterior

prag de audibilitate. Valoarea maximă a intensității sonore care mai poate fi suportată de urechea noastră se numește **prag de senzație dureroasă**.

Se definește astfel nivelul sonor, N_s , al unui sunet cu frecvența ν și intensitate I ca logaritmul zecimal al raportului dintre intensitatea sunetului dat și intensitatea pragului auditiv. Așadar N_s exprima de fapt diferența dintre nivelul sonor al sunetului de intensitate I față de sunetului cu intensitatea de



Fig. 4 Scala nivelului sonor și exemple de surse de zgomot.

$$N_s = 10[\lg(I) - \lg(I_0)]. \quad (31)$$

Se vede în figura 2 că pentru un sunet normal ($\nu_0 = 1$ kHz) de intensitate $I = 1 \text{ W/m}^2$ are nivel sonor cu 120 dB deasupra pragului de audibilitate, considerată pentru aceeași frecvență ν_0 .

Nivelul auditiv

Senzația de auz fiind una subiectivă trebuie să se definească un nivel de audibilitate notat cu N_a pentru un sunet de intensitate I și frecvență ν . Acesta caracterizează senzația auditivă produsă omului (adică este specific fiecărei persoane) de către sunet. Astfel, spre deosebire de Nivelul sonor care este o mărime obiectivă Nivelul auditiv este o mărime subiectivă. Nivelul auditiv se poate defini în același fel ca și nivelul sonor:

$$N_a = 10 \log \frac{I_a}{I_{a,0}} \quad [\text{foni}]. \quad (32)$$

relație în care I_a este intensitatea sonoră a unui sunet normal (cu frecvența $\nu_0 = 1$ Hz) care produce aceeași senzație de tărie ca și sunetul dat, de intensitate I și frecvență ν . $I_{a,0} = I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

Definiție: *Nivelul auditiv a unui sunet este egală cu Nivelul sonor a unui sunet normal cu frecvența $\nu = 1$ kHz care produce aceeași senzație auditivă ca și sunetul dat.*

Diagrama din figura 4 prezintă curbele de egală tărie. Se vede că frecvența de prag pentru un sunet normal este de 10^{-12} W/m^2 , corespunzând la nivelul sonor $N_s = 0$.

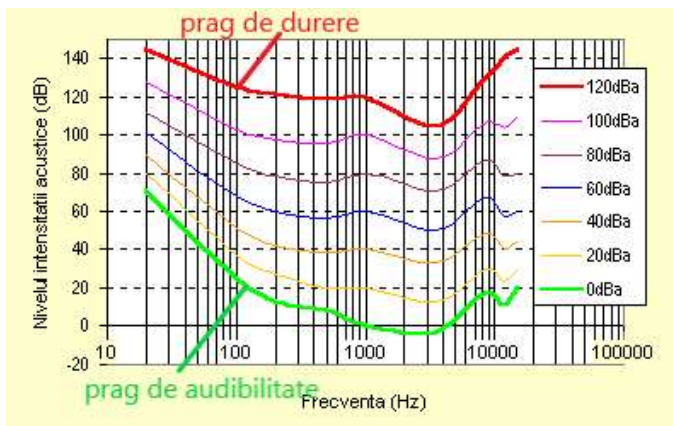


Fig. 5 Curbele de egală audibilitate.

Pentru sunetele de frecvență mai joasă intensitatea sonoră (ca mărime fizică legate de cantitatea de energie transportată) trebuie să crească pentru ca sunetul să fie abia perceput. Pe de altă parte la frecvențe superioare cele a sunetului normal, $\nu > \nu_0$

intensitatea unei trebuie să scadă pentru ca sunetul să fie perceput de egală tărie cu cel normal. Tot în Fig. 2 se observă că toate curbele de egală tărie prezintă câte un minim la frecvența de 4000 Hz. Acesta este frecvența de maximă sensibilitate a urechii umane.

În afară de nivelul sonor N_s nivelul de audibilitate N_a pentru exprimarea tarii unui sunet se mai pot defini și nivelul puterii sonore (P):

$$N_W = 10 \lg \left(\frac{P}{P_0} \right). \quad (33)$$

precum și nivelul presiunii sonore (p):

$$N_p = 10 \lg \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^2 \right] = 20 \lg \left(\frac{p}{p_0} \right). \quad (34)$$

valorile de referință fiind $P_0 = 10^{-12} \text{ W}$ și respectiv $p_0 = 20 \text{ } \mu\text{Pa} = 20 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$.

Timbrul sunetelor

Sunetele uzuale nu sunt, decât cu puține excepții, armonice pure. Ele sunt de cele mai multe ori rezultatul suprapunerii mai multă armonici. Descompunerea unui semnal sonor în armonicile din care este alcătuit este posibilă pe baza analizei Fourier a oricărui semnal periodic. Astfel dacă sunetul poate să fie considerat ca fiind:

$$S(t) = A_0 + A_1 \sin(2\pi\nu_1 t) + A_2 \sin(2\pi\nu_2 t) + A_3 \sin(2\pi\nu_3 t) + \dots, \quad (35)$$

care poate să fie scris într-un mod compact sub forma:

$$S(t) = \sum_{n=1}^N A_n \sin(2\pi n\nu_1 t), \quad (36)$$

unde s-a folosit relația dintre frecvența sunetului fundamental ν_1 și armonicile superioare: $\nu_n = n\nu_1$ (cu $n = 2, 3, 4, \dots$).

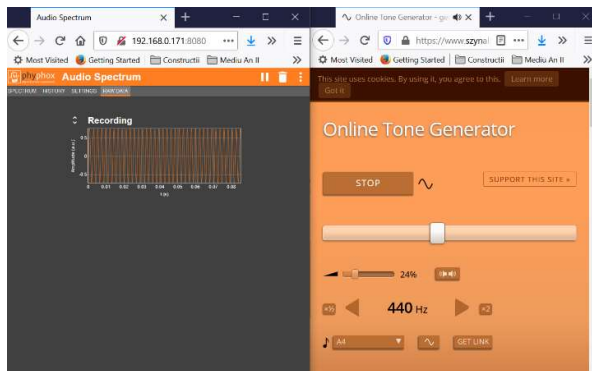


Fig. 6 Sunetul în timp produs de un generator de tonuri.

Definiție: *Timbrul reprezintă calitatea prin care se pot distinge sunete de aceeași frecvență și intensitate emise de două sunete diferite.*

Această diferență este dată de componența spectrală a sunetelor sau cu alte cuvinte de către colecția de amplitudini A_n . Spectrul sunetelor poate

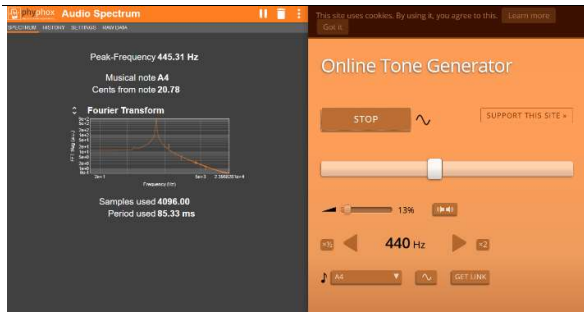


Fig. 7 Componenta spectrala a notei muzicale La produsă de un generator de tonuri. Se observă și mici zgomote.

sa fie obținut din punct de vedere practic prin folosirea Transformatei Fourier aplicată asupra sunetului înregistrat:

$$A(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} S(t)e^{i\omega t} dt, \quad (37)$$

care este forma integrală și unde pulsația $\omega = 2\pi\nu$ este legată de recvența sunetelor iar, i este numărul imaginar.

Transformata Fourier poate sa fie realizată de catre dispozitive electronice sau numeric folosind programe software, asupra sunetelor înregistrate analog și transformate digital. Acest lucru are loc întotdeauna asupra unui eșantion, și astfel forma integrală se transformă într-o sumă:

$$A(\nu_l) = \sum_{k=1}^N S(t_k)e^{i2\pi\nu_l t_k} dt, \quad (38)$$

Există algoritmi de Transformare Fourier Rapidă (FFT – fast Fourier transform) care pot sa preceseze rapid eșantioane ale semnalelor digitale corespunzătoare sunetelor înregistrate. Singura condiție este ca aceste semnale să aiba un numar de puncte de tipul 2^N , unde N este un număr întreg. Astfel, un convertor analog catre

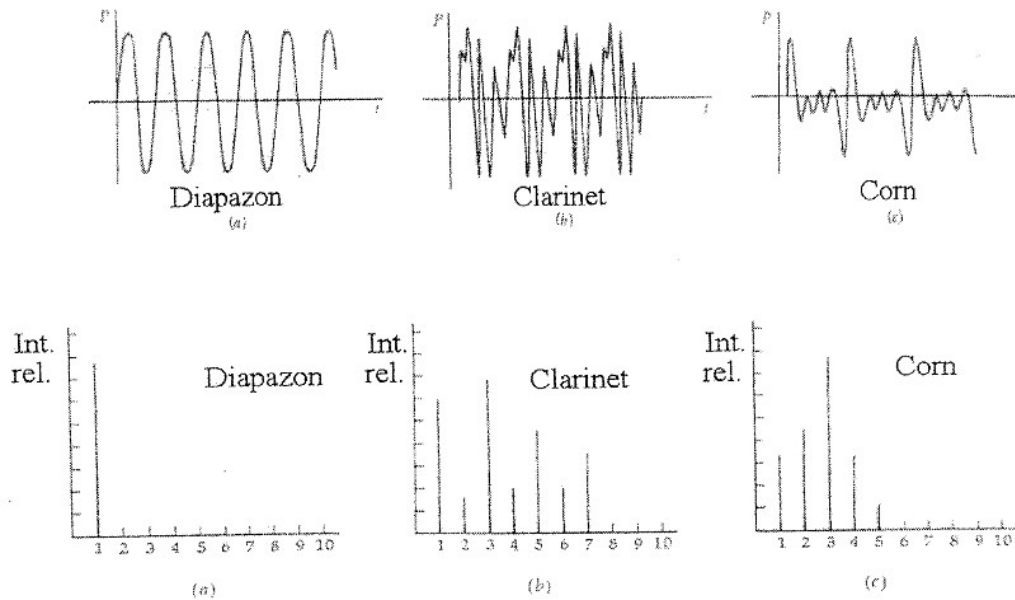


Fig. 8 Simularea sunetele “înregistrate” în timp (sus) pentru diapazon (sunetul pur armonic), clarinet și corn și spectrele transformate Fourier corespunzătoare (jos).

digital (ADC – analog to digital converter) pe 10 biti este caracterizat de $N = 10$ și avem un număr de 1024 de puncte. Pentru a surprinde întreg domeniul de frecvențe ale sunelelor între [16 Hz și 20 kHz] este necesar să se țină seama de teorema lui Nyquist care cere ca numărul minim de puncte pentru fiecare oscilație să fie suficient pentru a defini fără echivoc o oscilație complete. O frecvență de 20 kHz corespunde unei perioade de 50 μ s, deci este nevoie ca înregistrarea sunetului să se realizeze cu un interval de eșantionare de minim 10 μ s.

Când același sunet muzical de exemplu nota La (440 Hz) este cântată la instrumente muzicale diferite (diapazon - ton pur, vioară, clarinet, pian) atunci pentru ureche se aud de fapt sunete de calități diferite (cu diferite componente spectrale), corespunzând la diferite combinații de armonice, având diferite amplitudini și rezultând în sunete specifice fiecărui instrument muzical.

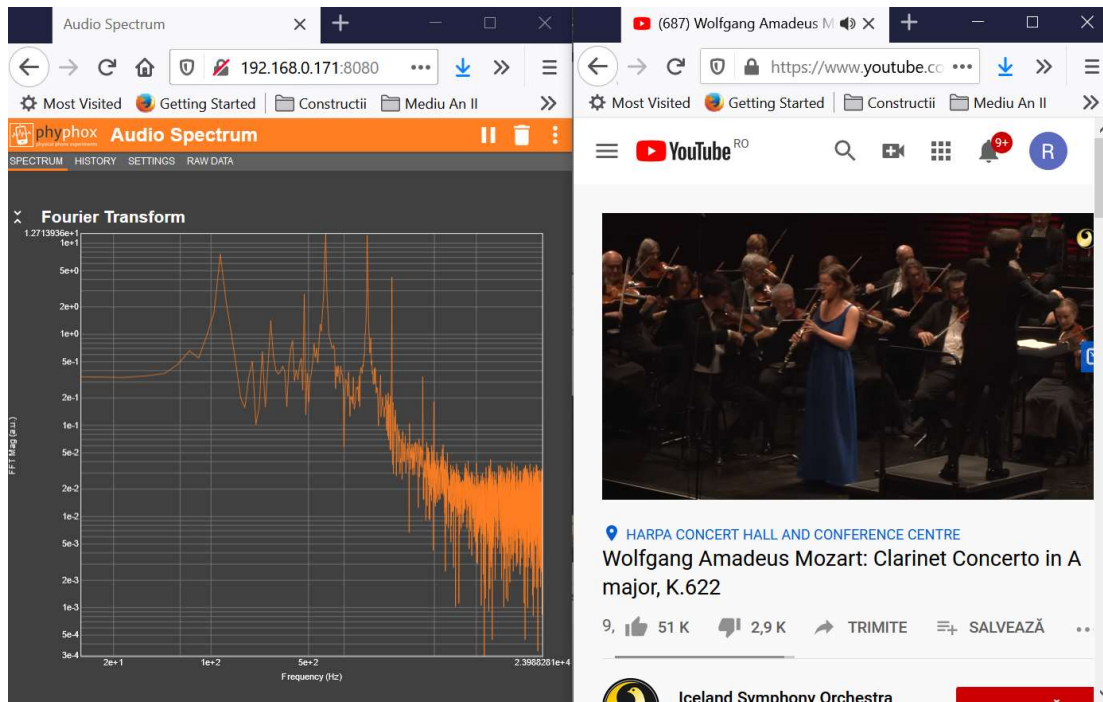


Fig. 9 Stop cadru pentru componentele spectrale (timbrul) sunetului produs de un clarinet, in timpul concertului in A major de Wolfgang Amadeus Mozart.