

Univerzitet u Nišu
Fakultet zaštite na radu u Nišu

ZADACI ZA PRIPREMU KOLOKVIJUMA
I PISANOG DELA ISPITA IZ PREDMETA
BUKA I VIBRACIJE

Predmetni nastavnici:
dr Darko Mihajlov, vanr. prof.
dr Momir Praščević, red.prof.

- Nerecenzirani materijal -

Niš, 2025.

BUKA

ZADATAK 1

Akustička snaga motorne kosačice iznosi 0.001 W. Izračunati intenzitet zvuka i zvučni pritisak koje ona generiše na otvorenom prostoru na poziciji rukovaoca. Rastojanje uva rukovaoca kosačicom od njenog akustičkog centra iznosi 1.5 m.

Rešenje

U opštem slučaju, kada se izvor zvučne snage P_a [W] nalazi na otvorenom prostoru, on na nekom rastojanju r od akustičkog centra stvara intenzitet:

$$I = \frac{P_a}{\Omega_z r^2},$$

Gde je Ω_z [srad] – prostorni ugao zračenja koji zavisi od pozicije izvora zvuka. Koristeći vezu između intenziteta i zvučnog pritiska:

$$I = \frac{p^2}{\rho c},$$

Može se izvesti veza između zvučnog pritiska i zvučne snage izvora:

$$I = \frac{P_a}{\Omega_z r^2} = \frac{p^2}{\rho c} \Rightarrow p = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{P_a \cdot \rho c}{\Omega_z}}.$$

Kada se izvor zvuka nalazi na podlozi, prostorni ugao zračenja iznosi 2π [srad], tako da je intenzitet na poziciji rukovaoca kosačicom:

$$I = \frac{P_a}{\Omega_z r^2} = \frac{0.01}{2 \cdot 3.14 \cdot 1.5^2} = 0.707 \cdot 10^{-3} \text{ [W/m}^2\text{]}.$$

Zvučni pritisak na poziciji rukovaoca kosačicom iznosi:

$$p = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{P_a \cdot \rho c}{\Omega_z}} = \frac{1}{1.5} \sqrt{\frac{0.01 \cdot 400}{2 \cdot 3.14}} = 0.168 \text{ [Pa]}.$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 2

Tačkasti izvor buke, smešten na beskonačno krutom zidu, na rastojanju 1 m od zida stvara intenzitet 1 mW/m^2 .

Ako se zatim ukloni zid, izračunati:

- Intenzitet zvuka i zvučni pritisak na rastojanju 1 m od izvora buke.
- Rastojanje na kojem se još može čuti zvuk ako se zanemari disipacija u vazduhu.

Rešenje

Kada se izvor buke nalazi na beskonačnom i krutom zidu, prostorni ugao zračenja iznosi 2π [srad], tako da je intenzitet zvuka na nekom rastojanju od izvora:

$$I = \frac{P_a}{\Omega_z r^2}.$$

Kako je intenzitet na rastojanju 1 m od izvora buke poznat, može se izračunati zvučna snaga izvora buke:

$$P_a = I \cdot 2\pi r^2 = 0.001 \cdot 2 \cdot 3.14 \cdot 1^2 = 6.28 \cdot 10^{-3} [\text{W}].$$

- Kada se izvor, poznate zvučne snage, nalazi na otvorenom prostoru, jer je uklonjen zid, intenzitet zvuka koji on stvara na rastojanju 1 m od izvora buke iznosi:

$$I = \frac{P_a}{4\pi r^2} = \frac{6.28 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 3.14 \cdot 1^2} = 0.5 \cdot 10^{-3} [\text{W/m}^2].$$

Zvučni pritisak na istom rastojanju iznosi:

$$p = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{P_a \cdot \rho c}{\Omega_z}} = \frac{1}{1} \sqrt{\frac{6.28 \cdot 10^{-3} \cdot 400}{4 \cdot 3.14}} = 0.45 [\text{Pa}].$$

- Zvuku koji se još može čuti na nekom rastojanju r_1 odgovara minimalni zvučni pritisak koji može da registruje bubna opna, tzv. prag čujnosti p_0 koji iznosi $20 \text{ } \mu\text{Pa}$. Kako je zvučni pritisak poznat, rastojanje se računa kao:

$$p = p_0 = \frac{1}{r_1} \sqrt{\frac{P_a \cdot \rho c}{\Omega_z}} \Rightarrow r_1 = \frac{1}{p_0} \sqrt{\frac{P_a \cdot \rho c}{\Omega_z}} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-5}} \sqrt{\frac{6.28 \cdot 10^{-3} \cdot 400}{4 \cdot 3.14}} = 22360 [\text{m}].$$

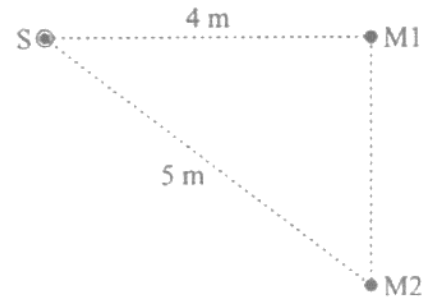
Dakle, zvuk koji generiše izvor buke se može čuti na rastojanju 9 995 m od izvora.

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 3

Tačkasti izvor buke nepoznate zvučne snage se nalazi u slobodnom prostoru. Ako je na poziciji prijemnika M1 (ljudsko uvo) izmeren zvučni pritisak od 0.02 Pa, izračunati energiju talasa koja u jedinici vremena padne na bubnu opnu uva na pozicijama M1 i M2.

Uzeti da je površina bubne opne 50 mm².



Rešenje

Intenzitet zvuka na poziciji M1 jednak je:

$$I_1 = \frac{p^2}{\rho c} = \frac{(0.02)^2}{400} = 10^{-6} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

U slušnom kanalu uva se formiraju ravni talasi, tako da je energija koja padne na bubnu opnu u jedinici vremena, tj. snaga zvučnog talasa (akustička snaga):

$$P_{a1} = I_1 \cdot S = 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^{-6} = 5 \cdot 10^{-11} \text{ [W]}.$$

Zvučni pritisak na nekoj poziciji za slučaj tačkastog izvora buke zavisi samo od rastojanja posmatrane tačke do izvora buke. (zvučni pritisak je obrnuto proporcijalan rastojanju), tako da se može izvesti relacija:

$$\left. \begin{aligned} p_1 &= \frac{1}{r_1} \sqrt{\frac{P_a \cdot \rho c}{\Omega_z}} \\ p_2 &= \frac{1}{r_2} \sqrt{\frac{P_a \cdot \rho c}{\Omega_z}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow p_1 \cdot r_1 = p_2 \cdot r_2 = \sqrt{\frac{P_a \cdot \rho c}{\Omega_z}}.$$

Dakle, proizvod zvučnog pritiska i rastojanja je konstantan. Ukoliko je poznat pritisak na jednom rastojanju, gornja relacija se može iskoristiti da se izračuna zvučni pritisak na drugom rastojanju. Tako je zvučni pritisak na poziciji uva M2:

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{r_1}{r_2} = 0.02 \cdot \frac{4}{5} = 0.016 \text{ [Pa]}.$$

Intenzitet zvučnog pritiska na poziciji uva M2 jednak je:

$$I_2 = \frac{p_2^2}{\rho c} = \frac{(0.016)^2}{400} = 0.64 \cdot 10^{-6} \text{ [W/m}^2\text{]}.$$

Energija koja padne na bubnu opnu u jedinici vremena (akustička snaga) na poziciji uva M2 iznosi:

$$P_{a2} = I_2 \cdot S = 0.64 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^{-6} = 3.2 \cdot 10^{-11} \text{ [W]}.$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 4

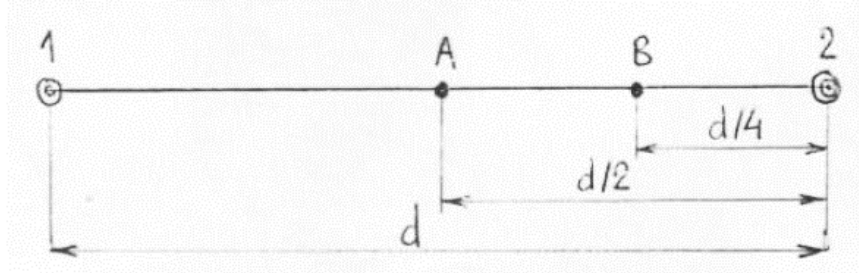
Dva tačkasta zvučna izvora se nalaze u slobodnom prostoru na međusobnom rastojanju d . Akustička snaga izvora 1 je 10 puta veća od akustičke snage izvora 2 koja je poznata.

Za koliko se promeni intenzitet zvuka pri prelasku iz tačke A u tačku B, uz pretpostavku da zvučni izvori emituju zvuk širokog spektra?

Rešenje

$$P_{a1} = 10P_{a2}$$

$$\Delta I = ?$$



$$I_A = I_{A_1} + I_{A_2} = \frac{P_{a1}}{4\pi \cdot r_{A_1}^2} + \frac{P_{a2}}{4\pi \cdot r_{A_2}^2} = \frac{10P_{a2}}{4\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2} + \frac{P_{a2}}{4\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{11P_{a2}}{\pi d^2}$$

$$I_B = I_{B_1} + I_{B_2} = \frac{P_{a1}}{4\pi \cdot r_{B_1}^2} + \frac{P_{a2}}{4\pi \cdot r_{B_2}^2} = \frac{10P_{a2}}{4\pi \cdot \left(\frac{3d}{4}\right)^2} + \frac{P_{a2}}{4\pi \cdot \left(\frac{d}{4}\right)^2} = \frac{P_{a2}}{\pi d^2} \left(\frac{40}{9} + 4 \right) = \frac{8.44P_{a2}}{\pi d^2}$$

$$\Delta I = I_A - I_B = \frac{2.56P_{a2}}{\pi d^2} \left[\text{W/m}^2 \right].$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 5

Tačkasti izvor akustičke snage 10 mW emituje sinusni ton frekvencije 200 Hz u prostoriji u kojoj svi zidovi potpuno apsorbiraju zvuk, sem jednog čiji je koeficijent apsorpcije nepoznat. Rastojanje zvučnog izvora od zida nepoznatog koeficijenta apsorpcije iznosi 2.85 m. Između zida i izvora, na rastojanju 0.85 m od zida nalazi se mikrofonski postavljani u pravcu normale koja se iz zvučnog izvora spušta na površinu zida.

Izračunati nepoznati koeficijent apsorpcije zida ukoliko vrednost zvučnog pritiska na poziciji mikrofona iznosi 0.3 Pa.

Rešenje

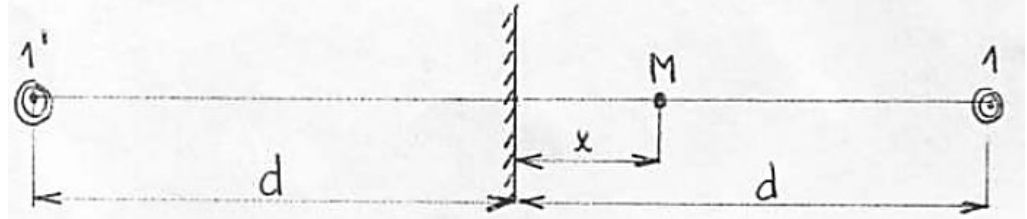
$$P_{a1} = 10^{-2} [\text{W}],$$

$$f = 200 [\text{Hz}],$$

$$d = 2.85 [\text{m}],$$

$$x = 0.85 [\text{m}],$$

$$p = 0.3 [\text{Pa}]$$



$$\bar{\alpha} = ?$$

$$p_d = \frac{1}{r_d} \sqrt{\frac{P_a \cdot \rho c}{\Omega_z}} = \frac{1}{d-x} \sqrt{\frac{P_a \cdot \rho c}{4\pi}} = 0.287 [\text{Pa}]$$

$$p_r = \frac{1}{r_r} \sqrt{\frac{P_a \cdot \rho c}{\Omega_z}} \cdot \bar{r} = \frac{1}{d+x} \sqrt{\frac{P_a \cdot \rho c}{4\pi}} \cdot (1-\bar{\alpha}) = 0.155 \sqrt{(1-\bar{\alpha})} [\text{Pa}]$$

$$\varphi = k\Delta r = \frac{2\pi f}{c} (r_r - r_d) = \frac{2\pi f}{c} [d+x - (d-x)] = \frac{4\pi f \cdot x}{c} \approx 2\pi \Rightarrow \text{Talasi u fazi.}$$

$$p = p_d + p_r = 0.287 + 0.155 \sqrt{(1-\bar{\alpha})}$$

$$\frac{p-0.287}{0.155} = \sqrt{(1-\bar{\alpha})}$$

$$\bar{\alpha} = 1 - \left(\frac{p-0.287}{0.155} \right)^2 = 0.99$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 6

Tačkasti zvučni izvor nalazi se u slobodnom prostoru na rastojanju 14.2 cm od beskonačno velikog zida koeficijenta refleksije 1. Akustička snaga izvora na frekvenciji 400 Hz iznosi 16 mW. Izračunati vrednost zvučnog pritiska na rastojanju 3 m od zvučnog izvora, na pravcu koji prolazi kroz zvučni izvor i normalan je na ravan zida.

Rešenje

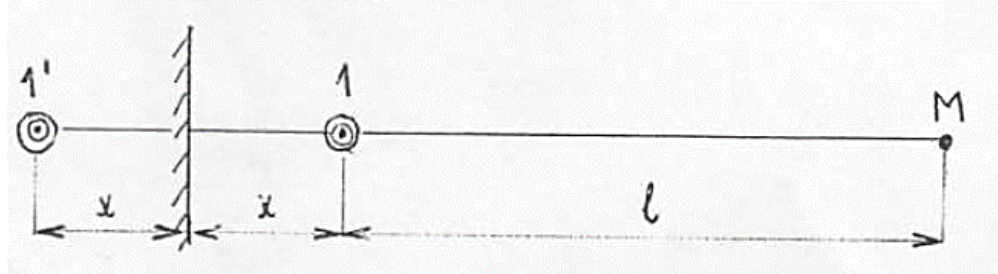
$$x = 0.142[m],$$

$$\bar{r} = 1,$$

$$f = 400[Hz],$$

$$P_{a1} = 1.6 \cdot 10^{-2}[W],$$

$$l = 3[m],$$



$$p = ?$$

$$p_d = \frac{1}{r_d} \sqrt{\frac{P_a \cdot \rho c}{\Omega_z}} = \frac{1}{l} \sqrt{\frac{P_a \cdot \rho c}{\Omega_z}} = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{1.6 \cdot 10^{-2} \cdot 414}{4\pi}} = 0.24[\text{Pa}]$$

$$p_r = \frac{1}{r_r} \sqrt{\frac{P_a \cdot \rho c}{\Omega_z} \cdot \bar{r}} = \frac{1}{l + 2x} \sqrt{\frac{P_a \cdot \rho c}{4\pi} \cdot \bar{r}} = \frac{1}{3 + 2 \cdot 0.142} \sqrt{\frac{1.6 \cdot 10^{-2} \cdot 414}{4\pi} \cdot 1} = 0.22[\text{Pa}]$$

$$\varphi = k\Delta r = \frac{2\pi f}{c}(r_r - r_d) = \frac{2\pi f}{c}(l + 2x - l) = \frac{2\pi f \cdot 2x}{c} = \frac{2\pi}{3} \Rightarrow$$

Postoji fazna razlika koja nije $(0, 2\pi\dots)$, niti $(\pi, 3\pi\dots)$.

$$p = \sqrt{p_d^2 + p_r^2 + 2p_d p_r \cdot \cos(\varphi)}$$

$$p = 0.23[\text{Pa}].$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 7

Sto istih mašina (iste akustičke/zvučne snage) se nalazi na istom rastojanju od prijemnika i na mestu prijema formiraju nivo zvuka od 100 dB. Odrediti intenzitet zvuka i zvučni pritisak koji na mestu prijema stvara jedna mašina.

$$n = 100, L = 100 \text{ dB}; I = ? \quad p = ?$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n = I \Rightarrow I_R = \sum_{i=1}^n I_i = nI$$

$$L_R = 10 \log \frac{I_R}{I_0} = 10 \log \frac{nI}{I_0} = 10 \log \frac{I}{I_0} + 10 \log n = L + 10 \log n$$

$$L = L_R - 10 \log n = 80 \text{ dB}$$

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow I = I_0 10^{L/10} = 10^{-4} \text{ W/m}^2$$

$$L = 20 \log \frac{p}{p_0} \Rightarrow p = p_0 10^{L/20} = 0.2 \text{ Pa}$$

ZADATAK 8

Odrediti rezultujući nivo složenog zvuka ako pojedinačni nivoi složenog zvuka na mestu prijema iznose 90 dB, 90 dB, 95 dB i 100 dB.

$$L_1 = 90 \text{ dB}, L_2 = 90 \text{ dB}, L_3 = 95 \text{ dB}, L_4 = 100 \text{ dB}, L_R = ?$$

$$I_R = \sum_{i=1}^n I_i = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_{n-1} + I_n$$

$$L_R = 10 \log \frac{I_R}{I_0} = 10 \log \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_{n-1} + I_n}{I_0} = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} + \dots + \frac{I_n}{I_0} \right) = 10 \log \sum_{i=1}^n \frac{I_i}{I_0}$$

$$L_i = 10 \log \frac{I_i}{I_0} \Rightarrow \frac{I_i}{I_0} = 10^{L_i/10}$$

$$L_R = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} = 10 \log (10^{L_1/10} + \dots + 10^{L_n/10})$$

$$L_R = 10 \log \sum_{i=1}^4 10^{L_i/10} = 10 \log (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + 10^{L_3/10} + 10^{L_4/10}) = 101.8 \text{ dB}$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 9

Nivo zvuka u mašinskoj radionici ima vrednost 80 dB. Unošenjem još jedne mašine se rezultujuća vrednost nivoa poveća na 86 dB. Odrediti nivo zvuka koji na mestu prijema stvara samo uneta mašina.

$$\underline{L_1 = 80 \text{ dB}, L_R = 86 \text{ dB}, L_2 = ?}$$

$$L_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0} \Rightarrow I_1 = I_0 10^{L_1/10} = 10^{-4} \text{ W/m}^2$$

$$L_R = 10 \log \frac{I_R}{I_0} \Rightarrow I_R = I_0 10^{L_R/10} = 10^{-3.4} \text{ W/m}^2$$

$$I_R = I_1 + I_2 \Rightarrow I_2 = I_R - I_1 = 2.98 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2$$

$$L_2 = 10 \log \frac{I_2}{I_0} = 84.7 \text{ dB}$$

ZADATAK 10

Rezultujući nivo zvuka od 120 dB stvaraju mašine M₁, M₂ i M₃. Odrediti nivo buke koju stvara mašina M₃ ako je buka koju zajedničkim radom stvaraju mašine M₁ i M₂ nivoa 110 dB.

$$\underline{L_{1+2} = 110 \text{ dB}, L_R = 120 \text{ dB}, L_3 = ?}$$

$$L_{1+2} = 10 \log \frac{I_1 + I_2}{I_0} \Rightarrow I_1 + I_2 = I_0 10^{L_{1+2}/10} = 0.1 \text{ W/m}^2$$

$$L_R = 10 \log \frac{I_R}{I_0} \Rightarrow I_R = I_0 10^{L_R/10} = 1 \text{ W/m}^2$$

$$I_R = I_1 + I_2 + I_3 \Rightarrow I_3 = I_R - (I_1 + I_2) = 0.9 \text{ W/m}^2$$

$$L_3 = 10 \log \frac{I_3}{I_0} = 119.5 \text{ dB}$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 11

Na radnom mestu pored mašine M_1 izmeren je nivo ukupne buke od 95 dB, koju čini opšta buka u radionici, kao i buka mašine M_1 . Isključenjem mašine M_1 nivo buke opadne na vrednost od 88 dB. Izračunati nivo buke koji stvara sama mašina M_1 .

$$\underline{L_R = 95 \text{ dB}, L_1 = 88 \text{ dB}, L_2 = ?}$$

$$\begin{aligned} I_2 &= I_R - I_1 \\ L_R &= 10 \log \frac{I_R}{I_0} \Rightarrow I_R = I_0 \cdot 10^{L_R/10} \\ L_1 &= 10 \log \frac{I_1}{I_0} \Rightarrow I_1 = I_0 \cdot 10^{L_1/10} \\ I_2 &= I_0 (10^{L_R/10} - 10^{L_1/10}) \\ L_2 &= 10 \log \frac{I_2}{I_0} = 10 \log (10^{L_R/10} - 10^{L_1/10}) = 10 \log 10^{L_R/10} \left(1 - 10^{\frac{L_R-L_1}{10}} \right) \\ L_2 &= 10 \log 10^{L_R/10} + 10 \log \left(1 - 10^{\frac{L_R-L_1}{10}} \right) = L_R - \Delta L \\ \Delta L &= -10 \log \left(1 - 10^{\frac{L_R-L_1}{10}} \right) = 1 \text{ dB} \\ L_2 &= L_R - \Delta L = 94 \text{ dB} \end{aligned}$$

ZADATAK 12

Četrdeset mašina iste zvučne snage stvara rezultujući nivo zvuka od 80 dB. Ako se intenzitet zvuka dvadeset zvučnih izvora na mestu prijema smanji na polovinu, odrediti za koliko će se smanjiti rezultujući nivo zvuka. Za taj slučaj odrediti i vrednost rezultujućeg zvučnog pritiska.

$$\underline{n = 40, L_R = 80 \text{ dB}, \Delta L = ?, p'_R = ?}$$

$$\begin{aligned} P_{a_1} &= P_{a_2} = \dots = P_{a_{40}} \Rightarrow I_1 = I_2 = \dots = I_{40} = I \\ I_R &= nI, I'_R = \frac{n}{2}I + \frac{n}{2} \frac{I}{2} = \frac{3}{4}nI \\ \Delta L &= L'_R - L_R = 10 \log \frac{I'_R}{I_0} - 10 \log \frac{I_R}{I_0} = 10 \log \frac{I'_R/I_0}{I_R/I_0} = 10 \log \frac{I'_R}{I_R} = 10 \log \frac{\frac{3}{4}nI}{nI} \\ \Delta L &= -1.25 \text{ dB} \\ L'_R &= L_R - \Delta L = 78.75 \text{ dB} \\ L'_R &= 20 \log \frac{p'_R}{p_0} \Rightarrow p'_R = p_0 10^{L'_R/20} = 0.17 \text{ Pa} \end{aligned}$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 13

Rezultujući nivo od 120 dB stvara 100 mašina iste akustičke snage koje se nalaze na istom rastojanju od prijemnika. Ako zvučni pritisak kod 96 mašina opadne za po 2 Pa, odrediti za koliko će se smanjiti ukupni nivo zvuka.

$$n = 100, L_R = 120 \text{ dB}, n' = 96, \Delta p = 2 \text{ Pa}, \Delta L = ?$$

$$P_{a_1} = P_{a_2} = \dots = P_{a_{100}} \Rightarrow p_1 = p_2 = \dots = p_{100} = p$$

$$L_R = 20 \log \frac{p_R}{p_0} \Rightarrow p_R = p_0 10^{L_R / 20} = 20 \text{ Pa}$$

$$p_R = \sqrt{\sum_{i=1}^{100} p_i^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^{100} p^2} = p\sqrt{n} \Rightarrow p = \frac{p_R}{\sqrt{n}} = 2 \text{ Pa}$$

$$p' = p - \Delta p = 0 \text{ Pa}$$

$$p'_R = \sqrt{\sum_{i=1}^{100} p_i^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^4 p^2 + \sum_{i=1}^{96} p'^2} = \sqrt{p^2(n - n')^2 + (p - \Delta p)^2 n'^2} = p\sqrt{n - n'}$$

$$\Delta L = L'_R - L_R = 20 \log \frac{p'_R}{p_0} - 20 \log \frac{p_R}{p_0} = 20 \log \frac{\frac{p'_R}{p_R}}{\frac{p_R}{p_0}} = 20 \log \frac{\frac{p'_R}{p_R}}{\frac{p_R}{p_0}}$$

$$\Delta L = 20 \log \frac{p\sqrt{n - n'}}{p\sqrt{n}} = -14 \text{ dB}$$

$$L'_R = L_R + \Delta L = 106 \text{ dB}$$

BUKA I VIBRACIJE

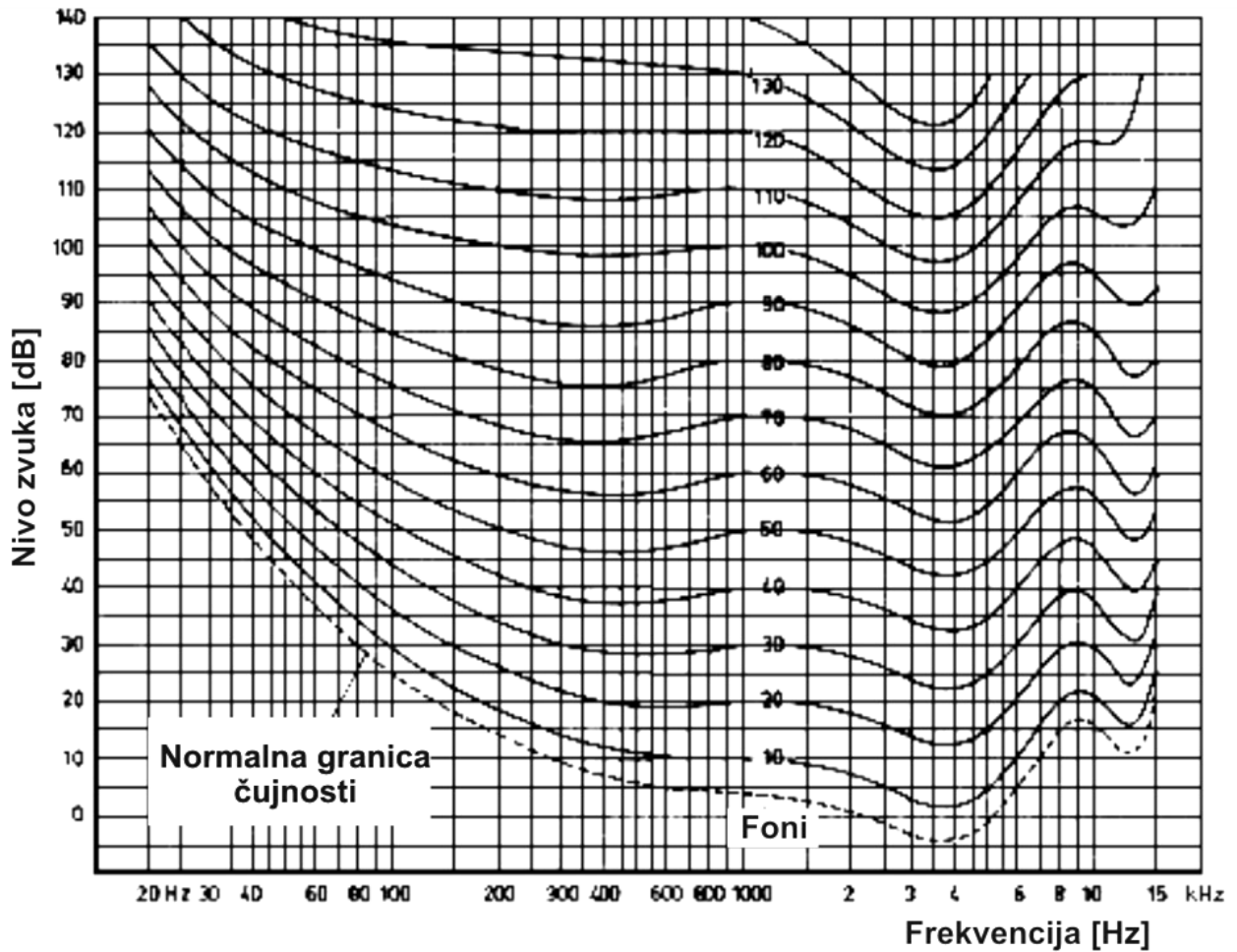
ZADATAK 14

U industrijskom pogonu izmereni su nivoi buke: 20 dB na frekvenciji 100 Hz, 50 dB na 250 Hz, 80 dB na 1000 Hz i 110 dB na 4000 Hz. Odrediti rezultujući (ukupni) nivo buke, rezultujuću jačinu i ukupnu glasnost buke.

$$f_1 = 100 \text{ Hz}, L_1 = 20 \text{ dB}; f_2 = 250 \text{ Hz}, L_2 = 50 \text{ dB};$$

$$f_3 = 1000 \text{ Hz}, L_3 = 80 \text{ dB}; f_4 = 4000 \text{ Hz}, L_4 = 110 \text{ dB};$$

$$L_R = ?, \Lambda_R = ?, S_R = ?$$



f_i [Hz]	100	250	1000	4000
L_i [dB]	20	50	80	110
$\Lambda_i(f, L)$ [fon]	0	52	80	130
$S_i = 2^{\frac{\Lambda_i - 40}{10}}$ [son]	0.063	2.297	16	512

$$S_R = \sum_{i=1}^4 S_i = 530.36 \text{ sona} \Rightarrow \Lambda_R = 40 + \frac{10}{\log 2} \log S_R = 130.5 \text{ fona}$$

$$L_R = 10 \log \sum_{i=1}^4 10^{L_i/10} = 10 \log(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + 10^{L_3/10} + 10^{L_4/10}) = 110 \text{ dB}$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 15

Merenjem buke tercnim filtrom dobijeni su rezultati dati u tabeli.

f_0 [Hz]	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500
L [dB]	62	68	72	74	72	70	60	64	74	76	68	64

Odrediti rezultujući nivo buke i subjektivnu jačinu složenog zvuka.

$L = ?$, $S = ?$, $\Lambda = ?$

f_0 [Hz]	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500
L [dB]	62	68	72	74	72	70	60	64	74	76	68	64
$L = 10 \log \sum_{i=1}^3 (10^{L_i/10})$ oktavni nivo	73.8			77.1			74.6			76.9		
$S(f, L)$ [son]	3.9			6.8			7.9			10.7		

$$L = 10 \log \sum_{i=1}^{12} 10^{L_i/10} = 10 \log (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + 10^{L_3/10} + 10^{L_4/10}) = 81.8 \text{ dB}$$

$$S = S_m + F \left(\sum_{i=1}^4 S_i - S_m \right)$$

$$S_m = \max(S_i) = 10.7 \text{ sona,}$$

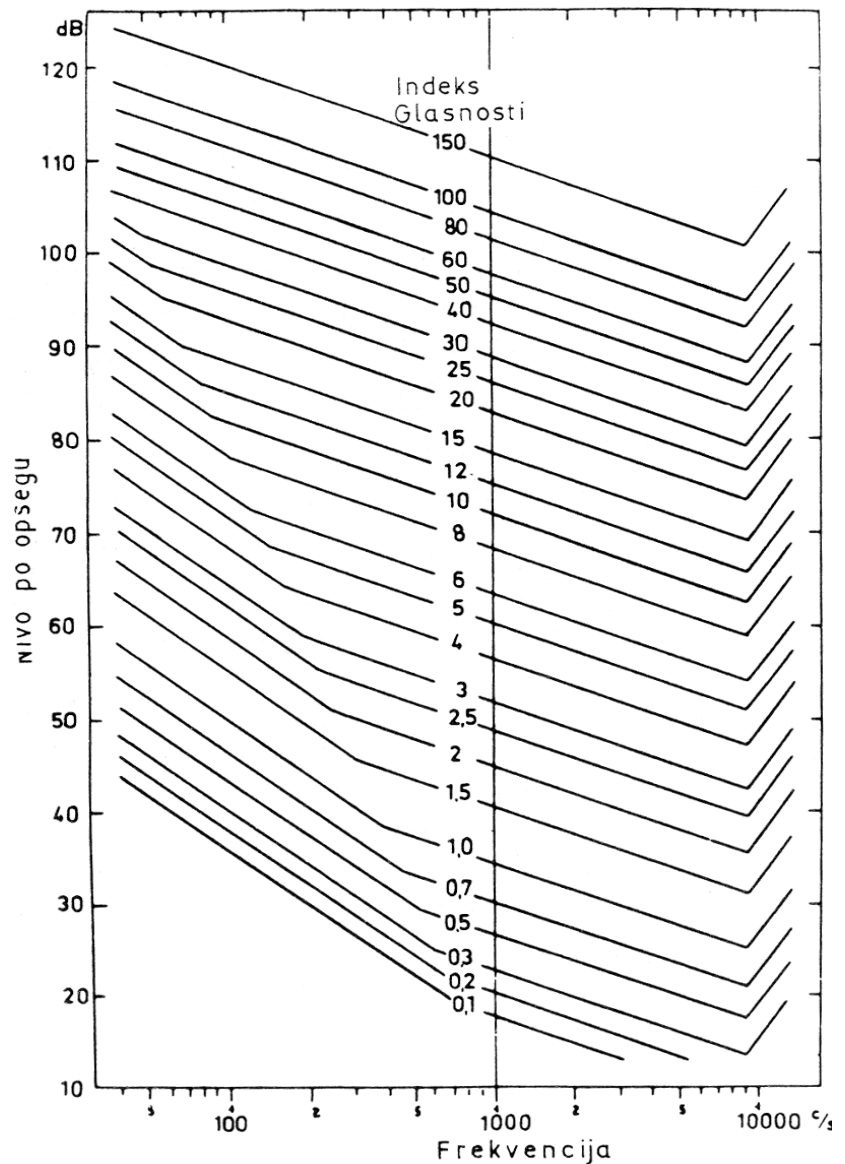
$$F = 0.15 - \text{tercni spektar}$$

$$F = 0.3 - \text{oktavni spektar}$$

$$\sum_{i=1}^4 S_i = 29.3 \text{ sona}$$

$$S = 13.5 \text{ sona}$$

$$\Lambda = 40 + \frac{10}{\log 2} \log S = 77.5 \text{ fona}$$



BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 16

Analizom složenog zvuka nađeno je da su nivoi pojedinih komponenti 70, 85 i 60 dB na frekvencijama od 400, 500 i 2000 Hz, redom. Odrediti:

- rezultujući nivo zvuka koji bi pokazao instrument prilikom merenja sa linearnom (Z) frekvencijskom karakteristikom,
- rezultujući nivo zvuka ako se merenje vrši sa A-frekvencijskom karakteristikom,
- subjektivnu jačinu složenog zvuka.

$$f_1 = 400 \text{ Hz}, L_1 = 70 \text{ dB}; f_2 = 500 \text{ Hz}, L_2 = 85 \text{ dB}; f_3 = 2000 \text{ Hz}, L_3 = 60 \text{ dB};$$

$$a) L = ?, b) L_A = ? c) \Lambda = ?, S = ?$$

$$a) L_R = 10 \log \sum_{i=1}^3 10^{L_i/10} = 10 \log(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + 10^{L_3/10}) = 85 \text{ dB}$$

b) $\Delta L(f)$:

$$f_1 = 400 \text{ Hz}, \Delta L_1 = -4.8 \text{ dB}$$

$$f_2 = 500 \text{ Hz}, \Delta L_2 = -3.2 \text{ dB}$$

$$f_3 = 2000 \text{ Hz}, \Delta L_3 = 1 \text{ dB}$$

$$L_{1,A} = L_1 + \Delta L_1 = 65.2 \text{ dB(A)},$$

$$L_{2,A} = L_2 + \Delta L_2 = 81.8 \text{ dB(A)},$$

$$L_{3,A} = L_3 + \Delta L_3 = 61 \text{ dB(A)}$$

$$L_{R,A} = 10 \log \sum_{i=1}^3 (10^{L_{A,i}/10}) =$$

$$= 10 \log(10^{L_{A1}/10} + 10^{L_{A2}/10} + 10^{L_{A3}/10}) = 81.8 \text{ dB(A)}$$

$$c) L_{12} = 10 \log \sum_{i=1}^2 (10^{L_i/10})$$

$$L_{12} = 10 \log(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10}) = 81.8 \text{ dB}$$

$L(f, \Lambda)$:

$$f_{12} = \frac{f_1 + f_2}{2} = 450 \text{ Hz}, L_{12} = 85 \text{ dB} \Rightarrow A_{12} = 87 \text{ fona}$$

$$f_3 = 2000 \text{ Hz}, L_3 = 61 \text{ dB} \Rightarrow A_3 = 62 \text{ fona}$$

$$S_i = 2^{\frac{\Lambda_i - 40}{10}} \Rightarrow S_{12} = 26 \text{ sona}, S_3 = 4.6 \text{ sona}$$

$$S = \sum_{i=1}^2 S_i = 30.6 \text{ sona}$$

$$\Lambda = 40 + \frac{10}{\log 2} \log S = 89.3 \text{ fon}$$

Slabljenje standardizovanih težinskih krivih na standarizovanim centralnim frekvencijama

$f_0[\text{Hz}]$	Kriva A ΔL [dB]	Kriva B ΔL [dB]	Kriva C ΔL [dB]
50	-30.2	-11.6	-1.3
63	-26.2	-9.3	-0.8
80	-22.5	-7.4	-0.5
100	-19.1	-5.6	-0.3
125	-16.1	-4.2	-0.2
160	-13.4	-3.0	-0.1
200	-10.9	-2.0	0
250	-8.6	-1.8	0
315	-6.6	-0.8	0
400	-4.8	-0.5	0
500	-3.2	-0.3	0
630	-1.9	-0.1	0
800	-0.8	0	0
1000	0	0	0
1250	0.6	0	0
1600	1.0	0	-0.1
2000	1.2	-0.1	-0.2
2500	1.3	-0.2	-0.3
3150	1.2	-0.4	-0.5
4000	1.0	-0.7	-0.8
5000	0.5	-1.2	-1.3
6300	-0.1	-1.9	-2.0
8000	-1.1	-2.9	-3.0
10000	-2.5	-4.3	-4.4

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 17

Izračunati ekvivalentni nivo zvuka u vremenskom intervalu od 1 sata, koga čine nivo zvuka od 100 dB u trajanju od 1 min. i nivo zvuka od 80 dB u trajanju od 30 min.

$$L_1 = 100 \text{ dB}, t_1 = 60 \text{ s}; L_2 = 80 \text{ dB}, t_2 = 1800 \text{ s}; T = 3600 \text{ s}; L_{eq} = ?$$

I način:

$$L_{eq1} = L_1 + 10 \log \frac{t_1}{T} = 82.2 \text{ dB},$$

$$L_{eq2} = L_2 + 10 \log \frac{t_2}{T} = 77 \text{ dB}$$

$$L_{eq} = 10 \log(10^{L_{eq1}/10} + 10^{L_{eq2}/10}) = 83.3 \text{ dB}$$

II način:

$$L_{eq} = 10 \log \sum_{i=1}^2 \left(\frac{t_i}{T} 10^{L_i/10} \right) = 10 \log \left(\frac{t_1}{T} 10^{L_1/10} + \frac{t_2}{T} 10^{L_2/10} \right) = 83.3 \text{ dB}$$

ZADATAK 18

Izračunati ekvivalentni nivo zvuka u vremenskim intervalima od 30 min. i 8 časova, koga čine nivo od 100 dB u trajanju od 10 s i nivo od 80 dB u trajanju od 15 min.

$$L_1 = 100 \text{ dB}, t_1 = 10 \text{ s}; L_2 = 80 \text{ dB}, t_2 = 900 \text{ s}; T_1 = 1800 \text{ s}, T_2 = 8 \text{ h}; L_{eq} = ?$$

a) $T_1 = 1800 \text{ s}$:

$$L_{eq1} = L_1 + 10 \log \frac{t_1}{T_1} = 77.45 \text{ dB}, \quad L_{eq2} = L_2 + 10 \log \frac{t_2}{T_1} = 77 \text{ dB}$$

$$L_{eq} = 10 \log(10^{L_{eq1}/10} + 10^{L_{eq2}/10}) = 80.2 \text{ dB}$$

b) $T_2 = 28800 \text{ s}$:

$$L_{eq1} = L_1 + 10 \log \frac{t_1}{T_2} = 65.4 \text{ dB}, \quad L_{eq2} = L_2 + 10 \log \frac{t_2}{T_2} = 65 \text{ dB}$$

$$L_{eq} = 10 \log(10^{L_{eq1}/10} + 10^{L_{eq2}/10}) = 68.2 \text{ dB}$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 19

Izračunati ekvivalentni nivo buke koji u osmočasovnom periodu stvaraju dve mašine koje rade u ciklusima sa konstantnim nivoom buke. Prva mašina u osmočasovnom periodu ima 400 ciklusa i nivo izloženosti buci za svaki ciklus 90 dB. Druga mašina u istom periodu ima 200 ciklusa i nivo izloženosti buci za svaki ciklus 95 dB.

Ekvivalentni nivo buke koji u osmočasovnom periodu stvara prva mašina može se izračunati kao:

$$\begin{aligned}L_{eq1} &= L_{AE_1} + 10\log(N_1) - 10\log(T), \\L_{eq1} &= 90 + 10\log(400) - 10\log(28800), \\L_{eq1} &= 90 + 26 - 44.6 = 71.4 \text{ dB},\end{aligned}$$

gde je T – ukupno vreme za koje se računa ekvivalentni nivo buke.

Ekvivalentni nivo buke koji u osmočasovnom periodu stvara druga mašina može se izračunati kao:

$$\begin{aligned}L_{eq2} &= L_{AE_2} + 10\log(N_2) - 10\log(T), \\L_{eq2} &= 95 + 10\log(200) - 10\log(28800), \\L_{eq2} &= 95 + 23 - 44.6 = 73.4 \text{ dB}.\end{aligned}$$

Ukupni ekvivalentni nivo buke koji u osmočasovnom periodu stvaraju obe mašine dobija se energetskim sabiranjem pojedinačnih ekvivalentnih nivoa buke za obe mašine:

$$\begin{aligned}L_{eq} &= 10\log(10^{0.1L_{eq1}} + 10^{0.1L_{eq2}}), \\L_{eq} &= 10\log(10^{7.14} + 10^{7.34}) = 75.5 \text{ dB}.\end{aligned}$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 20

U proizvodnoj hali radi nepoznat broj mašina iste akustičke snage. Unošenjem još tri iste mašine nivo zvuka se poveća za 4 dB. Odrediti prvobitan broj mašina.

$$\underline{\Delta L = 4 \text{ dB}, n = ?}$$

$$\begin{aligned} I_i &= \frac{4P_{ai}}{A}, P_{a_1} = P_{a_2} = \dots = P_{a_n} \Rightarrow I_1 = I_2 = \dots = I_n = I \\ I_R &= nI, \\ I'_R &= (n+3)I \\ \Delta L &= L'_R - L_R = 10 \log \frac{I'_R}{I_0} - 10 \log \frac{I_R}{I_0} = 10 \log \frac{I'_R}{I_R} = 10 \log \frac{(n+3)I}{nI} \\ \frac{(n+3)}{n} &= 10^{\Delta L/10} \Rightarrow n = \frac{3}{10^{\Delta L/10} - 1} = 2 \end{aligned}$$

ZADATAK 21

Pre oblaganja ukupne površine reverberacione prostorije, čija je apsorpcija 50 m², izmereno je vreme reverberacije 3 s. Odrediti kolika će promena vremena reverberacije uslediti nakon oblaganja prostorije novim materijalima ukupne apsorpcije 200 m².

$$\underline{A_1=50 \text{ m}^2, T_1=3 \text{ s}, A_2=200 \text{ m}^2, \Delta T = ?}$$

$$\begin{aligned} T_1 &= 0.162 \frac{V}{A_1} \Rightarrow V = \frac{T_1 A_1}{0.162} = 925.9 \text{ m}^3 \\ T_2 &= 0.162 \frac{V}{A_2} = 0.75 \text{ s} \Rightarrow \Delta T = T_1 - T_2 = 2.25 \text{ s} \end{aligned}$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 22

Izračunati srednju vrednost koeficijenta apsorpcije zidova prostorije dimenzija $10 \times 5 \times 4$ m, čije je vreme reverberacije 1.6 s.

$$V = 10 \cdot 5 \cdot 4 = 200 \text{ m}^3, T = 1.6 \text{ s}, \bar{\alpha} = ?$$

$$S = 2(10 \cdot 5 + 10 \cdot 4 + 5 \cdot 4) = 220 \text{ m}^2$$

$$T = 0.162 \frac{V}{A}, \quad A = \sum_i S_i \alpha_i = S \bar{\alpha}$$

$$T = 0.162 \frac{V}{S \bar{\alpha}} \Rightarrow \bar{\alpha} = 0.162 \frac{V}{ST} = 0.09$$

ZADATAK 23

U reverberacionu prostoriju dimenzija $8 \times 5 \times 3$ m i vremena reverberacije 3.5 s, uneto je 15 m^2 apsorpcionog materijala nepoznatog koeficijenta apsorpcije. Vreme reverberacije izmereno u novim uslovima ima vrednost 1.25 s. Izračunati koeficijent apsorpcije unetog materijala.

$$V = 8 \cdot 5 \cdot 3 = 120 \text{ m}^3, \quad T_0 = 3.5 \text{ s}, \quad S_1 = 15 \text{ m}^2, \quad T_1 = 1.25 \text{ s}, \quad \bar{\alpha}_1 = ?$$

$$S_0 = 2(8 \cdot 5 + 8 \cdot 3 + 5 \cdot 3) = 158 \text{ m}^2$$

$$T_0 = 0.162 \frac{V}{A_0}, \quad A_0 = S_0 \bar{\alpha}_0 \Rightarrow T_0 = 0.162 \frac{V}{S_0 \bar{\alpha}_0} \Rightarrow \bar{\alpha}_0 = 0.162 \frac{V}{S_0 T_0}$$

$$T_1 = 0.162 \frac{V}{A_1}, \quad A_1 = \sum_i S_i \alpha_i = (S_0 - S_1) \bar{\alpha}_0 + S_1 \bar{\alpha}_1 \Rightarrow$$

$$T_1 = 0.162 \frac{V}{(S_0 - S_1) \bar{\alpha}_0 + S_1 \bar{\alpha}_1} \Rightarrow \bar{\alpha}_1 = 0.7$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 24

Zvučni izvor akustičke snage 1 mW, u prostoriji ukupne površine 200 m², formira nivo zvuka od 100 dB. Izračunati srednju vrednost koeficijenta apsorpcije i refleksije u prostoriji.

$$P_a = 10^{-3} \text{ W}, S = 200 \text{ m}^2, L = 100 \text{ dB}, \bar{\alpha} = ?, \bar{r} = ?$$

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow I = I_0 10^{L/10} = 10^{-2} \text{ W/m}^2$$

$$I = \frac{4P_a}{A} \Rightarrow A = \frac{4P_a}{I} = 0.4 \text{ m}^2$$

$$A = \sum_i S_i \alpha_i = S \bar{\alpha} \Rightarrow \bar{\alpha} = \frac{A}{S} = 0.02$$

$$\bar{\alpha} + \bar{r} = 1 \Rightarrow \bar{r} = 1 - \bar{\alpha} = 0.98$$

ZADATAK 25

Tačkasti zvučni izvor akustičke snage 5 W instaliran je u prostoriji zapremine 100 m³, sa vremenom reverberacije 4 s. Odrediti na kom rastojanju od izvora bi bio isti intenzitet kao i u prostoriji, ako se isti izvor zvuka prebaci na otvorenom prostoru i sa kojim nivoom zvučnog pritiska.

$$P_a = 5 \text{ W}, V = 100 \text{ m}^3, T = 4 \text{ s}, r = ?$$

$$I = \frac{4P_a}{A}, T = 0.162 \frac{V}{A} \Rightarrow I = \frac{4P_a}{0.162 \frac{V}{T}} = \frac{25P_a T}{V}$$

$$I = \frac{P_a}{4\pi r^2}$$

$$\frac{25P_a T}{V} = \frac{P_a}{4\pi r^2} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{T}{100\pi V}} = 0.0564 \sqrt{\frac{V}{T}} = 0.282 \text{ m}$$

$$p = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{\rho c P_a}{4\pi}} = 45.5 \text{ Pa} \Rightarrow L = 20 \log \frac{p}{p_0} = 127 \text{ dB}$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 26

Mašina koja se tretira kao tačkasti zvučni izvor je instalirana u središtu prostorije dimenzija $5 \times 5 \times 5$ m, sa vremenom reverberacije 2 s. Odrediti na kom je rastojanju od izvora intenzitet direktnih zvučnih talasa jednak prosečnom intenzitetu reflektovanih zvučnih talasa.

$$V = 5 \times 5 \times 5 = 125 \text{ m}^3, \quad T = 2 \text{ s}, \quad r = ?$$

$$S = 2(5 \cdot 5 + 5 \cdot 5 + 5 \cdot 5) = 150 \text{ m}^2$$

$$I_d = \frac{P_a}{4\pi r^2}, \quad I_r = \frac{4P_a}{A}(1 - \bar{\alpha})$$

$$I_d = I_r \Rightarrow \frac{P_a}{4\pi r^2} = \frac{4P_a}{A}(1 - \bar{\alpha}) \Rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{16\pi(1 - \bar{\alpha})}} = \sqrt{\frac{S\bar{\alpha}}{16\pi(1 - \bar{\alpha})}}$$

$$T = 0.162 \frac{V}{A} = 0.162 \frac{V}{S\bar{\alpha}} \Rightarrow \bar{\alpha} = 0.162 \frac{V}{ST} = 0.0675$$

$$r = 0.46 \text{ m}$$

ZADATAK 27

Mašina akustičke snage 100 mW, sa faktorom usmerenosti 0.2, nalazi se u uglu prostorije dimenzija $10 \times 6 \times 4$ m, srednje vrednosti koeficijenta apsorpcije 0.4. Odrediti nivo zvuka na rastojanju 4 m od mašine.

$$V = 10 \cdot 6 \cdot 4 = 240 \text{ m}^3, \quad P_a = 0.1 \text{ W}, \quad \gamma = 0.2, \quad \bar{\alpha} = 0.4, \quad r = 4 \text{ m}, \quad L = ?$$

$$S = 2(10 \cdot 6 + 10 \cdot 4 + 6 \cdot 4) = 248 \text{ m}^2$$

$$A = \sum_i (S_i \alpha_i) = S\bar{\alpha} = 99.2 \text{ m}^2$$

$$I_d = \frac{P_a}{\Omega_z r^2} \gamma, \quad \Omega_z = \frac{\pi}{2} \text{ srad}, \quad I_r = (1 - \bar{\alpha}) \frac{4P_a}{A}$$

$$I = I_d + I_r = \frac{P_a}{\frac{\pi}{2} r^2} \gamma + (1 - \bar{\alpha}) \frac{4P_a}{A} = P_a \left[\frac{2\gamma}{\pi r^2} + \frac{4}{A}(1 - \bar{\alpha}) \right] = 3.2 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$$

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} = 95.1 \text{ dB}$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 28

Na sredini plafona prostorije dimenzija $10 \times 5 \times 4$ m postavljen je neusmeren zvučni izvor akustičke snage 4 W. Zidovi i plafon prostorije su prekriveni materijalom srednje vrednosti koeficijenta apsorpcije 0.1, a pod gumenim prekrivačem koeficijenta apsorpcije 0.06. Odrediti:

- a) nivo zvuka na rastojanju 2 m od izvora,
- b) vreme reverberacije prostorije.

$$V = 10 \times 5 \times 4 = 200 \text{ m}^3, \quad P_a = 4 \text{ W}, \quad \bar{\alpha}_1 = 0.1, \quad \bar{\alpha}_2 = 0.06, \quad \text{a) } r = 2 \text{ m}, \quad L = ? \quad \text{b) } E = ? \quad \text{c) } T = ?$$

$$\text{a) } S = 2(10 \cdot 4 + 5 \cdot 4 + 10 \cdot 5) = 220 \text{ m}^2$$

$$S_1 = 2(10 \cdot 4 + 5 \cdot 4) + 10 \cdot 5 = 170 \text{ m}^2, \quad S_2 = 10 \cdot 5 = 50 \text{ m}^2$$

$$A = \sum_i S_i \alpha_i = S_1 \bar{\alpha}_1 + S_2 \bar{\alpha}_2 = 20 \text{ m}^2$$

$$\bar{\alpha} = \frac{A}{S} = 0.09 < 0.3 \Rightarrow I = \frac{4P_a}{A} = 0.8 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = \text{const.}$$

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} = 119 \text{ dB}$$

$$\text{b) } T = 0.162 \frac{V}{A} = 1.62 \text{ s} > 0.8 \text{ s}$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 29

Zidovi i tavanica prostorije dimenzija $10 \times 10 \times 5$ m obloženi su materijalom srednje vrednosti koeficijenta apsorpcije 0.1, a pod materijalom srednje vrednosti koeficijenta apsorpcije 0.05. Odrediti:

- koliki nivo zvuka stvara zvučni izvor koji je smešten u uglu poda i dva zida na rastojanju od 5 m, ako je snaga zvučnog izvora 0.1 W, a faktor usmerenosti 0.2.
- za koliko će se smanjiti nivo zvuka u prostoriji ako materijal srednje vrednosti koeficijenta apsorpcije 0.1 zamenimo novim čija je vrednost 0.5.

$$V = 10 \cdot 10 \cdot 5 = 500 \text{ m}^3, P_a = 0.1 \text{ W}, \gamma = 0.2, \bar{\alpha}_1 = 0.1, \bar{\alpha}_2 = 0.05, \text{ a) } r = 5 \text{ m}, L = ?, \text{ b) } \bar{\alpha}_3 = 0.5, \Delta L = ?$$

$$\text{a) } S = 2(10 \cdot 10 + 10 \cdot 5 + 10 \cdot 5) = 400 \text{ m}^2$$

$$S_1 = 2(10 \cdot 5 + 10 \cdot 5) + 10 \cdot 10 = 300 \text{ m}^2, S_2 = 10 \cdot 10 = 100 \text{ m}^2$$

$$A = \sum_i S_i \alpha_i = S_1 \bar{\alpha}_1 + S_2 \bar{\alpha}_2 = 35 \text{ m}^2$$

$$\bar{\alpha} = \frac{A}{S} = 0.0875 < 0.3 \Rightarrow I = \frac{4P_a}{A} = 0.011 \text{ W/m}^2 \Rightarrow L = 90.6 \text{ dB}$$

$$\text{b) } A' = \sum_i S_i \alpha_i = S_1 \bar{\alpha}_3 + S_2 \bar{\alpha}_2 = 155 \text{ m}^2$$

$$\bar{\alpha}' = \frac{A'}{S} = 0.4625 > 0.3 \Rightarrow I' = I_d + I_r = \frac{P_a}{\frac{\pi}{2} r^2} \gamma + \frac{4P_a}{A} (1 - \bar{\alpha}) = 0.0021 \text{ W/m}^2$$

$$I = \frac{4P_a}{A}, I' = \frac{4P_a}{A'} \Rightarrow \frac{I}{I'} = \frac{4P_a/A}{4P_a/A'} = \frac{A'}{A}$$

$$\Delta L = L - L' = 10 \log \frac{I}{I_0} - 10 \log \frac{I'}{I_0} = 10 \log \frac{I}{I'} = 10 \log \frac{A'}{A} = 6.5 \text{ dB}$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 30

U prostoriji čije je vreme reverberacije 6 s postoji prekoračenje dozvoljenog nivoa od 8 dB. Da li će nivo buke biti u dozvoljenim granicama ako vreme reverberacije u prostoriji nakon akustičke obrade opadne na 2 s?

$$T = 6 \text{ s}, \Delta L_d = 8 \text{ dB}, T' = 2 \text{ s}, \Delta L'_d = ?$$

$$I = \frac{25P_a T}{V}, I' = \frac{25P_a T'}{V} \Rightarrow \Delta L = L - L' = 10 \log \frac{I}{I_0} - 10 \log \frac{I'}{I_0} = 10 \log \frac{I/I_0}{I'/I_0}$$

$$\Delta L = 10 \log \frac{I}{I'} = 10 \log \frac{25P_a T/V}{25P_a T'/V} = 10 \log \frac{T}{T'} = 4.8 \text{ dB}$$

$$\Delta L'_d = \Delta L_d - \Delta L = 3.2 \text{ dB}$$

$$L = L_d + \Delta L_d, L' = L_d + \Delta L'_d = L_d + 3.2 \text{ dB}$$

ZADATAK 31

U prostoriji dimenzija 20×10×10 m instalirano je 50 mašina iste akustičke snage. Vreme reverberacije prostorije u takvim uslovima (kada se u njoj nalazi 50 mašina) iznosi 2 s.

Ako se u prostoriju unese još 100 novih mašina čija je zvučna snaga kao i prethodnih mašina, odrediti za koliko će se povećati nivo zvuka u prostoriji ako je apsorpcija svake mašine 0.5 m².

$$V = 20 \cdot 10 \cdot 10 = 2000 \text{ m}^3, T = 2 \text{ s}, n = 50, n' = 100, A_m = 0.5 \text{ m}^2, \Delta L = ?$$

$$T = 0.162 \frac{V}{A} \Rightarrow A = 0.162 \frac{V}{T} = 162 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{4 \sum_i P_{ai}}{A} = \frac{4 \cdot n P_a}{A} = \frac{200 P_a}{A}, I' = \frac{4 \sum_i P_{ai}}{A'} = \frac{4 \cdot (n + n') P_a}{A + n' A_m} = \frac{600 P_a}{A + n' A_m}$$

$$\Delta L = L' - L = 10 \log \frac{I'}{I_0} - 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{I'/I_0}{I/I_0} = 10 \log \frac{I'}{I} = 10 \log \frac{\frac{600 P_a}{A + n' A_m}}{\frac{200 P_a}{A}}$$

$$\Delta L = 10 \log \frac{3A}{A + n' A_m} = 3.6 \text{ dB}$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 32

U proizvodnoj hali 50 mašina stvara buku određenog nivoa, pri apsorpciji prazne prostorije 20 m^2 i prosečnoj apsorpciji svake mašine od 0.2 m^2 . Izračunati koliko bi još mašina trebalo uneti u halu da bi se nivo zvuka povećao za 3 dB.

$$n=50, A_0 = 20 \text{ m}^2, A = 0.2 \text{ m}^2, \Delta L = 3 \text{ dB}, n' = ?$$

$$\Delta L = L_2 - L_1 = 10 \log \frac{I_2}{I_0} - 10 \log \frac{I_1}{I_0} = 10 \log \frac{I_2}{I_1} \Rightarrow \frac{I_2}{I_1} = 10^{\Delta L/10} = 2$$

$$I_1 = \frac{4P_{a1}}{A_1}, P_{a1} = nP_a, A_1 = A_0 + nA \Rightarrow I_1 = \frac{4nP_a}{A_0 + nA}$$

$$I_2 = \frac{4P_{a2}}{A_2}, P_{a2} = (n + n')P_a, A_2 = A_0 + (n + n')A \Rightarrow I_2 = \frac{4(n + n')P_a}{A_0 + (n + n')A}$$

$$I_2 = 2I_1 \Rightarrow \frac{4(n + n')P_a}{A_0 + (n + n')A} = 2 \frac{4nP_a}{A_0 + nA}$$

$$(n + n')(A_0 + nA) = 2n[A_0 + (n + n')A]$$

$$n(A_0 + nA) + n'(A_0 + nA) = 2n(A_0 + nA) + 2nn'A$$

$$n'(A_0 + nA) - 2nn'A = 2n(A_0 + nA) - n(A_0 + nA)$$

$$n'(A_0 - nA) = n(A_0 + nA)$$

$$n' = n \frac{A_0 + nA}{A_0 - nA} = 150 \text{ mašina}$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 33

Tavanica i zidovi su u prostoriji dimenzija $10 \times 5 \times 4$ m obloženi materijalom srednje vrednosti koeficijenta apsorpcije 0.1, a pod materijalom srednjeg koeficijenta apsorpcije 0.05. Ako se iz dekorativnih razloga plafon obloži apsorpcionim pločama srednje vrednosti koeficijenta apsorpcije 0.4, odrediti:

- vreme reverberacije pre i posle dekorativne obrade plafona, i
- smanjenje nivoa buke u prostoriji.

$$V = 10 \cdot 5 \cdot 4 = 200 \text{ m}^3, \quad \bar{\alpha}_1 = 0.1, \quad \bar{\alpha}_2 = 0.05, \quad \bar{\alpha}_3 = 0.4, \quad \text{a) } T_1 = ?, T_2 = ?, \quad \text{b) } \Delta L = ?$$

$$\text{a) } T_1 = 0.162 \frac{V}{A_1}, \quad A_1 = \sum_i S_i \alpha_i = S_1 \bar{\alpha}_1 + S_2 \bar{\alpha}_2$$

$$S_1 = 2(10 \cdot 4 + 5 \cdot 4) + 10 \cdot 5 = 170 \text{ m}^2, \quad S_2 = 10 \cdot 5 = 50 \text{ m}^2$$

$$T_1 = 0.162 \frac{V}{S_1 \bar{\alpha}_1 + S_2 \bar{\alpha}_2} = 1.66 \text{ s}$$

$$T_2 = 0.162 \frac{V}{A_2}, \quad A_2 = \sum_i S_i \alpha_i = S'_1 \bar{\alpha}_1 + S_2 \bar{\alpha}_2 + S_3 \bar{\alpha}_3$$

$$S'_1 = 2(10 \cdot 4 + 5 \cdot 4) = 120 \text{ m}^2, \quad S_3 = 10 \cdot 5 = 50 \text{ m}^2$$

$$T_2 = 0.162 \frac{V}{S'_1 \bar{\alpha}_1 + S_2 \bar{\alpha}_2 + S_3 \bar{\alpha}_3} = 0.94 \text{ s}$$

$$\text{b) } I_1 = \frac{25 P_a T_1}{V}, \quad I_2 = \frac{25 P_a T_2}{V}$$

$$\Delta L = L_1 - L_2 = 10 \log \frac{I_1}{I_0} - 10 \log \frac{I_2}{I_0} = 10 \log \frac{I_1}{I_2} = 10 \log \frac{\frac{25 P_a T_1}{V}}{\frac{25 P_a T_2}{V}} = 10 \log \frac{T_1}{T_2} = 2.5 \text{ dB}$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 34

Svaki od dva zvučna izvora, iste zvučne snage od 10 mW, emituje prost zvuk na frekvencijama 100 i 1000 Hz u prostoriji zapremine 200 m³. Vreme reverberacije prostorije za zvuk frekvencije 100 Hz iznosi 2 s, a za zvuk frekvencije 1000 Hz iznosi 4 s. Odrediti:

- rezultujući nivo zvuka u prostoriji,
- za koliko će se smanjiti nivo zvuka u prostoriji nakon jedne sekunde od istovremenog prekida rada oba izvora,
- za koliko će se promeniti subjektivna jačina i glasnost zvuka nakon jedne sekunde od istovremenog prekida rada oba izvora.

$$f_1 = 100 \text{ Hz}, \quad f_2 = 1000 \text{ Hz}, \quad P_{a1} = P_{a2} = P_a = 0.01 \text{ W}, \quad T_1 = 2 \text{ s}, \quad T_2 = 4 \text{ s}, \quad V = 200 \text{ m}^3$$

$$\text{a) } L_R = ? \quad \text{b) } t = 1 \text{ s}, \quad \Delta L_R = ? \quad \text{c) } \Delta \Lambda = ?, \quad \Delta S = ?$$

$$I_1 = \frac{25 P_a T_1}{V} = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2, \quad I_2 = \frac{25 P_a T_2}{V} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2$$

$$I_R = I_1 + I_2 = 7.5 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2 \Rightarrow L_R = 10 \log \frac{I_R}{I_0} = 98.7 \text{ dB}$$

$$L_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0} = 93.9 \text{ dB}, \quad L_2 = 10 \log \frac{I_2}{I_0} = 96.9 \text{ dB}$$

$$\text{Sa dijagrama } \Lambda(f, L) \Rightarrow \begin{cases} f_1 = 100 \text{ Hz}, L_1 = 93.9 \text{ dB} \Rightarrow \Lambda_1 = 90 \text{ fon} \\ f_2 = 1000 \text{ Hz}, L_2 = 96.9 \text{ dB} \Rightarrow \Lambda_2 = 96.9 \text{ fon} \end{cases}$$

$$S_i = 2^{\frac{\Lambda_i - 40}{10}} \Rightarrow S_1 = 32 \text{ son}, \quad S_2 = 51.6 \text{ son}$$

$$S_R = \sum_{i=1}^2 S_i = 83.6 \text{ son} \Rightarrow \Lambda_R = 40 + \frac{10}{\log 2} \log S_R = 103.8 \text{ fon}$$

Nakon jedne sekunde od istovremenog prekida rada oba izvora, pojedinačni nivoi zvuka opadnu za vrednosti ΔL_1 i ΔL_2 . S obzirom na definiciju vremena reverberacije, mogu se uspostaviti sledeće relacije:

$$t : \Delta L_1 = T_1 : 60 \Rightarrow \Delta L_1 = \frac{60t}{T_1} = 30 \text{ dB}$$

$$t : \Delta L_2 = T_2 : 60 \Rightarrow \Delta L_2 = \frac{60t}{T_2} = 15 \text{ dB}$$

$$L'_1 = L_1 - \Delta L_1 = 63.9 \text{ dB}, \quad L'_2 = L_2 - \Delta L_2 = 81.9 \text{ dB}$$

$$L'_R = 10 \log \left(\sum_{i=1}^2 10^{L'_i/10} \right) = 10 \log (10^{L'_1/10} + 10^{L'_2/10}) = 81.9 \text{ dB}$$

$$\Delta L_R = L_R - L'_R = 16.8 \text{ dB}$$

$$\text{Sa dijagrama } \Lambda(f, L) \Rightarrow \begin{cases} f_1 = 100 \text{ Hz}, L'_1 = 63.9 \text{ dB} \Rightarrow \Lambda'_1 = 57 \text{ fon} \\ f_2 = 1000 \text{ Hz}, L'_2 = 81.9 \text{ dB} \Rightarrow \Lambda'_2 = 81.9 \text{ fon} \end{cases}$$

$$S'_i = 2^{\frac{\Lambda'_i - 40}{10}} \Rightarrow S'_1 = 3.2 \text{ son}, \quad S'_2 = 18.2 \text{ son}$$

$$S'_R = \sum_{i=1}^2 S'_i = 21.4 \text{ son} \Rightarrow \Lambda'_R = 40 + \frac{10}{\log 2} \log S'_R = 84.1 \text{ fon}$$

$$\Delta S_R = S_R - S'_R = 62.2 \text{ son}, \quad \Delta \Lambda_R = \Lambda_R - \Lambda'_R = 19.7 \text{ fon}$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 35

Pregradni zid površine 30 m^2 napravljen je od materijala različitih izolacionih moći i to: površina od 4 m^2 ima izolacionu moć 50 dB , površina od 16 m^2 ima izolacionu moć 40 dB i površina 10 m^2 ima izolacionu moć 20 dB . Izračunati izolacionu moć pregradnog zida.

$$S = 30 \text{ m}^2, S_1 = 4 \text{ m}^2, R_1 = 50 \text{ dB}, S_2 = 16 \text{ m}^2, R_2 = 40 \text{ dB}, S_3 = 10 \text{ m}^2, R_3 = 20 \text{ dB}, R = ?$$

$$R_1 = 10 \log \frac{1}{\tau_1} \Rightarrow \tau_1 = 10^{-R_1/10} = 10^{-5}$$

$$R_2 = 10 \log \frac{1}{\tau_2} \Rightarrow \tau_2 = 10^{-R_2/10} = 10^{-4}$$

$$R_3 = 10 \log \frac{1}{\tau_3} \Rightarrow \tau_3 = 10^{-R_3/10} = 10^{-2}$$

$$\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^3 S_i \tau_i}{\sum_{i=1}^3 S_i} = \frac{S_1 \tau_1 + S_2 \tau_2 + S_3 \tau_3}{S} = 3.4 \cdot 10^{-3} \Rightarrow R = 10 \log \frac{1}{\bar{\tau}} = 24.7 \text{ dB}$$

ZADATAK 36

Predajna prostorija je industrijska hala, a prijemna konstrukcioni biro. Nivo buke u proizvodnoj hali je 90 dB na frekvenciji 1000 Hz . Da li je nivo buke u konstrukcionom birou, dimenzija $10 \times 6 \times 5 \text{ m}$, sa srednjom vrednošću koeficijenta apsorpcije 0.4 u dozvoljenim granicama ako je srednja vrednost koeficijenta prenošenja pregradnog zida 0.01 ? Dozvoljeni nivo u konstrukcionom birou iznosi 45 dB .

$$f = 1000 \text{ Hz}, L_1 = 90 \text{ dB}, L_d = 45 \text{ dB}, V = 10 \times 6 \times 5 = 300 \text{ m}^3, \bar{\alpha}_2 = 0.4, \bar{\tau} = 0.01, \Delta L = ?$$

$$S_2 = 2(10 \cdot 6 + 10 \cdot 5 + 6 \cdot 5) = 280 \text{ m}^2, S = 10 \cdot 6 = 60 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \sum_i S_i \alpha_i = S_2 \bar{\alpha}_2 = 112 \text{ m}^2$$

$$R = 10 \log \frac{1}{\bar{\tau}} = 20 \text{ dB}$$

$$D = L_1 - L_2 = R + 10 \log \frac{A_2}{S} \Rightarrow L_2 = L_1 - 10 \log \frac{A_2}{S} - R = 67.3 \text{ dB}$$

$$\Delta L = L_2 - L_d = 22.3 \text{ dB}$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 37

U prostoriji dimenzija $20 \times 10 \times 4$ m, srednje vrednosti koeficijenta apsorpcije 0.2, instaliran je zvučni izvor akustičke snage 10^{-5} W. Odrediti:

- a) nivo zvuka u prostoriji.
- b) nivo zvuka u obe prostorije ako se prostorija na sredini duže stranice podeli pregradnim zidom izolacione moći 50 dB.

$$V = 20 \times 10 \times 4 = 800 \text{ m}^3, \quad \bar{\alpha} = 0.2, \quad P_a = 10^{-5} \text{ W}, \quad \text{a) } L = ?, \quad \text{b) } R = 50 \text{ dB}, \quad L_1 = ?, \quad L_2 = ?$$

$$\text{a) } S = 2(20 \cdot 10 + 20 \cdot 4 + 10 \cdot 4) = 640 \text{ m}^2, \quad A = \sum_i S_i \alpha_i = \bar{S} \bar{\alpha} = 128 \text{ m}^2$$

$$I = \frac{4P_a}{A} = 3.1 \cdot 10^{-7} \text{ W/m}^2 \Rightarrow L = 10 \log \frac{I}{I_0} = 54.9 \text{ dB}$$

$$\text{b) } S_1 = S_2 = 2(10 \cdot 10 + 10 \cdot 4 + 10 \cdot 4) = 360 \text{ m}^2, \quad S_p = 10 \cdot 4 = 40 \text{ m}^2$$

$$A_1 = A_2 = \sum_i S_i \alpha_i = \bar{S} \bar{\alpha} = 72 \text{ m}^2$$

$$I_1 = \frac{4P_a}{A_1} = 5.5 \cdot 10^{-7} \text{ W/m}^2 \Rightarrow L_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0} = 57.4 \text{ dB}$$

$$D = L_1 - L_2 = R + 10 \log \frac{A_2}{S_p} \Rightarrow L_2 = L_1 - 10 \log \frac{A_2}{S_p} - R = 4.8 \text{ dB}$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 38

Izračunati i oceniti dnevnu izloženost radnika buci prema podacima iz tabele ukoliko radnik prilikom obavljanja navedenih radnih aktivnosti ne koristi ličnu zaštitnu opremu za zaštitu sluha.

Radna aktivnost		T_m [h]	Rezultati merenja ekvivalentnih nivoa zvučnog pritiska za radnu aktivnost m u i pojedinačnih merenja $L_{p,A,eqT,mi}$ [dB]		
Naziv	m				
Pauze i priprema	1	3	$L_{p,A,eqT,11} = 82.4$	$L_{p,A,eqT,12} = 83.1$	$L_{p,A,eqT,13} = 82.7$
Zavarivanje	2	5	$L_{p,A,eqT,21} = 92.1$	$L_{p,A,eqT,22} = 89.2$	$L_{p,A,eqT,23} = 90.4$

Rešenje:

Radna aktivnost		T_m [h]	Srednja vrednost ekvivalentnog nivoa zvučnog pritiska za radnu aktivnost m , $L_{p,A,eqT,m}$ [dB]
Naziv	m		
Pauze i priprema	1	3	$L_{p,A,eqT,1} = 10 \log \left[\frac{1}{3} (10^{0.1 \cdot 82.4} + 10^{0.1 \cdot 83.1} + 10^{0.1 \cdot 82.7}) \right] = 82.7 \text{ dB}$
Zavarivanje	2	5	$L_{p,A,eqT,2} = 10 \log \left[\frac{1}{3} (10^{0.1 \cdot 92.1} + 10^{0.1 \cdot 89.2} + 10^{0.1 \cdot 90.4}) \right] = 90.7 \text{ dB}$

$$L_{A,EX,8h} = 10 \log \left(\frac{3}{8} 10^{0.1 \cdot 82.7} + \frac{5}{8} 10^{0.1 \cdot 90.7} \right) = 89.1 \text{ dB} > 83 \text{ dB}$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 39

Radnik koristi u toku osmočasovnog radnog vremena ručnu bušilicu ukupno 2 sata, ubodnu testeru ukupno 1 sat i ručni cirkular ukupno 1 sat. Radnik provodi ostatak radnog vremena u planiranju rada i na pauzi. Izmerene vrednosti ekvivalentnih nivoa buke tokom obavljanja pojedinih zadataka i pauze dati su u tabeli.

Radna aktivnost		T_m [h]	Rezultati merenja ekvivalentnih nivoa zvučnog pritiska za radnu aktivnost m u i pojedinačnih merenja $L_{p,A,eqT,mi}$ [dB]		
Naziv	m				
Bušenje	1	2	$L_{p,A,eqT,11} = 83.4$	$L_{p,A,eqT,12} = 82.9$	$L_{p,A,eqT,13} = 83.7$
Sečenje testerom	2	1	$L_{p,A,eqT,21} = 92.1$	$L_{p,A,eqT,22} = 93.2$	$L_{p,A,eqT,23} = 90.9$
Sečenje cirkularom	3	1	$L_{p,A,eqT,31} = 96.8$	$L_{p,A,eqT,32} = 95.2$	$L_{p,A,eqT,33} = 95.5$
Planiranje i pauza	4	4	$L_{p,A,eqT,41} = 65.0$	$L_{p,A,eqT,42} = 65.0$	$L_{p,A,eqT,43} = 65.0$

- Izračunati i oceniti vrednost nivoa dnevne izloženosti buci.
- Da li bi radnik morao da koristi ličnu zaštitnu opremu za zaštitu sluha ukoliko bi tokom osmočasovnog radnog vremena sa bušilicom radio 30 min, sa testerom i cirkularom po 15 min, a ostatak radnog vremena provodio obavljajući aktivnosti u uslovima buke koja odgovara buci prilikom pauze?

Rešenje:

a)

$$L_{p,A,eqT,m} = 10 \log \left[\frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 10^{0.1 \cdot L_{p,A,eqT,mi}} \right] \quad L_{A,EX,8h} = 10 \log \sum_{m=1}^4 \left(\frac{T_m}{T_0} 10^{0.1 L_{p,A,eqT,m}} \right)$$

Radna aktivnost		T_m [h]	Srednja vrednost ekvivalentnog nivoa zvučnog pritiska za radnu aktivnost m $L_{p,A,eqT,m}$ [dB]	Nivo dnevne izloženosti buci
Naziv	m			
Bušenje	1	2	$L_{p,A,eqT,1} = 83.3$ dB	$L_{A,EX,8h} = 88.7$ dB
Sečenje testerom	2	1	$L_{p,A,eqT,2} = 92.2$ dB	
Sečenje cirkularom	3	1	$L_{p,A,eqT,3} = 95.9$ dB	
Planiranje i pauza	4	4	$L_{p,A,eqT,4} = 65.0$ dB	

Ocena: $L_{A,EX,8h} > 83$ dB – vrednost $L_{A,EX,8h}$ prekoračuje gornju akcionu vrednost nivoa dnevne izloženosti buci. Obavezno je korišćenje lične zaštitne opreme za zaštitu sluha.

b)

Radna aktivnost		T_m [h]	Srednja vrednost ekvivalentnog nivoa zvučnog pritiska za radnu aktivnost m $L_{p,A,eqT,m}$ [dB]	Nivo dnevne izloženosti buci
Naziv	m			
Bušenje	1	0.5	$L_{p,A,eqT,1} = 83.3$ dB	$L'_{A,EX,8h} = 82.8$ dB
Sečenje testerom	2	0.25	$L_{p,A,eqT,2} = 92.2$ dB	
Sečenje cirkularom	3	0.25	$L_{p,A,eqT,3} = 95.9$ dB	
Planiranje i pauza	4	7	$L_{p,A,eqT,4} = 65.0$ dB	

Ocena: 80 dB $< L'_{A,EX,8h} < 83$ dB – vrednost $L'_{A,EX,8h}$ je između donje i gornje akcione vrednost nivoa dnevne izloženosti buci. Radnik tada nije u obavezi da koristi ličnu zaštitnu opremu za zaštitu sluha, ali mu od strane poslodavca mora biti stavljena na raspolaganje.

VIBRACIJE

ZADATAK 1

Odrediti dnevnu izloženost radnika vibracijama koji pri radu koristi ručni alat – sekač grana u ukupnom trajanju od 4.5 sata u toku osmočasovnog radnog vremena. Ukupna vrednost vibracija na ručici sekača iznosi 4 m/s^2 . Radnik prilikom rada sa ručnim alatima ne koristi antivibracione rukavice kao ličnu zaštitnu opremu (LZO).

Rešenje:

Dnevna izloženost vibracijama koje se na čoveka prenose preko sistema šaka-ruka $A(8)$ određuje se pomoću izraza:

$$A(8) = a_v \sqrt{\frac{T}{T_0}} \text{ [m/s}^2\text{]}, \text{ gde je:}$$

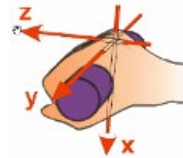
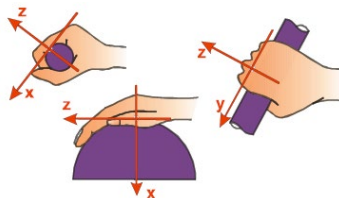
$a_v \text{ [m/s}^2\text{]}$ – ukupna vrednost vibracija na rukohvatu mašine ili drugom sredstvu koje se pri radu prenose na šaku radnika; utvrđuje se merenjem ili na osnovu podataka koje dostavlja proizvođač opreme;

$T \text{ [h]}$ – ukupno vreme izloženosti utvrđenoj veličini vibracija a_v u toku osmočasovnog radnog vremena;

$T_0 \text{ [h]}$ – referentna vrednost radnog vremena od 8 sati.

Rizik od vibracija koje se na telo prenose preko sistema šaka-ruka je zasnovan na frekvencijski ponderisanoj ukupnoj vrednosti ubrzanja vibracija a_v , koja predstavlja kvadratni koren zbira kvadrata frekvencijski ponderisanih ubrzanja za tri međusobno upravne ose x , y i z :

$$a_v = \sqrt{a_{wx}^2 + a_{wy}^2 + a_{wz}^2} \text{ [m/s}^2\text{]}$$



Za navedeni primer, dnevna izloženost radnika vibracijama iznosi

$$A(8) = 4 \sqrt{\frac{4.5}{8}} = 3 \text{ [m/s}^2\text{]}.$$

$$A(8)_{akc.} = 2.5 \text{ m/s}^2, \quad A(8)_{gr.} = 5 \text{ m/s}^2$$

$A(8) > A(8)_{akc.} \Rightarrow$ Obavezno korišćenje LZO tipa antivibracionih rukavica određenih karakteristika ili smanjenje vremena korišćenja sekača do ispunjenja uslova $A(8) < A(8)_{akc.}$ kada korišćenje LZO nije neophodno.

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 2

Odrediti ukupnu dnevnu izloženost radnika vibracijama koji u toku osmočasovnog radnog vremena koristi više ručnih alata: bušilicu u ukupnom trajanju od 2.5 sata, brusilicu u ukupnom trajanju od 1 sat i pneumatski čekić u ukupnom trajanju od 15 min., pri čemu je na ručici bušilice izmerena vrednost vibracija od 4 m/s^2 , na ručici brusilice 3 m/s^2 i na ručici pneumatskog čekića 20 m/s^2 .

Rešenje:

Ukoliko je osoba u toku radnog vremena izložena dejstvu više od jednog izvora vibracija koje se na telo prenose preko šake, tada se ukupna dnevna izloženost vibracijama određuje na osnovu proračunavanja pojedinih (parcijalnih) izloženosti vibracijama usled korišćenja svakog od izvora vibracija:

$$A(8) = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i(8)^2} = \sqrt{A(8)_1^2 + A(8)_2^2 + A(8)_3^2 + \dots};$$

$$A(8)_i = a_{v,i} \sqrt{\frac{T_i}{T_0}} \quad [\text{m/s}^2].$$

Za dati primer je dnevna izloženost radnika vibracijama usled rada sa pojedinim alatima $A(8)_i$ izračunata na osnovu prethodnog izraza i prikazana u tabeli.

i	Vrsta ručnog alata	Izmerena vrednost vibracija na rukohvatu alata $a_{v,i} [\text{m/s}^2]$	Vreme rada sa pojedinim alatom $T_i [\text{h}]$	Dnevna izloženost vibracijama $A(8)_i [\text{m/s}^2]$
1	Bušilica	4	2.5	2.2
2	Brusilica	3	1	1.1
3	Pneumatski čekić	20	0.25	3.5

Ukupna dnevna izloženost radnika vibracijama u datim uslovima iznosi:

$$A(8) = \sqrt{A(8)_1^2 + A(8)_2^2 + A(8)_3^2} = \sqrt{2.2^2 + 1.1^2 + 3.5^2} = 4.3 [\text{m/s}^2]$$

$$A(8)_{\text{akc.}} = 2.5 \text{ m/s}^2, \quad A(8)_{\text{gr.}} = 5 \text{ m/s}^2$$

$A(8) > A(8)_{\text{akc.}} \Rightarrow$ Obavezno korišćenje LZO tipa antivibracionih rukavica određenih karakteristika ili smanjenje vremena korišćenja alata do ispunjenja uslova $A(8) < A(8)_{\text{akc.}}$ kada korišćenje LZO nije neophodno.

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 3

Odrediti dnevnu izloženost radnika vibracijama koji u toku osmočasovnog radnog vremena upravlja 6.5 sati kombajnom, a izmerene vrednosti vibracija na sedištu u pojedinim pravcima iznose:

$$x\text{-osa: } a_{wx} = 0.20 \text{ [m/s}^2\text{]},$$

$$y\text{-osa: } a_{wy} = 0.40 \text{ [m/s}^2\text{]},$$

$$z\text{-osa: } a_{wz} = 0.25 \text{ [m/s}^2\text{]}.$$

Rešenje:

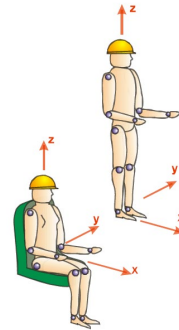
Dnevna izloženost vibracijama $A(8)$ kada se u toku 8-časovnog radnog vremena koristi samo jedno sredstvo rada, određuje se na sledeći način:

1. Na osnovu podataka proizvođača opreme ili na osnovu merenja se utvrđuju tri frekvencijski ponderisane efektivne (RMS) vrednosti ubrzanja vibracija u tri međusobno upravna pravca: a_{wx} , a_{wy} i a_{wz} .
2. Određuje se dnevna izloženost vibracijama za svaki od tri ortogonalna pravca x , y i z :

$$A_x(8) = 1.4 a_{wx} \sqrt{\frac{T_{\text{exp}}}{T_0}} \text{ [m/s}^2\text{]},$$

$$A_y(8) = 1.4 a_{wy} \sqrt{\frac{T_{\text{exp}}}{T_0}} \text{ [m/s}^2\text{]},$$

$$A_z(8) = a_{wz} \sqrt{\frac{T_{\text{exp}}}{T_0}} \text{ [m/s}^2\text{]}.$$



gde je: T_{exp} [h] – vreme izloženosti vibracijama u toku radnog vremena od 8 sati,

T_0 [h] – referentno vreme od 8 sati.

3. Najveća od dobijenih vrednosti za $A_x(8)$, $A_y(8)$ i $A_z(8)$ predstavlja dnevnu izloženost vibracijama.

Za dati primer, pošto su frekvencijski ponderisane efektivne (RMS) vrednosti ubrzanja vibracija u tri međusobno upravna pravca poznate, određuje se dnevna izloženost osobe vibracijama za svaki od pravaca x , y i z :

$$A_x(8) = 1.4 \cdot 0.2 \sqrt{\frac{6.5}{8}} = 0.25 \text{ [m/s}^2\text{]},$$

$$A_y(8) = 1.4 \cdot 0.4 \sqrt{\frac{6.5}{8}} = 0.50 \text{ [m/s}^2\text{]} = A(8),$$

$$A_z(8) = 0.25 \sqrt{\frac{6.5}{8}} = 0.23 \text{ [m/s}^2\text{]}.$$

Dnevna izloženost vibracijama $A(8)$ odgovara najvećoj od vrednosti od $A_x(8)$, $A_y(8)$ i $A_z(8)$. U datom slučaju je najveća vrednost dnevne izloženosti vibracijama u y pravcu, iznosi 0.5 m/s^2 i podudara se sa akcionom vrednošću, kada je potrebno preduzeti odgovarajuće mere za praćenje stanja izloženosti tela radnika vibracijama pri upravljanju mašinom.

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 4

Odrediti dnevnu izloženost radnika vibracijama koji svakog dana u toku radnog vremena koristi jedan sat mali viljuškar za utovar robe u kamion kojim zatim vrši distribuciju robe narednih šest sati. Na sedištima viljuškara i kamiona su izmerene sledeće vrednosti vibracija u tri ortogonalna pravca:

	Viljuškar	Kamion
$a_{wx} \text{ [m/s}^2\text{]}$	0.5	0.2
$a_{wy} \text{ [m/s}^2\text{]}$	0.3	0.3
$a_{wz} \text{ [m/s}^2\text{]}$	0.9	0.3

Rešenje:

Ukoliko je osoba u toku 8-časovnog radnog vremena izložena dejstvu više izvora vibracija zbog korišćenja dve ili više različitih mašina tokom radne aktivnosti, potrebno je na osnovu vrednosti vibracija (izmerenih na sedištu ili stajalištu) i trajanja izloženosti izračunati parcijalne (pojedinačne) dnevne izloženosti za svaku od osa x , y i z . Ukupna dnevna izloženost osobe vibracijama $A(8)$ se određuje za svaku osu posebno, uzimajući u obzir vrednost vibracija u određenom pravcu za svaku pojedinačnu aktivnost, odnosno izvor vibracija. Redosled operacija je sledeći:

1. Na osnovu podataka proizvođača opreme ili na osnovu merenja se utvrđuju frekvencijski ponderisane efektivne (RMS) vrednosti ubrzanja u tri ortogonalna pravca a_{wx} , a_{wy} i a_{wz} za svako sredstvo ili vozilo koje je izvor vibracija;
2. Za svako sredstvo ili vozilo se određuje parcijalna dnevna izloženost vibracijama u tri ortogonalna pravca x , y i z :

$$A_{x,i}(8) = 1.4 a_{wx,i} \sqrt{\frac{T_{\text{exp } i}}{T_0}} \text{ [m/s}^2\text{]},$$

$$A_{y,i}(8) = 1.4 a_{wy,i} \sqrt{\frac{T_{\text{exp } i}}{T_0}} \text{ [m/s}^2\text{]},$$

$$A_{z,i}(8) = a_{wz,i} \sqrt{\frac{T_{\text{exp } i}}{T_0}} \text{ [m/s}^2\text{]}, \text{ gde je:}$$

$T_{\text{exp } i} \text{ [h]}$ – vreme izloženosti celog tela vibracijama usled rukovanja pojedinim sredstvom ili vozilom u toku radnog vremena od 8 sati;

$T_0 \text{ [h]}$ – referentno vreme od 8 sati.

Svaka od parcijalnih izloženosti vibracijama u određenom pravcu predstavlja doprinos (udeo) određenog izvora vibracija (mašine ili aktivnosti) ukupnoj dnevnoj izloženosti radnika vibracijama. Na osnovu poznatih parcijalnih vrednosti izloženosti vibracijama moguće je ustanoviti prioritete mašina ili aktivnosti sa najvećim vrednostima izloženosti vibracijama kojima treba pokloniti naročitu pažnju u smislu kontrolnih merenja vibracija.

3. Ukupna dnevna izloženost vibracijama za svaku osu x , y i z se izračunava na osnovu parcijalnih vrednosti izloženosti vibracijama za različite vrste izvora vibracija $A_{j,i}(8)$ prema izrazu:

$$A_j(8) = \sqrt{A_{j1}(8)^2 + A_{j2}(8)^2 + A_{j3}(8)^2 + \dots} \text{ [m/s}^2\text{]; } j = x, y, z \text{ [m/s}^2\text{]}$$

4. Dnevnu izloženost vibracijama predstavlja najveća od dobijenih vrednosti za $A_x(8)$, $A_y(8)$ ili $A_z(8)$.

BUKA I VIBRACIJE

Za vrednosti koje su date u zadatku, dnevne izloženosti radnika vibracijama za pojedine izvore vibracija u x , y i z pravcu iznose:

Viljuškar (1)	Kamion (2)
$A_{x,1}(8) = 1.4 \cdot 0.5 \sqrt{\frac{1}{8}} = 0.25 \text{ [m/s}^2\text{]}$	$A_{x,2}(8) = 1.4 \cdot 0.2 \sqrt{\frac{6}{8}} = 0.24 \text{ [m/s}^2\text{]}$
$A_{y,1}(8) = 1.4 \cdot 0.3 \sqrt{\frac{1}{8}} = 0.15 \text{ [m/s}^2\text{]}$	$A_{y,2}(8) = 1.4 \cdot 0.3 \sqrt{\frac{6}{8}} = 0.36 \text{ [m/s}^2\text{]}$
$A_{z,1}(8) = 0.9 \sqrt{\frac{1}{8}} = 0.32 \text{ [m/s}^2\text{]}$	$A_{z,2}(8) = 0.3 \sqrt{\frac{6}{8}} = 0.26 \text{ [m/s}^2\text{]}$

Dnevna izloženost radnika vibracijama u pojedinim pravcima iznosi:

$$A_x(8) = \sqrt{A_{x,1}(8)^2 + A_{x,2}(8)^2} = \sqrt{0.25^2 + 0.24^2} = 0.3 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$A_y(8) = \sqrt{A_{y,1}(8)^2 + A_{y,2}(8)^2} = \sqrt{0.15^2 + 0.36^2} = 0.4 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$A_z(8) = \sqrt{A_{z,1}(8)^2 + A_{z,2}(8)^2} = \sqrt{0.32^2 + 0.26^2} = 0.4 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

Dnevna izloženost vozača vibracijama odgovara najvećoj vrednosti izloženosti vibracijama u nekom od pravaca x , y ili z . Za dati primer, najveću vrednost imaju dnevne izloženosti u y i z pravcu, ona iznosi 0.4 m/s^2 i nalazi se ispod akcione vrednosti dnevne izloženosti vibracijama.

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 5

Radnik koristi u toku osmočasovnog radnog vremena ručnu bušilicu ukupno 2 sata, ubodnu testeru ukupno 1 sat i ručni cirkular ukupno 1 sat. Radnik provodi ostatak radnog vremena na pauzi.

- Odrediti ukupnu dnevnu izloženost vibracijama i uporediti sa akcionom i graničnom vrednošću za osmočasovni period ako su izmerene vrednosti ubrzanja vibracija u pravcu pojedinih osa date u tabeli.
- Izračunati vreme korišćenja cirkulara tako da vrednost ukupne dnevne izloženosti vibracijama ne pređe graničnu vrednost dnevne izloženosti vibracijama.

	Bušilica	Testera	Cirkular
$a_{wx} [m/s^2]$	3	4	5
$a_{wy} [m/s^2]$	2	2	4
$a_{wz} [m/s^2]$	6	2	2

Rešenje:

	Bušilica m = 1	Testera m = 2	Cirkular m = 3
$a_{wx} [m/s^2]$	3	4	5
$a_{wy} [m/s^2]$	2	2	4
$a_{wz} [m/s^2]$	6	2	2
$T_e [h]$	2	1	1
$a_{vm} [m/s^2]$	7.00	4.90	6.71
$A(8)_m [m/s^2]$	3.50	1.73	2.37
$A(8) [m/s^2]$	4.57		

a)

$$a_{v,m} = \sqrt{a_{wx,m}^2 + a_{wy,m}^2 + a_{wz,m}^2}$$

$$A(8)_m = a_{v,m} \sqrt{\frac{T_{e,m}}{T_0}}, \quad T_0 = 8h$$

$$A(8) = \sqrt{A(8)_1^2 + A(8)_2^2 + A(8)_3^2}$$

$$A(8)_{akc.} < A(8) < A(8)_{gr.}$$

$$2.5 < 4.57 < 5 \text{ m/s}^2$$

b)

$$5 = \sqrt{3.5^2 + 1.73^2 + 6.71^2 \frac{T'_{e,C}}{8}}$$

$$25 = 12.25 + 3 + 5.63 T'_{e,C}$$

$$T'_{e,C} = 1.732h = 1h \ 44min.$$

BUKA I VIBRACIJE

ZADATAK 6

Radnik u mašinskoj radionici koristi u toku rada četiri ručne električne mašine. U tabeli su dati sledeći podaci: ukupna vremena upotrebe pojedinih mašina u toku osmočasovnog radnog vremena, izmerene vrednosti ekvivalentnih nivoa buke tokom rukovanja pojedinim mašinama, tokom pripremnih radnji i pauza, kao i izmerene ukupne vrednosti vibracija na rukohvatima mašina.

Izvor buke/vibracija, Aktivnost	i	$T_{e,i}$ [h]	$L_{Aeq,i}$ [dB]	$a_{v,i}$ [m/s ²]
Mašina 1	1	2.0	90	5
Mašina 2	2	1.5	85	7
Mašina 3	3	1.0	95	6
Mašina 4	4	0.5	105	15
Priprema	5	2.0	80	-
Pauza	6	1.0	60	-

Ukoliko radnik prilikom korišćenja mašina i obavljanja navedenih radnih aktivnosti ne koristi ličnu zaštitnu opremu, izračunati:

- vrednosti parcijalnih nivoa dnevne izloženosti buci za pojedine mašine i aktivnosti,
- vrednost ukupnog nivoa dnevne izloženosti buci,
- dnevnu izloženost radnika vibracijama.

Dobijene vrednosti uporediti sa odgovarajućim akcionim vrednostima koje ukazuju na obavezu korišćenja lične zaštitne opreme.

Rešenje:

a)

i	$T_{e,i}$ [h]	$L_{Aeq,i}$ [dB]	$a_{v,i}$ [m/s ²]	$L_{A,EX,8h,i} = L_{Aeq,i} + 10 \log \frac{T_{e,i}}{T_0}$ [dB]	$A(8)_i = a_{v,i} \sqrt{\frac{T_{e,i}}{T_0}}$ [m/s ²]
1	2.0	90	5	84.0	2.50
2	1.5	85	7	77.7	3.03
3	1.0	95	6	86.0	2.12
4	0.5	105	15	93.0	3.75
5	2.0	80	-	74.0	-
6	1.0	60	-	51.0	-

b) $L_{A,EX,8h} = 10 \log(10^{8.4} + 10^{7.77} + 10^{8.6} + 10^{9.3} + 10^{7.4} + 10^{5.1}) = 94.3 \text{ dB} > 83 \text{ dB}$, ili:

$$L_{A,EX,8h} = 10 \log\left(\frac{2}{8}10^9 + \frac{1.5}{8}10^{8.5} + \frac{1}{8}10^{9.5} + \frac{0.5}{8}10^{10.5} + \frac{2}{8}10^8 + \frac{1}{8}10^6\right) = 94.3 \text{ dB} > 83 \text{ dB}$$

c) $A(8) = \sqrt{A(8)_1^2 + A(8)_2^2 + A(8)_3^2 + A(8)_4^2} = 5.83 \text{ m/s}^2 > 2.5 \text{ m/s}^2 = A(8)_{akc.}$