

GRAĐEVINSKA FIZIKA - RAČUNSKÉ VEŽBE - VI NEDELJA

ZVUK - mehanički talas frekvencije $\in [20, 20000] \text{ Hz}$

$$I = \frac{P_{sr}}{S} = \frac{\Delta p_0^2}{2\rho c} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] - \text{Intenzitet zvuka}$$

$28 \text{ Pa} = \Delta p_0$ - prag bola

$2,18 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ - prag čujnosti

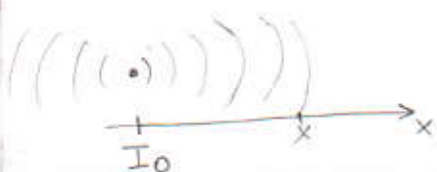
P - snaga

S - površina normalna na pravac prostiranja zvuka

Δp_0 - amplituda akustičkog nadpritiska $\Delta p = \Delta p_0 \sin(\omega t - kx)$

c - brzina prostiranja talasa

- Pri prostiranju talas gubi deo svoje energije, pa mu intenzitet I opada sa rastojanjem x u odnosu na početni intenzitet I_0 (na mestu izvora)



$$I(x) = I_0 \cdot e^{-kx}$$

k - koeficijent slabljenja

- NIVO ZVUKA - subjektivna jačina zvuka koja predstavlja razliku logaritama posmatranog i referentnog intenziteta tona izražena u decibelima

$$L \stackrel{\text{def.}}{=} 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) [\text{dB}]$$

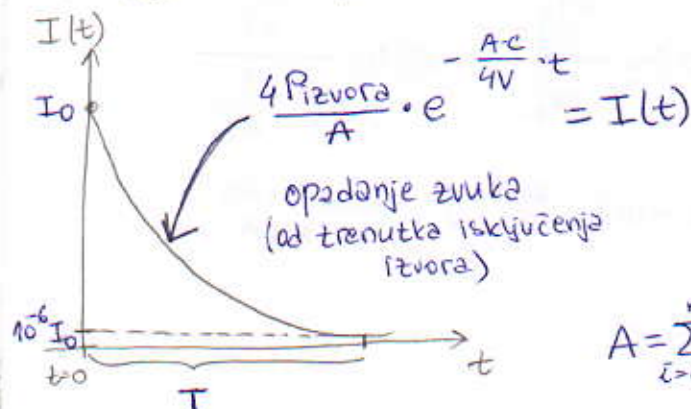
$I_0 = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ - intenzitet zvuka na pragu čujnosti

I - intenzitet zvuka čiji nivo određujemo

$$L = 0 [\text{dB}] \rightarrow I = I_0$$

$$L = 120 [\text{dB}] - \text{prag bola}$$

- VREME REVERBERACIJE - vreme potrebno da intenzitet zvuka opadne na milioniti deo od početne emitovane vrednosti intenziteta (vreme trajanja eha)



V - zapremina prostorije
 c - brzina zvuka u vazduhu
 A - apsorbcija prostorije u m^2

$$A = \sum_{i=1}^n d_i \cdot S_i + \sum_j N_j \cdot A_j$$

d_i - koeficijent apsorbcije i -te površine

S_i - i -ta površina

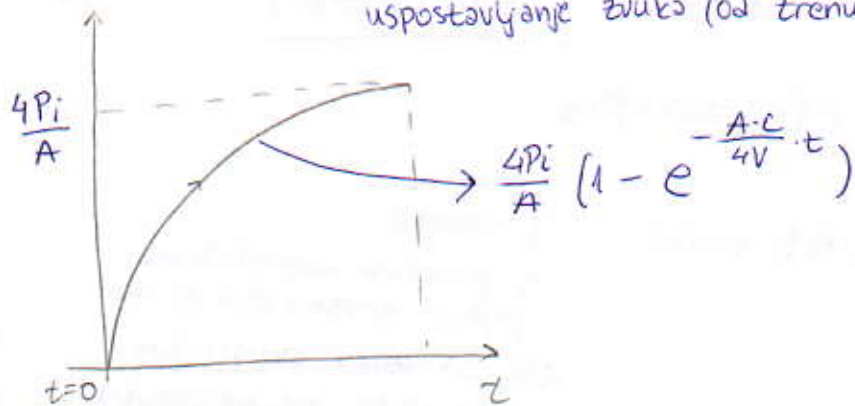
N_j - broj predmeta koji se broje

A_j - njihova apsorbcija

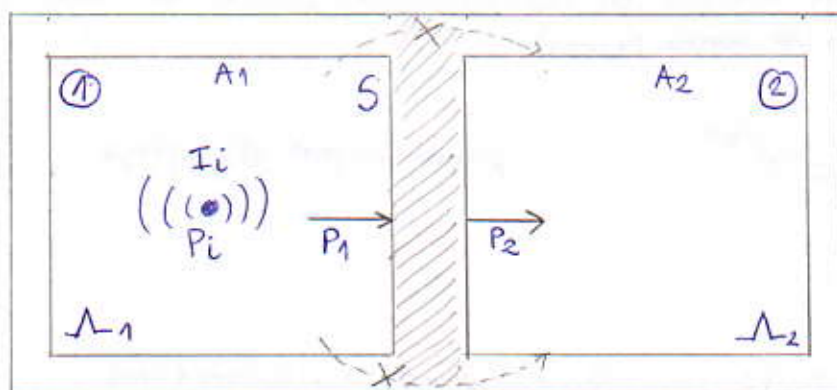
$$T = 0,165 \frac{V}{A} [\text{s}]$$

$d = 1$ za otvorena vrata ili prozor

ustopavljanje zvuka (od trenutka uključivanja izvora)



- Posmatramo dve zatvorene prostorije koje deli pregradni zid površine S čiji je koeficijent transmisije buke T . U prostoriji postoji izvor buke srednje snage P_i .



Interesuje nas buka u prostoriji ②

$$P_1 = \frac{S \cdot I_1}{4} - \text{zvučna snaga koja pada na pregradni zid površine } S$$

$$I_1 = \frac{4P_i}{A_1} - \text{intenzitet buke u prostoriji ① } A_1 - \text{apsorbcija prostorije ①}$$

$$P_2 = T \cdot P_1 = \frac{T \cdot S \cdot I_1}{4} = \frac{T \cdot S}{4} \cdot \frac{4P_i}{A_1} = \frac{T \cdot S}{A_1} \cdot P_i - \text{snaga zvuka koji prelazi u drugu prostoriju kroz zid}$$

$$T \stackrel{\text{def}}{=} \frac{P_2}{P_1} \rightarrow \text{propuštena snaga} - \text{koeficijent transmisije}$$

- ZVUČNA IZOLACIJA - razlika nivoa buke u prvoj i drugoj prostoriji

$$D = \alpha_1 - \alpha_2 = 10 \log \frac{I_1}{I_0} - 10 \log \frac{I_2}{I_0} = 10 \log \frac{I_1}{I_2} = 10 \log \frac{\frac{4P_i}{A_1}}{\frac{4P_2}{A_2}} = 10 \log \frac{P_i}{A_1} \cdot \frac{A_2}{T \cdot S}$$

$$D = 10 \log \frac{A_2}{T \cdot S}$$

$$D = 10 \log \frac{1}{T} + 10 \log \frac{A_2}{S}$$

$$D = R + 10 \log \frac{A_2}{S}, R - \text{IZOLACIONA MOĆ ZIDA}$$

$$D = \overbrace{20 \log \left(\frac{1}{2} \frac{m_s \cdot w}{S_1 c_1} \right)}^R + 10 \log \frac{A_2}{S}$$

w_s - površinska masa zida, $\frac{M}{S}$ $m_s = d \cdot \rho$

1. Ako je vreme reverberacije neke prostorije 4s odrediti vreme za koje će nivo zvuka u posmatranoj prostoriji opasti za 28dB od momenta isključenja zvučnog izvora. Brzina prostiranja zvuka u vazduhu je 340 m/s.

$$\left. \begin{array}{l} T = 4s \\ \Delta L = 28dB = L(t=0) - L(t_x) \\ c = 340 \text{ m/s} \\ t_x = ? \end{array} \right\} \begin{array}{l} L(t=0) = 10 \log \left(\frac{I(t=0)}{I_0} \right) \\ L(t=t_x) = 10 \log \left(\frac{I(t=t_x)}{I_0} \right) \end{array}$$

$$\Delta L = 10 \log \left(\frac{I(0)}{I_0} \right) - 10 \log \left(\frac{I(t_x)}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{\frac{I(0)}{I_0}}{\frac{I(t_x)}{I_0}} \right)$$

$$\frac{\Delta L}{10} = \log \left(\frac{I(0)}{I(t_x)} \right) \Rightarrow 10^{\frac{\Delta L}{10}} = \frac{I(0)}{I(t_x)} \Rightarrow I(t_x) = \frac{I(0)}{10^{2,8}}$$

$$I(t_x) = \frac{4P_i}{A} e^{-\frac{AC}{4V} \cdot t_x} = I(0) \cdot e^{-\frac{AC}{4V} t_x} = \frac{I(0)}{10^{2,8}}$$

$$e^{-\frac{AC}{4V} \cdot t_x} = \frac{1}{10^{2,8}} \Rightarrow \ln \left(e^{-\frac{AC}{4V} t_x} \right) = \ln \left(10^{-2,8} \right)$$

$$-\frac{AC}{4V} \cdot t_x = \ln \left(10^{-2,8} \right) \Rightarrow t_x = \frac{4V}{AC} \cdot 2,8 \ln(10)$$

$$T = 0,165 \frac{V}{A} \Rightarrow \frac{V}{A} = \frac{T}{0,165} \Rightarrow t_x = \frac{4 \cdot T}{0,165 \cdot c} \cdot 2,8 \ln(10)$$

$$t_x = \frac{4 \cdot 4s}{0,165 \cdot 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \cdot 2,8 \ln(10) = \boxed{1,839 \text{ s}}$$

2.) Ako je vreme reverberacije neke prostorije 4,5s, odrediti vreme za koje će intenzitet zvuka u posmatranoj prostoriji porasti do 75% od maksimalnog koji se uspostavlja posle dovoljno dugo vremena od uključivanja izvora. Brzina prostiranja zvuka u vazduhu je 340 m/s.

$$\begin{aligned}
 T &= 4,5s \\
 I(t=t_x) &= 0,75 I_{max} \\
 t_x &=? \\
 c &= 340 \text{ m/s}
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} T \\ I \\ t_x \\ c \end{aligned}} \right\}
 \begin{aligned}
 I(t) &= \frac{4P_i}{A} \left(1 - e^{-\frac{AC}{4V} \cdot t}\right) = I(0) \left(1 - e^{-\frac{AC}{4V} \cdot t}\right) \\
 I(t) &= I(0) \left(1 - e^{-\frac{AC}{4V} \cdot t}\right) = 0,75 \cdot I(0) \\
 1 - e^{-\frac{AC}{4V} \cdot t} &= 0,75 \Rightarrow e^{-\frac{AC}{4V} \cdot t} = 1 - 0,75 \quad / \ln
 \end{aligned}$$

$$-\frac{AC}{4V} \cdot t = \ln 0,75 \Rightarrow t = \frac{4V}{AC} \cdot \ln 0,75^{-1} = \frac{4V}{AC} \ln 4$$

$$T = 0,165 \frac{V}{A} \Rightarrow \frac{V}{A} = \frac{T}{0,165} \Rightarrow t = \frac{4 \cdot T}{0,165 \cdot c} \ln 4 = \frac{4 \cdot 4,5s}{0,165 \cdot 340 \frac{m}{s}} \ln 4 = 0,448s$$

3.) Zračunati zvučnu izolovanost pregradnog zida koji izoluje prostoriju od zvuka buke frekvencije 1kHz, ako je zid od betona debljine 20cm, gustine 2000 kg/m³ i površine 20m². Apsorbcija zvuka prostorije izolovane pregradnim zidom je 30m². Gustina vazduha je 1,29 kg/m³, a brzina zvuka u vazduhu je 340m/s (koristiti aproksimativnu relaciju za koeficijent transmisije intenziteta zvučnog talasa).

$$\begin{aligned}
 D &=? \\
 f &= 1 \text{ kHz} \\
 d &= 0,2 \text{ m}, \rho = 2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 S &= 20 \text{ m}^2 \\
 A_2 &= 30 \text{ m}^2 \\
 \rho_1 &= 1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, c_1 = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} D \\ f \\ d \\ S \\ A_2 \\ \rho_1 \\ c_1 \end{aligned}} \right\}
 \begin{aligned}
 D &= 20 \log \left(\frac{1}{2} \frac{\rho_1 \cdot \omega}{\rho_2 \cdot c_1} \right) + 10 \log \left(\frac{A_2}{S} \right) \\
 D &= 20 \log \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot 2\pi \cdot 1000 \text{ Hz}}{1,29 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \right) + 10 \log \left(\frac{30 \text{ m}^2}{20 \text{ m}^2} \right) \\
 D &= 70,904 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

$$m_s = \frac{m}{s} = d \cdot \rho = 0,2 \text{ m} \cdot 2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \cdot 1000 \text{ Hz}$$

4) Zvučna izolovanost prostorije na frekvenciji od 1500 Hz je 60 dB, homogeni pregradni zid je debljine 0,2 m i površine 20 m², dok je apsorpcija prostorije koja je izolovana pregradnim zidom 30 m². Odrediti gustinu materijala od koga je izrađen pregradni zid. Gustina vazduha je 1,29 $\frac{kg}{m^3}$ dok je brzina zvuka u vazduhu 340 m/s (koristiti aproksimativnu relaciju za koeficijent transmisije intenziteta zvučnog talasa).

$$f = 1500 \text{ Hz}$$

$$D = 60 \text{ dB}$$

$$d = 0,2 \text{ m} \quad S = 20 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 30 \text{ m}^2$$

$$S = ?$$

$$S_1 = 1,29 \frac{kg}{m^3}, \quad c_1 = 340 \frac{m}{s}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$D = 20 \log \left(\frac{1}{2} \frac{m_s \cdot \omega}{S_1 \cdot c_1} \right) + 10 \log \left(\frac{A_2}{S} \right)$$

$$20 \log \left(\frac{1}{2} \frac{m_s \cdot \omega}{S_1 \cdot c_1} \right) = D - 10 \log \left(\frac{A_2}{S} \right)$$

$$\log \left(\frac{1}{2} \frac{m_s \cdot \omega}{S_1 \cdot c_1} \right) = \frac{D - 10 \log \left(\frac{A_2}{S} \right)}{20}$$

$$10 \log \left(\frac{1}{2} \frac{m_s \cdot \omega}{S_1 \cdot c_1} \right) = 10 \frac{D - 10 \log \left(\frac{A_2}{S} \right)}{20}$$

$$\frac{1}{2} \frac{d \cdot S \cdot \omega}{S_1 \cdot c_1} = 10 \frac{D - 10 \log \left(\frac{A_2}{S} \right)}{20}$$

$$S = \frac{2 \cdot S_1 \cdot c_1}{d \cdot \omega} \cdot 10 \frac{D - 10 \log \left(\frac{A_2}{S} \right)}{20} = \frac{2 \cdot 1,29 \frac{kg}{m^3} \cdot 340 \frac{m}{s}}{0,2 \text{ m} \cdot 2\pi \cdot 1500 \text{ Hz}} \cdot 10 \frac{60 \text{ dB} - 10 \log \left(\frac{30 \text{ m}^2}{20 \text{ m}^2} \right)}{20}$$

$$S = 379,97 \frac{kg}{m^3}$$

5) Opremljena dvorana dimenzija 20 x 15 x 8 m³ ima vreme reverberacije 2 s. Ako se u dvoranu unese još 130 fotelja, a parket površine S pokriveno tepihom, vreme reverberacije se smanji za 0,4 s. Nađi površinu S, ako je apsorpcija jedne fotelje 0,28 m², koeficijent apsorpcije tepiha 0,32, a parketa 0,2.

$$T = 2 \text{ s}$$

$$N_f = 130$$

$$\Delta T = 0,4 \text{ s}$$

$$A_f = 0,28 \text{ m}^2$$

$$d_t = 0,32 \quad d_p = 0,2$$

$$S = ?$$

$$\Delta T = T - T_1 \Rightarrow T_1 = T - \Delta T = 2 - 0,4 = 1,6 \text{ s}$$

$$T = 0,165 \frac{V}{A} = 0,165 \cdot \frac{a \cdot b \cdot h}{A} \Rightarrow A = \frac{0,165 a \cdot b \cdot h}{T}$$

$$T_1 = 0,165 \frac{V}{A_1} = 0,165 \frac{a \cdot b \cdot h}{A_1} \Rightarrow A_1 = \frac{0,165 \cdot a \cdot b \cdot h}{T_1}$$

$$A_1 = A - S \cdot d_p + S \cdot d_t + N_f \cdot A_f$$

* "oduzima" se površina parketa koja je pokrivena tepihom

$$\frac{0,165 \cdot a \cdot b \cdot h}{T_1} = \frac{0,165 a \cdot b \cdot h}{T} + S(d_t - d_p) + N_f \cdot A_f$$

$$S = \frac{1}{\Delta L - \Delta p} \left[0,165 \text{ a} \cdot \text{b} \cdot \text{c} \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T} \right) - K_f \cdot A_f \right]$$

$$S = \frac{1}{932 - 92} \left[0,165 \cdot 20 \cdot 15 \cdot 8 \cdot \left(\frac{1}{1,6\text{s}} - \frac{1}{2\text{s}} \right) - 130 \cdot 0,28 \text{ m}^2 \right]$$

$$S = 109,17 \text{ m}^2$$

6. Nivo zvuka u centru grada je 80dB, a na periferiji 50dB. U kom odnosu stoje amplitude nadpritiska na periferiji i u centru?

$$\left. \begin{array}{l} \Lambda_c = 80 \text{ dB} \\ \Lambda_p = 50 \text{ dB} \\ \frac{\Delta P_{0,c}}{\Delta P_{0,p}} = ? \end{array} \right\} \begin{array}{l} \Lambda_c = 10 \log \frac{I_c}{I_0} \quad \Lambda_p = 10 \log \frac{I_p}{I_0} \\ \Lambda_c - \Lambda_p = 10 \log \frac{I_c/I_0}{I_p/I_0} = 10 \log \frac{I_c}{I_p} \\ I_c = \frac{\Delta P_{0,c}^2}{2 \cdot \rho \cdot c} \quad I_p = \frac{\Delta P_{0,p}^2}{2 \cdot \rho \cdot c} \end{array}$$

$$\Lambda_c - \Lambda_p = 10 \log \frac{\frac{\Delta P_{0,c}^2}{2 \cdot \rho \cdot c}}{\frac{\Delta P_{0,p}^2}{2 \cdot \rho \cdot c}} = 10 \log \left(\frac{\Delta P_{0,c}}{\Delta P_{0,p}} \right)^2$$

$$\Lambda_c - \Lambda_p = 20 \log \left(\frac{\Delta P_{0,c}}{\Delta P_{0,p}} \right) \Rightarrow \frac{\Lambda_c - \Lambda_p}{20} = \log \left(\frac{\Delta P_{0,c}}{\Delta P_{0,p}} \right)$$

$$10^{\frac{\Lambda_c - \Lambda_p}{20}} = 10^{\log \left(\frac{\Delta P_{0,c}}{\Delta P_{0,p}} \right)} \Rightarrow \frac{\Delta P_{0,c}}{\Delta P_{0,p}} = 10^{\frac{80 \text{ dB} - 50 \text{ dB}}{20}} = 10^{1,5}$$

$$\frac{\Delta P_{0,p}}{\Delta P_{0,c}} = \frac{1}{10^{1,5}} = 0,0316$$