

## Cursul 3.2 Acustica: Legea Weber-Fechner. Nivel sonor. Nivel auditiv

### Legea Weber-Fechner

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

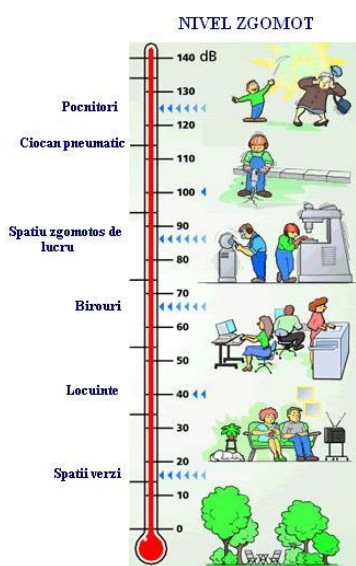
$$dR \propto \frac{dS}{S}, \quad (1)$$

care prin integrare duce la:

$$R \propto \ln(S). \quad (2)$$

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  $1 \text{ W/m}^2$  (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



**Fig. 1** Scala nivelului sonor și exemple de surse de zgomot.

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:

$$N_s = \log \frac{I}{I_0} \quad [\text{bel}], \quad (3)$$

sau

$$N_s = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad [\text{dB}], \quad (4)$$

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  $\nu$  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 prag  $I_0$ .

$$N_s = 10[\lg(I) - \lg(I_0)]. \quad (5)$$

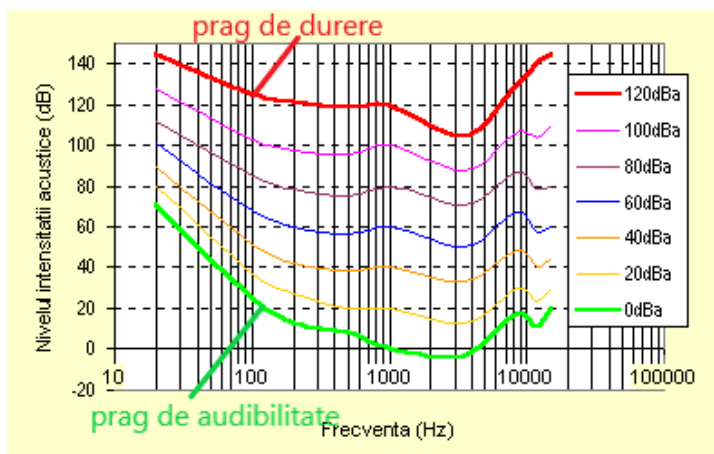
Se vede în figura 2 că pentru un sunet normal ( $\nu_0 = 1\text{ kHz}$ ) de intensitate  $I = 1\text{ W/m}^2$  are nivel solar cu 120 dB deasupra pragului de audibilitate, considerată pentru aceeași frecvență  $\nu_0$ .

### 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  $\nu$ . 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:

$$N_a = 10 \log \frac{I_a}{I_{a,0}} \quad [\text{foni}]. \quad (6)$$

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



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

Diagrama din figura 2 prezintă curbele de egală tărie.

**Fig. 2** Curbele de egală audibilitate.

Se vede că frecvența de prag pentru un sunet normal este de  $10^{-12} \text{ W/m}^2$ , corespunzând la nivelul sonor  $N_s = 0$ .

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 undei 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 de m. 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):

$$N_W = 10 \lg \left( \frac{P}{P_0} \right). \quad (7)$$

precum și nivelul presiunii sonore (p):

$$N_p = 10 \lg \left[ \left( \frac{p}{p_0} \right)^2 \right] = 20 \lg \left( \frac{p}{p_0} \right). \quad (8)$$

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