

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ZAGREB

Buka zrakoplova

Zbirka zadataka i upute za laboratorijske vježbe

ZAGREB, lipanj 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

ZAVOD ZA AERONAUTIKU
KATEDRA ZA AVIONIKU I NAVIGACIJU

Buka zrakoplova
Zbirka zadataka i upute za laboratorijske vježbe

dr. sc. Jurica Ivošević

ZAGREB, lipanj 2018.

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

RECENZENTI:

prof. dr. sc. Tino Bucak

izv. prof. dr. sc. Anita Domitrović

LEKTURA:

Silvija Jurić, prof.

KOREKTURA:

dr. sc. Jurica Ivošević

Zabranjen je ispis ove zbirke u cjelini ili u dijelovima bez pisane dozvole izdavača.
Sva prava pridržana.

ISBN 978-953-243-103-2

Predgovor

Ova zbirka zadataka i upute za laboratorijske vježbe tematski pokrivaju dio kolegija „Zrakoplovne emisije“ koji pohađaju studenti prvog semestra diplomskog studija na Fakultetu prometnih znanosti, smjer Aeronautika.

Priručnik prati nastavni plan i program navedenog kolegija u dijelu koji se odnosi na proračun fizikalnih veličina karakterističnih za opis i djelovanje buke zrakoplova i pisana je poglavito radi lakšeg praćenja i usvajanja predviđenoga gradiva auditornih i laboratorijskih vježbi.

Većina zadataka djelo je autora, dok je manji broj preuzet, uz odgovarajuću prilagodbu, iz publikacija navedenih u popisu literature.

Zagreb, lipanj 2018.

Autor

Sadržaj

1. Zbirka zadataka	1
1.1. Riješeni primjeri	1
1.2. Zadaci za vježbu	18
1.3. Rješenja zadataka za vježbu	20
2. Upute za laboratorijske vježbe	21
2.1. Podatci o studentu	21
2.2. Priprema za vježbu	21
2.2.1. Uvod	21
2.2.2. Karakteristične veličine	21
2.2.3. Pojmovi	23
2.2.4. Zadaci	24
2.3. Laboratorijska vježba	28
2.3.1. Mjerenje unutarnje (kabinske) buke	28
2.3.2. Mjerenje vanjske buke	31
3. Kazalo oznaka i kratica	33
4. Literatura	36

1. Zbirka zadataka

1.1. Riješeni primjeri

Zadatak 1. Ako je izmjerena razina zvučnog tlaka (engl. Sound Pressure Level – SPL) u kokpitu malog zrakoplova 81,6 dB, koliki je njegov iznos te iznos pripadajućeg intenziteta i njegove razine? Za izračun brzine zvuka i gustoće zraka uzeti tlak zraka 101,325 kPa i temperaturu 20 °C.

$$L_p = 81,6 \text{ dB}$$

$$p_a = 101,325 \text{ kPa}$$

$$t = 20 \text{ °C} \rightarrow T = 20 + 273,15 = 293,15 \text{ K}$$

$$p, I, L_I = ?$$

Razina zvučnog tlaka L_p može se odrediti prema izrazu:

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0}, \quad (1)$$

gdje je:

p – zvučni tlak [Pa],

p_0 – referentni zvučni tlak 20 μPa.

Zvučni tlak kojemu odgovara razina $L_p = 81,6 \text{ dB}$, koristeći izraz (1), iznosi:

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} / 20,$$

$$\frac{L_p}{20} = \log \frac{p}{p_0} / 10^{\wedge},$$

$$\frac{p}{p_0} = 10^{\frac{L_p}{20}},$$

$$p = p_0 \cdot 10^{\frac{L_p}{20}} = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{\frac{81,6}{20}} = 240,45 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} = 240,45 \text{ mPa}.$$

Pripadajući zvučni intenzitet I može se odrediti prema izrazu:

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c}, \quad (2)$$

gdje je:

ρ – gustoća zraka [kg/m^3] i

c – brzina zvuka u zraku [m/s].

Gustoća zraka ρ može se odrediti korištenjem jednadžbe stanja idealnog plina:

$$\rho = \frac{p}{R \cdot T}, \quad (3)$$

gdje je:

R – plinska konstanta za suhi zrak 287,058 J/kgK,

p – tlak [Pa],

T – temperatura [K].

Gustoća zraka, koristeći izraz (3), iznosi:

$$\rho = \frac{p}{R \cdot T} = \frac{101,325 \cdot 10^3}{287,058 \cdot 293,15} = 1,2041 \text{ kgm}^{-3}.$$

Brzina zvuka u plinu c može se odrediti prema izrazu:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma \cdot p}{\rho}}, \quad (4)$$

gdje je:

p – tlak plina [Pa],

ρ – gustoća plina [kg/m^3] i

γ – adijabatska konstanta plina (za zrak iznosi 1,4).

Brzina zvuka u zraku, koristeći izraz (4), iznosi:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma \cdot p}{\rho}} = \sqrt{\frac{1,4 \cdot 101325}{1,2041}} = 343,23 \text{ m/s}.$$

Pripadajući zvučni intenzitet, koristeći (2), iznosi:

$$I = \frac{p^2}{\rho \cdot c} = \frac{(240,45 \cdot 10^{-3})^2}{1,2041 \cdot 343,23} = 1,399 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2.$$

Razina zvučnog intenziteta L_I može se odrediti prema izrazu:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}, \quad (5)$$

gdje je:

I – zvučni intenzitet [W/m^2],

I_0 – referentni zvučni intenzitet $9,76 \cdot 10^{-13} \text{ W/m}^2$.

Razina zvučnog intenziteta, koristeći (5), iznosi:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{1,399 \cdot 10^{-4}}{9,76 \cdot 10^{-13}} = 81,6 \text{ dB}.$$

Valja primijetiti da je razina zvučnog tlaka i njemu pripadajuća razina zvučnog intenziteta brojčano jednaka.

Napomena: Za potrebe izračuna s dovoljnom preciznošću može se uzimati referentni zvučni intenzitet 10^{-12} W/m^2 .

Zadatak 2. Kako se promijeni razina intenziteta i razina zvučnog tlaka:

- pojedinačnog zrakoplova (kuglasti izvor) i
- većeg broja zrakoplova u formaciji kolone (linijski izvor)

ako se udaljenost od njih: poveća 2, 5 i 10 puta te smanji 2 puta?

$$r_2 = 2 r_1, \Delta L_1 = ?$$

$$r_2 = 5 r_1, \Delta L_2 = ?$$

$$r_2 = 10 r_1, \Delta L_3 = ?$$

$$r_2 = 1/2 r_1, \Delta L_4 = ?$$

Zvučni intenzitet I koji daju oba tipa izvora jednak je akustičkoj snazi P tih izvora podijeljenoj s površinom S kroz koju zrače:

$$I = \frac{P}{S}. \quad (6)$$

Od kuglastog izvora zvučni se valovi šire kuglasto pa je na udaljenosti r površina kroz koju takav izvor zrači, jednaka površini sfere. Intenzitet kuglastog izvora na udaljenosti r time postaje:

$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4r^2\pi}. \quad (7)$$

Promjena razine intenziteta (a time i zvučnog tlaka) s promjenom udaljenosti može se izraziti kao:

$$\begin{aligned} \Delta L = L_2 - L_1 &= 10 \log \frac{I_2}{I_0} - 10 \log \frac{I_1}{I_0} = 10 \log \frac{I_2}{I_1} = 10 \log \frac{I_2}{I_1} = 10 \log \frac{\frac{P}{4r_2^2\pi}}{\frac{P}{4r_1^2\pi}} \\ &= 10 \log \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 = 20 \log \frac{r_1}{r_2} \text{ [dB]}. \end{aligned} \quad (8)$$

Promjena razine intenziteta s promjenom udaljenosti od zrakoplova, koristeći (8), iznosi:

$$\Delta L_1 = 20 \log \frac{r_1}{r_2} = 20 \log \frac{r_1}{2r_1} = 20 \log \frac{1}{2} = 20 \cdot (-0,3) = -6 \text{ dB},$$

$$\Delta L_2 = 20 \log \frac{r_1}{r_2} = 20 \log \frac{r_1}{5r_1} = 20 \log \frac{1}{5} = 20 \cdot (-0,7) = -14 \text{ dB},$$

$$\Delta L_3 = 20 \log \frac{r_1}{r_2} = 20 \log \frac{r_1}{10r_1} = 20 \log \frac{1}{10} = 20 \cdot (-1) = -20 \text{ dB},$$

$$\Delta L_4 = 20 \log \frac{r_1}{r_2} = 20 \log \frac{r_1}{\frac{1}{2}r_1} = 20 \log 2 = 20 \cdot 0,3 = 6 \text{ dB}.$$

Od linijskog izvora zvučni se valovi šire cilindrično (ako je udaljenost od izvora puno manja od njegove duljine l) pa je na udaljenosti r površina kroz koju takav izvor zrači, jednaka površini plašta valjka. Intenzitet linijskog izvora na udaljenosti r time postaje:

$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{2r\pi l}. \quad (9)$$

Promjena razine intenziteta (a time i zvučnog tlaka) s promjenom udaljenosti može se izraziti kao:

$$\begin{aligned} \Delta L &= L_2 - L_1 = 10 \log \frac{I_2}{I_0} - 10 \log \frac{I_1}{I_0} = 10 \log \frac{I_2}{I_1} = 10 \log \frac{I_2}{I_1} = 10 \log \frac{\frac{P}{2r_2\pi l}}{\frac{P}{2r_1\pi l}} \\ &= 10 \log \frac{r_1}{r_2} \text{ [dB]}. \end{aligned} \quad (10)$$

Promjena razine intenziteta s promjenom udaljenosti od većeg broja zrakoplova u formaciji kolone, koristeći (10), iznosi:

$$\Delta L_1 = 10 \log \frac{r_1}{r_2} = 10 \log \frac{r_1}{2r_1} = 10 \log \frac{1}{2} = 10 \cdot (-0,3) = -3 \text{ dB},$$

$$\Delta L_2 = 10 \log \frac{r_1}{r_2} = 10 \log \frac{r_1}{5r_1} = 10 \log \frac{1}{5} = 10 \cdot (-0,7) = -7 \text{ dB},$$

$$\Delta L_3 = 10 \log \frac{r_1}{r_2} = 10 \log \frac{r_1}{10r_1} = 10 \log \frac{1}{10} = 10 \cdot (-1) = -10 \text{ dB},$$

$$\Delta L_4 = 10 \log \frac{r_1}{r_2} = 10 \log \frac{r_1}{\frac{1}{2}r_1} = 10 \log 2 = 10 \cdot 0,3 = 3 \text{ dB}.$$

Zadatak 3. Radni stroj u zrakoplovnom hangaru radi utvrđivanja zvučne snage dizalicom je podignut na veću visinu te je utvrđeno da je zvučna snaga tog stroja 1 W.

- Kolika je razina te snage?
- Kolika je razina intenziteta, odnosno zvučnog tlaka koju daje stroj na udaljenosti 10 m dok je obješen na dizalici?
- Kolika je razina intenziteta, odnosno zvučnog tlaka koju će dati stroj na udaljenosti 10 m ako ga smjestimo na betonsku podlogu?

$$P = 1 \text{ W}$$

$$r = 10 \text{ m}$$

$$L_p, L_1 = ?$$

Razina zvučne snage L_P može se odrediti prema izrazu:

$$L_P = 10 \log \frac{P}{P_0}, \quad (11)$$

gdje je:

P – zvučna snaga [W],

P_0 – referentna zvučna snaga 10^{-12} W.

Razina zvučne snage radnog stroja, koristeći (11), iznosi:

$$L_P = 10 \log \frac{P}{P_0} = 10 \log \frac{1}{10^{-12}} = 120 \text{ dB}.$$

Dok je obješen na dizalici, radni stroj zrači u slobodni prostor pa zvučni intenzitet iznosi:

$$I = \frac{P}{4r^2\pi} = \frac{1}{4 \cdot 10^2\pi} = 7,96 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2.$$

Razina intenziteta (tlaka) iznosi:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{7,96 \cdot 10^{-4}}{9,76 \cdot 10^{-13}} = 89,11 \text{ dB}.$$

Dok je smješten na betonskoj podlozi, radni stroj zrači u poluprostor pa zvučni intenzitet iznosi:

$$I = \frac{P}{2r^2\pi} = \frac{1}{2 \cdot 10^2\pi} = 1,59 \cdot 10^{-3} \text{ W/m}^2.$$

Razina intenziteta (tlaka) iznosi:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{1,59 \cdot 10^{-3}}{9,76 \cdot 10^{-13}} = 92,11 \text{ dB}.$$

Zadatak 4. Dva aerodromska izvora električne energije imaju zvučne snage 2 W i 3 W. Kolika je razina intenziteta svakog izvora te ukupna razina intenziteta u nekoj točki koja je od prvog izvora udaljena 20 m, a od drugog 40 m?

$$P_1 = 2 \text{ W}$$

$$P_2 = 3 \text{ W}$$

$$r_1 = 20 \text{ m}$$

$$r_2 = 40 \text{ m}$$

$$L_1, L_2, L_{\text{uk}} = ?$$

Taj se zadatak može riješiti na dva načina:

→ 1. način: Određivanjem ukupnog intenziteta pa njegove razine.

Zvučni intenzitet prvog izvora iznosi:

$$I_1 = \frac{P_1}{4r_1^2\pi} = \frac{2}{4 \cdot 20^2\pi} = 3,98 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2.$$

Razina intenziteta prvog izvora iznosi:

$$L_{I1} = 10 \log \frac{I_1}{I_0} = 10 \log \frac{3,98 \cdot 10^{-4}}{9,76 \cdot 10^{-13}} = 86,1 \text{ dB}.$$

Zvučni intenzitet drugog izvora iznosi:

$$I_2 = \frac{P_2}{4r_2^2\pi} = \frac{3}{4 \cdot 40^2\pi} = 1,49 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2.$$

Razina intenziteta drugog izvora iznosi:

$$L_{I2} = 10 \log \frac{I_2}{I_0} = 10 \log \frac{1,49 \cdot 10^{-4}}{9,76 \cdot 10^{-13}} = 81,8 \text{ dB}.$$

Ukupan intenzitet u promatranoj točki:

$$I_{\text{uk}} = I_1 + I_2 = 3,98 \cdot 10^{-4} + 1,49 \cdot 10^{-4} = 5,47 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2.$$

Ukupna razina intenziteta:

$$L_{\text{uk}} = 10 \log \frac{I_{\text{uk}}}{I_0} = 10 \log \frac{5,47 \cdot 10^{-4}}{9,76 \cdot 10^{-13}} = 87,5 \text{ dB}.$$

→ 2. način: Zbrajanjem razina intenziteta pojedinih izvora.

Ukupna razina intenziteta dobivena djelovanjem više izvora može se izračunati iz razina pojedinih izvora na sljedeći način:

$$I_{\text{uk}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n,$$

$$L_{\text{Iuk}} = 10 \log \frac{I_{\text{uk}}}{I_0} = 10 \log \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_n}{I_0} = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} + \frac{I_2}{I_0} + \dots + \frac{I_n}{I_0} \right),$$

$$L_1 = 10 \log \frac{I}{I_0} \rightarrow \frac{I}{I_0} = 10^{\frac{L_1}{10}}.$$

Slijedi:

$$L_{\text{Iuk}} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{11}}{10}} + 10^{\frac{L_{12}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{1n}}{10}} \right) \quad (12)$$

ili

$$10^{\frac{L_{\text{Iuk}}}{10}} = 10^{\frac{L_{11}}{10}} + 10^{\frac{L_{12}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{1n}}{10}}. \quad (13)$$

Bez obzira na to radi li se o zvučnim tlakovima ili intenzitetima, ukupna razina računa se iz pojedinih razina prema izrazu (12) ili (13).

Razine intenziteta prvog i drugog izvora izračunaju se kao i u prethodnom načinu:

$$I_1 = \frac{P_1}{4r_1^2\pi} = \frac{2}{4 \cdot 20^2\pi} = 3,98 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2,$$

$$L_{11} = 10 \log \frac{I_1}{I_0} = 10 \log \frac{3,98 \cdot 10^{-4}}{9,76 \cdot 10^{-13}} = 86,1 \text{ dB},$$

$$I_2 = \frac{P_2}{4r_2^2\pi} = \frac{3}{4 \cdot 40^2\pi} = 1,49 \cdot 10^{-4} \text{ W/m}^2,$$

$$L_{12} = 10 \log \frac{I_2}{I_0} = 10 \log \frac{1,49 \cdot 10^{-4}}{9,76 \cdot 10^{-13}} = 81,8 \text{ dB}.$$

Ukupna razina, koristeći (12), iznosi:

$$L_{\text{Iuk}} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{11}}{10}} + 10^{\frac{L_{12}}{10}} \right) = 10 \log \left(10^{\frac{86,1}{10}} + 10^{\frac{81,8}{10}} \right) = 87,5 \text{ dB}.$$

Valja primijetiti da ukupna razina nije jednaka zbroju razina pojedinih izvora:

$$L_{\text{luk}} \neq L_{11} + L_{12} !$$

Zadatak 5. Izmjerene razine zvučnog tlaka u tercnim pojasevima centralnih frekvencija 400 Hz, 500 Hz i 630 Hz iznose redom 72 dB, 74 dB i 68 dB. Koliko iznosi ukupna razina zvučnog tlaka u oktavnom pojasa centralne frekvencije 500 Hz? Koliko iznose donja i gornja granična frekvencija tercnih pojaseva i oktavnog pojasa?

$$f_{0\text{terc1}} = 400 \text{ Hz}$$

$$f_{0\text{terc2}} = 500 \text{ Hz}$$

$$f_{0\text{terc3}} = 630 \text{ Hz}$$

$$L_{\text{terc1}} = 72 \text{ dB}$$

$$L_{\text{terc2}} = 74 \text{ dB}$$

$$L_{\text{terc3}} = 68 \text{ dB}$$

$$f_{0\text{oct}} = 500 \text{ Hz}$$

$$L_{\text{oct}} = ?$$

$$f_{\text{terc1}_1}, f_{\text{terc1}_2}, f_{\text{terc2}_1}, f_{\text{terc2}_2}, f_{\text{terc3}_1}, f_{\text{terc3}_2} = ?$$

$$f_{\text{oct1}}, f_{\text{oct2}} = ?$$

U analizi zvuka najčešće korišteni frekvencijski pojasevi su pojasevi širine 1/1 oktave i pojasevi širine terce, tj. 1/3 oktave. Općenito, za frekvencijski pojas širine 1/n oktave, vrijedi:

$$f_2 = 2^{\frac{1}{n}} \cdot f_1, \quad (14)$$

$$f_1 = \frac{f_0}{2^{\frac{1}{2n}}}, \quad (15)$$

$$f_2 = f_0 \cdot 2^{\frac{1}{2n}}, \quad (16)$$

gdje je:

f_0 – centralna frekvencija pojasa [Hz],

f_1 – donja granična frekvencija pojasa [Hz],

f_2 – gornja granična frekvencija pojasa [Hz].

Oktavni pojas određene centralne frekvencije sadrži terčni pojas iste centralne frekvencije te njemu susjedne terčne pojaseve pa je ukupna razina zvučnog tlaka u oktavnom pojasu centralne frekvencije 500 Hz:

$$\begin{aligned} L_{\text{oct}} &= 10 \log \left(10^{\frac{L_{\text{terc1}}}{10}} + 10^{\frac{L_{\text{terc2}}}{10}} + 10^{\frac{L_{\text{terc3}}}{10}} \right) = \\ &= 10 \log \left(10^{\frac{72}{10}} + 10^{\frac{74}{10}} + 10^{\frac{68}{10}} \right) = 76,7 \text{ dB.} \end{aligned}$$

Donja i gornja granična frekvencija oktavnog pojasa, koristeći (15) i (16), iznose:

$$f_{\text{oct1}} = \frac{f_{0\text{oct}}}{2^{\frac{1}{2}}} = \frac{500}{2^{\frac{1}{2}}} = 353,55 \text{ Hz,}$$

$$f_{\text{oct2}} = f_{0\text{oct}} \cdot 2^{\frac{1}{2}} = 500 \cdot 2^{\frac{1}{2}} = 707,11 \text{ Hz.}$$

Donje i gornje granične frekvencije susjednih terčnih pojaseva, koristeći (14), iznose:

$$f_{\text{terc1}_1} = f_{\text{oct1}} = 353,55 \text{ Hz,}$$

$$f_{\text{terc1}_2} = f_{\text{terc1}_1} \cdot 2^{\frac{1}{3}} = 353,55 \cdot 2^{\frac{1}{3}} = 445,45 \text{ Hz,}$$

$$f_{\text{terc2}_1} = f_{\text{terc1}_2} = 445,45 \text{ Hz,}$$

$$f_{\text{terc2}_2} = f_{\text{terc2}_1} \cdot 2^{\frac{1}{3}} = 445,45 \cdot 2^{\frac{1}{3}} = 561,23 \text{ Hz,}$$

$$f_{\text{terc3}_1} = f_{\text{terc2}_2} = 561,23 \text{ Hz,}$$

$$f_{\text{terc3}_2} = f_{\text{oct2}} = 707,11 \text{ Hz.}$$

Zadatak 6. Izmjerene A- vrednovane razine zvučnog tlaka po oktavama u kokpitu zrakoplova Mig-21 u režimu maksimalne kontinuirane snage (engl. Maximum Continuous Power – MCP) prikazane su u tablici. S obzirom na zadanu korekciju A-karakteristike po oktavama, odredite nevrednovane (neponderirane) razine zvučnog tlaka i upišite ih u tablicu. Kolika je ukupna razina zvučnog tlaka prije, L_p (dBZ), a kolika poslije A filtriranja, L_p (dBA)?

Centralna frekvencija oktave (Hz)	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
Razina zvučnog tlaka (dBA)	101,5	96,8	92,5	98,8	99,6	96,3	89,1	81,8	73,2	64,2
Vrijednosti težinskih korekcija kod A filtriranja (dB)	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	-6,6
Razina zvučnog tlaka (dBZ)	140,9	123	108,6	107,4	102,8	96,3	87,9	80,8	74,3	70,8

$$L_{uk}(dBA) = ?$$

$$L_{uk}(dBZ) = ?$$

Nevrednovane razine zvučnog tlaka po oktavama dobiju se tako da se od izmjerenih A- vrednovanih razina oduzmu vrijednosti težinskih korekcija.

Ukupna izmjerena A- vrednovana razina zvučnog tlaka iznosi:

$$L_{uk} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{oct1}}{10}} + 10^{\frac{L_{oct2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{oct10}}{10}} \right) =$$

$$L_{uk} = 10 \log \left(10^{\frac{101,5}{10}} + 10^{\frac{96,8}{10}} + 10^{\frac{92,5}{10}} + 10^{\frac{98,8}{10}} + 10^{\frac{99,6}{10}} + 10^{\frac{96,3}{10}} + 10^{\frac{89,1}{10}} + 10^{\frac{81,8}{10}} + 10^{\frac{73,2}{10}} + 10^{\frac{64,2}{10}} \right) = 106,3 \text{ dBA.}$$

Ukupna nevrednovana razina zvučnog tlaka iznosi:

$$L_{uk} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{oct1}}{10}} + 10^{\frac{L_{oct2}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{oct10}}{10}} \right) =$$

$$L_{uk} = 10 \log \left(10^{\frac{140,9}{10}} + 10^{\frac{123}{10}} + 10^{\frac{108,6}{10}} + 10^{\frac{107,4}{10}} + 10^{\frac{102,8}{10}} + 10^{\frac{96,3}{10}} + 10^{\frac{87,9}{10}} + 10^{\frac{80,8}{10}} + 10^{\frac{74,3}{10}} + 10^{\frac{70,8}{10}} \right) = 141 \text{ dBZ.}$$

Zadatak 7. Izračunajte osnovne frekvencije tonalnih komponenti propelera (engl. Blade Pass Frequency – BPF) za tri karakteristične postavke snage motora (900 okr/min, 1500 okr/min i 2400 okr/min) jednomotornih elisnoklipnih zrakoplova Cessne 172N (dvokraki propeler) i Cessne FR172F (trokraki propeler).

$$N_{R1} = 900 \text{ okr/min}$$

$$N_{R2} = 1500 \text{ okr/min}$$

$$N_{R3} = 2400 \text{ okr/min}$$

$$N_{B1} = 2$$

$$N_{B2} = 3$$

$$f_0 = ?$$

Osnovna frekvencija tonalne komponente propelera može se odrediti prema izrazu:

$$f_0 = \frac{N_R N_B}{60} \text{ [Hz]}, \quad (17)$$

gdje je:

f_0 – osnovna frekvencija tonalne komponente buke propelera [Hz],

N_R – brzina vrtnje propelera (engl. Propeller Rotational Speed) [okr/min],

N_B – broj krakova propelera (engl. Number of Propeller Blades).

Osnovna frekvencija tonalne komponente propelera zrakoplova Cessne 172N za tri karakteristične postavke snage motora, koristeći (17), iznosi redom:

$$f_{01} = \frac{N_{R1} N_{B1}}{60} = \frac{900 \cdot 2}{60} = 30 \text{ Hz},$$

$$f_{02} = \frac{N_{R2} N_{B1}}{60} = \frac{1500 \cdot 2}{60} = 50 \text{ Hz},$$

$$f_{03} = \frac{N_{R3} N_{B1}}{60} = \frac{2400 \cdot 2}{60} = 80 \text{ Hz}.$$

Osnovna frekvencija tonalne komponente propelera zrakoplova Cessne FR172F za tri karakteristične postavke snage motora, koristeći (17), iznosi redom:

$$f_{01} = \frac{N_{R1} N_{B2}}{60} = \frac{900 \cdot 3}{60} = 45 \text{ Hz},$$

$$f_{02} = \frac{N_{R2} N_{B2}}{60} = \frac{1500 \cdot 3}{60} = 75 \text{ Hz},$$

$$f_{03} = \frac{N_{R3} N_{B2}}{60} = \frac{2400 \cdot 3}{60} = 120 \text{ Hz.}$$

Zadatak 8. Nepokretnom stanicom za nadzor buke (engl. Noise Monitoring Terminal – NMT), smještenom neposredno uz uzletno-sletnu stazu, izmjerene su i dane u tablici ekvivalentne razine buke za svaki sat tijekom jedne godine. Izračunajte ekvivalentnu razinu buke u promatranoj godini, L_{eq} , i ekvivalentnu razinu buke u zajednici (engl. Community Noise Equivalent Level – CNEL), CNEL ili L_{den} (engl. Day Evening Night Sound Level). Za izračun je potrebno uzeti standardnu vremensku podjelu u EU-u: dan 7 – 19 h, večer 19 – 23 h i noć 23 – 7 h.

Vrijeme [h]	L_{eq} [dB]	Vrijeme [h]	L_{eq} [dB]
00:00 – 01:00	55,8	12:00 – 13:00	65,3
01:00 – 02:00	56,5	13:00 – 14:00	67,8
02:00 – 03:00	53,6	14:00 – 15:00	68,0
03:00 – 04:00	50,2	15:00 – 16:00	69,2
04:00 – 05:00	54,3	16:00 – 17:00	71,5
05:00 – 06:00	59,8	17:00 – 18:00	65,8
06:00 – 07:00	60,2	18:00 – 19:00	58,7
07:00 – 08:00	62,8	19:00 – 20:00	56,3
08:00 – 09:00	63,4	20:00 – 21:00	56,4
09:00 – 10:00	65,7	21:00 – 22:00	55,9
10:00 – 11:00	65,9	22:00 – 23:00	56,1
11:00 – 12:00	66,2	23:00 – 24:00	55,8

Dan: 7 h – 19 h

Večer: 19 h – 23 h

Noć: 23 h – 7 h

$L_{eq}, L_{den} = ?$

Ekvivalentna razina buke u promatranoj godini iznosi:

$$L_{eq} = 10 \log \left(10^{\frac{L_{eq00:00-1:00}}{10}} + 10^{\frac{L_{eq1:00-2:00}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{eq23:00-24:00}}{10}} \right) =$$

$$L_{eq} = 10 \log \left(10^{\frac{55,8}{10}} + 10^{\frac{56,5}{10}} + \dots + 10^{\frac{55,8}{10}} \right) = 64,3 \text{ dB.}$$

Ekvivalentna razina buke u zajednici, *CNEL* ili L_{den} , različito vrednuje (penalizira buku u večernjim i noćnim satima) ekvivalentnu buku u 3 različita doba dana i može se odrediti prema izrazu:

$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} [12 \cdot 10^{0,1L_d} + 4 \cdot 10^{0,1(L_e+5)} + 8 \cdot 10^{0,1(L_n+10)}], \quad (18)$$

gdje je:

L_d – A- vrednovana ekvivalentna razina buke utvrđivana svakog dana (7 h – 19 h) tijekom jedne godine [dB],

L_e – A- vrednovana ekvivalentna razina buke utvrđivana svake večeri (19 h – 23 h) tijekom jedne godine [dB],

L_n – A- vrednovana ekvivalentna razina buke utvrđivana svake noći (23 h – 7 h) tijekom jedne godine [dB].

A- vrednovana ekvivalentna razina buke utvrđivana svakog dana (7 h – 19 h) tijekom jedne godine iznosi:

$$L_d = 10 \log \left(10^{\frac{L_{eq7:00-8:00}}{10}} + 10^{\frac{L_{eq8:00-9:00}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{eq18:00-19:00}}{10}} \right) =$$

$$L_d = 10 \log \left(10^{\frac{55,8}{10}} + 10^{\frac{56,5}{10}} + \dots + 10^{\frac{58,7}{10}} \right) = 66,9 \text{ dB.}$$

A- vrednovana ekvivalentna razina buke utvrđivana svake večeri (19 h – 23 h) tijekom jedne godine iznosi:

$$L_e = 10 \log \left(10^{\frac{L_{eq19:00-20:00}}{10}} + 10^{\frac{L_{eq20:00-21:00}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{eq22:00-23:00}}{10}} \right) =$$

$$L_e = 10 \log \left(10^{\frac{56,3}{10}} + 10^{\frac{56,4}{10}} + 10^{\frac{55,9}{10}} + 10^{\frac{56,1}{10}} \right) = 56,2 \text{ dB.}$$

A- vrednovana ekvivalentna razina buke utvrđivana svake noći (23 h – 7 h) tijekom jedne godine iznosi:

$$L_n = 10 \log \left(10^{\frac{L_{eq23:00-24:00}}{10}} + 10^{\frac{L_{eq00:00-1:00}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{eq6:00-7:00}}{10}} \right) =$$

$$L_n = 10 \log \left(10^{\frac{55,8}{10}} + 10^{\frac{55,8}{10}} + \dots + 10^{\frac{60,2}{10}} \right) = 56,8 \text{ dB.}$$

Ekvivalentna razina buke u zajednici, koristeći (18), iznosi:

$$L_{\text{den}} = 10 \log \frac{1}{24} [12 \cdot 10^{0,1L_d} + 4 \cdot 10^{0,1(L_e+5)} + 8 \cdot 10^{0,1(L_n+10)}] =$$

$$L_{\text{den}} = 10 \log \frac{1}{24} [12 \cdot 10^{0,1 \cdot 66,9} + 4 \cdot 10^{0,1(56,2+5)} + 8 \cdot 10^{0,1(56,8+10)}] =$$

$$L_{\text{den}} = 66,3 \text{ dB.}$$

Zadatak 9. Kolika je doza buke koju primi radnik u zrakoplovnom hangaru koji radi 2 sata pri buci od 86 dBA, 5 sati pri buci 79 dBA i 1 sat pri buci 87 dBA? Kriterij razine zvuka neka je 85 dBA, uz zakon promjene 3 dB.

$$T_1 = 2 \text{ h}$$

$$L_1 = 86 \text{ dBA}$$

$$T_2 = 5 \text{ h}$$

$$L_2 = 79 \text{ dBA}$$

$$T_3 = 1 \text{ h}$$

$$L_3 = 87 \text{ dBA}$$

$$L_c = 85 \text{ dBA}$$

$$n = 3 \text{ dB}$$

$$D = ?$$

Doza izloženosti buci može se odrediti prema izrazu:

$$D = \frac{100}{T_n} \sum_{i=1}^N (T_i) 10^{[(L_i - L_c)/q]}, \quad (19)$$

gdje je:

D – doza izražena kao postotak dopuštene dnevne doze,

T_n – normalizirani vremenski period (obično 8 sati),

T_i – trajanje i -tog vremenskog perioda,

L_i – ekvivalentna razina zvučnog tlaka u i - tom vremenskom periodu,

L_c – kriterij razine zvuka (obično 85 ili 90 dBA),

q – bezdimenzionalni broj koji određuje promjenu kroz vrijeme; $q = n/\log 2$, za n dB zakon promjene,

N – broj intervala.

Doza buke koju primi radnik u zrakoplovnom hangaru, koristeći (19), iznosi:

$$D = \frac{100}{T_n} \sum_{i=1}^N (T_i) 10^{[(L_i - L_c)/q]} = \frac{100}{8} \sum_{i=1}^3 (T_i) 10^{\left[\frac{L_i - 85}{3/\log 2}\right]} =$$

$$D = \frac{100}{8} \left(2 \cdot 10^{\frac{86-85}{3/\log 2}} + 5 \cdot 10^{\frac{79-85}{3/\log 2}} + 1 \cdot 10^{\frac{87-85}{3/\log 2}} \right) =$$

$$D = \frac{100}{8} \left(2 \cdot 10^{\frac{1}{9,97}} + 5 \cdot 10^{\frac{-6}{9,97}} + 1 \cdot 10^{\frac{2}{9,97}} \right) =$$

$$D = \frac{100}{8} (2,52 + 1,25 + 1,58) =$$

$$D = 67 \% .$$

Zadatak 10. U kokpitu Airbusa A319 izmjerena je ekvivalentna razina buke 87 dBA tijekom 3,5 sati leta koje pilot provede u njemu. Koliko iznosi dnevna osobna izloženost buci pilota? Može li pilot u istom danu odraditi još jedan let od 4 sata pri ekvivalentnoj razini buke, 86,5 dB, a da se ne prekorači dnevna osobna izloženost buci od 85 dBA?

$$T_1 = 3,5 \text{ h}$$

$$L_{eq1} = 87 \text{ dBA}$$

$$T_2 = 4 \text{ h}$$

$$L_{eq2} = 86,5 \text{ dBA}$$

$$L_{\text{ex,dmax}} = 85 \text{ dBA}$$

$$L_{\text{ex,d}} = ?$$

Dnevna osobna izloženost buci, $L_{\text{ex,d}}$, može se odrediti prema izrazu:

$$L_{\text{ex,d}} = 10 \log \left[\left(\frac{T_e}{T_0} \right) \cdot 10^{0,1 \cdot L_{\text{eq,Te}}} \right] = L_{\text{eq,Te}} + 10 \log \frac{T_e}{T_0}, \quad (20)$$

gdje je:

$L_{\text{eq,Te}}$ – A- vrednovana ekvivalentna razina buke izmjerena za vrijeme dnevnog trajanja izloženosti,

T_e – vrijeme dnevnog trajanja izloženosti,

T_0 – referentno vrijeme (8 sati), neovisno o stvarnom radnom vremenu.

Dnevna osobna izloženost buci pilota, koristeći (20), iznosi:

$$L_{\text{ex,d}} = L_{\text{eq,Te}} + 10 \log \frac{T_e}{T_0} = 87 + 10 \log \frac{3,5}{8} = 83,41 \text{ dB.}$$

Ako se uzme u obzir i drugi let, ekvivalentna razina buke za vrijeme dnevnog trajanja izloženosti iznosi:

$$L_{\text{eq,Te}} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N (T_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_i}) \right] = 10 \log \left[\frac{1}{8} (3,5 \cdot 10^{8,7} + 4 \cdot 10^{8,65}) \right] =$$

$$L_{\text{eq,Te}} = 86,46 \text{ dB.}$$

Stoga, pilot u jednom danu ne može odraditi dodatni let zbog prekoračenja dnevne osobne izloženosti buci od 85 dBA.

1.2. Zadatci za vježbu

11. Ako je izmjerena razina zvučnog tlaka u kokpitu malog zrakoplova 82,6 dB, koliki je njegov iznos te iznos pripadajućeg intenziteta i njegove razine? Za izračun brzine zvuka i gustoće zraka uzeti tlak zraka i temperaturu na visini leta 8000 ft.

12. Kako se promijeni razina intenziteta i razina zvučnog tlaka pojedinačnog zrakoplova (kuglasti izvor) i većeg broja zrakoplova u formaciji kolone (linijski izvor), ako se udaljenost od njih smanji 10 puta?

13. Radi utvrđivanja zvučne snage nekog stroja (kuglasti izvor), on je smješten u gluhu komoru te je utvrđeno da je zvučna snaga tog stroja 0,01 W.

- Kolika je razina te snage?
- Kolika je razina intenziteta, odnosno zvučnog tlaka koju daje stroj na udaljenosti od 3 m u gluhoj komori?
- Kolika je razina intenziteta, odnosno zvučnog tlaka koju će dati stroj na udaljenosti od 3 m ako ga smjestimo u polugluhu komoru?

14. Dva aerodromska izvora električne energije imaju zvučne snage 4 W i 5 W. Kolika je razina intenziteta svakog izvora te ukupna razina intenziteta u nekoj točki koja je od prvog izvora udaljena 10 m, a od drugog 30 m?

15. Centralna frekvencija oktavnog pojasa je 1000 Hz.

- Kolika je donja i gornja granična frekvencija tog pojasa?
- Ako se oktavni pojas sastoji od tri susjedna tercna pojasa, kolike su njihove granične frekvencije?

16. Donja granična frekvencija tercnog pojasa je 900 Hz. Kolika je centralna, odnosno gornja granična frekvencija tog pojasa?

17. Izračunajte ukupnu razinu zvučnog tlaka ako su izmjerene oktavne razine dane u tablici.

Centralna frekvencija [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Razina [dB]	79	80	94	100	94	94	88

18. Dva stroja u zrakoplovnom hangaru pri radu emitiraju zvuk čija razina intenziteta u nekoj točki iznosi 80 dB za prvi stroj te 40 dB za drugi stroj. Kolika je ukupna razina intenziteta?

19. Izračunajte ekvivalentnu razinu buke u promatranoj godini i ekvivalentnu razinu buke u zajednici prema podacima iz zadatka 8. Za izračun je potrebno uzeti uobičajenu vremensku podjelu u SAD-u: dan 7 – 19 h, večer 19 – 22 h i noć 22 – 7 h.

20. Kolika je doza buke koju primi pilot koji upravlja zrakoplovom 2 sata pri buci od 86 dBA, 5 sati pri buci 79 dBA i 1 sat pri buci 87 dBA? Kriterij razine zvuka neka je 90 dBA, uz zakon promjene 5 dB. Primijetite razliku u dozi u odnosu na zadatak 9.

21. U zrakoplovnom hangaru izmjerena je ekvivalentna razina buke od 86 dBA tijekom 5 sati koje radnik provede u njemu. Koliko iznosi njegova dnevna osobna izloženost buci?

22. Odredite koliko je dopušteno vrijeme rada instruktora u simulatoru letenja (engl. Full Flight Simulator – FFS) u kojemu je ekvivalentna razina buke 91 dBA, dopuštena dnevna izloženost buci 85 dBA, a referentno vrijeme 8 sati.

1.3. Rješenja zadataka za vježbu

11. $p = 269,79 \text{ mPa}$, $I = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ Wm}^{-2}$, $L = 86,64 \text{ dB}$.

12. $\Delta L_{\text{kug}} = 20 \text{ dB}$, $\Delta L_{\text{lin}} = 10 \text{ dB}$.

13. $L_p = 100 \text{ dB}$, $L_{I1} = 79,58 \text{ dB}$, $L_{I2} = 82,58 \text{ dB}$.

14. $L_{I1} = 95,13 \text{ dB}$, $L_{I2} = 86,38 \text{ dB}$, $L_{\text{uk}} = 95,68 \text{ dB}$.

15. $f_{\text{oct1}} = 707 \text{ Hz}$, $f_{\text{oct2}} = 1414 \text{ Hz}$, $f_{\text{terc1}_1} = 707 \text{ Hz}$, $f_{\text{terc1}_2} = 891 \text{ Hz}$,

$f_{\text{terc2}_1} = 891 \text{ Hz}$, $f_{\text{terc2}_2} = 1122 \text{ Hz}$, $f_{\text{terc3}_1} = 1122 \text{ Hz}$, $f_{\text{terc3}_2} = 1414 \text{ Hz}$.

16. $f_0 = 636 \text{ Hz}$, $f_1 = 450 \text{ Hz}$.

17. $L = 102,64 \text{ dB}$.

18. $L = 80 \text{ dB}$.

19. $L_{\text{eq}} = 64,3 \text{ dB}$, $L_d = 66,9 \text{ dB}$, $L_e = 56,2 \text{ dB}$, $L_n = 56,7 \text{ dB}$, $L_{\text{den}} = 66,4 \text{ dB}$.

20. $D = 36 \%$.

21. $L_{\text{ex,d}} = 83,96 \text{ dB}$.

22. $T_e = 2 \text{ h}$.

2. Upute za laboratorijske vježbe

2.1. Podatci o studentu

Ime i prezime:

JMBAG:

Akademska godina:

2.2. Priprema za vježbu

2.2.1. Uvod

Potrebno je proučiti:

- Auditorne vježbe, a osobito dijelove koji se tiču proračuna razine zvučnog tlaka, raspodjele razina po frekvencijskim pojasevima te prijelaza s linearne (Z) frekvencijske karakteristike na A karakteristiku;
- Predavanja, a osobito dijelove koji se tiču vrsta i izvora zrakoplovne buke, veličina za opisivanje zrakoplovne buke, kao i načina grafičkog prikazivanja buke zrakoplova.

2.2.2. Karakteristične veličine

Formulom i riječima definirajte veličine:

- Zvučni intenzitet I

- Razina zvučnog intenziteta L_I

- Zvučni tlak p

→ Razina zvučnog tlaka L_p ili SPL

→ Ekvivalentna razina buke Leq

→ Razina izloženosti buci L_{SE} , SEL ili $SENEL$

→ Doza akumulirane buke D

→ Dnevna osobna izloženost buci $L_{ex,d}$

→ Ekvivalentna razina buke u zajednici L_{den} ili $CNEL$

2.2.3. Pojmovi

Definirajte pojmove:

→ Frekvencijski pojasevi (tercni i oktavni pojas frekvencija)

→ Težinske krivulje (frekvencijsko vrednovanje A i Z)

→ Vremensko vrednovanje F, S i I

→ Zračna buka (engl. airborne noise)

→ Strukturna (vibroakustička) buka (engl. structure-borne noise)

→ Izvori kabinske buke zrakoplova

- Osnovna frekvencija tonalnih komponenti propelera i njezina ovisnost o broju krakova propelera pri zadanom broju okretaja

2.2.4. Zadatci

Riješite zadatke:

- Zadatak 1. Ako je izmjerena razina zvučnog tlaka u kokpitu zrakoplova 89,6 dB, koliki je njegov iznos te iznos pripadajućeg zvučnog intenziteta i njegove razine?

- Zadatak 2. Izmjerene razine zvučnog tlaka u kokpitu Diamond DV20 Katane u slijednim fazama prometnog (školskog) kruga prikazane su u tablici. Komentirajte izmjerene rezultate s obzirom na karakteristične izvore buke u pojedinim fazama leta. Jesu li rezultati očekivani?

	IDLE	TAXING	T/O RUN	TAKE OFF	CLIMB	DOWN- WIND	DESCEND	TOUCH DOWN	ROLL OFF
SPL (dBA)	79,2	83,9	92,2	93,3	91,2	85,8	80,4	84,1	79,3

- Zadatak 3. Izmjerene A- vrednovane razine zvučnog tlaka po oktavama u kokpitu Diamond DV20 Katane u krstarenju prikazane su u tablici. S obzirom na zadanu korekciju A karakteristike po oktavnim pojasevima, odredite nevrednovane razine zvučnog tlaka po oktavama i upišite u Tablicu 2.

Centralna frekvencija oktave (Hz)	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
Razina zvučnog tlaka (dBA)	92,7	95,1	93,8	88,8	84,3	82,5	76,3	69,9	68,9	64,3
Vrijednosti težinskih korekcija kod A filtriranja	-39,4	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	-6,6
Razina zvučnog tlaka (dBZ)										

Kolika je ukupna razina zvučnog tlaka prije, L_p (dBZ), a kolika poslije korekcije, L_p (dBA)?

- Zadatak 4. Razine zvučnog tlaka u karakterističnim fazama prometnog kruga i njihova prosječna trajanja dana su u tablici. Ako instruktor letenja odleti 30 prometnih krugova u vršnom danu obuke sa studentima, odredite ukupnu dnevnu dozu akumulirane buke instruktora letenja.

	IDLE	TAXING	T/O RUN	CLIMB	DOWN- WIND	DESCEND	ROLL OFF
SPL (dBA)	79,2	83,9	92,2	91,2	85,8	80,4	79,3
T _i (min)	5	5	0,5	1	2	1	0,5

2.3. Laboratorijska vježba

2.3.1. Mjerenje unutarnje (kabinske) buke

Na zrakoplovnoj stajanci ispred hangara Hrvatskog zrakoplovnog nastavnog središta analizatorom zvuka Nor140 potrebno je snimiti uzorke kabinske buke malog jednomotornog elisnoklipnog zrakoplova pri tri različito postavljene snage motora (IDLE, CRUISE i MAX T/O). Vrijeme snimanja pojedinog uzorka je 10 s, a veličine koje je potrebno izmjeriti su sljedeće: LAF_{max} , LAF_{min} , LA_{eq} , LZF_{max} , LZF_{min} , LZ_{eq} te ekvivalentne oktavne razine buke (8 Hz – 16 kHz). Svaku od izmjerenih veličina potrebno je prikazati stupčastim dijagramom tako da je omogućena usporedba pri različito postavljenim snagama motora. Prije početka snimanja potrebno je proračunati osnovne frekvencije tonalnih komponenti propelera za sve tri postavke snage motora.

→ Rezultati:

Zrakoplov: _____ .

Položaj analizatora zvuka: _____ .

Trajanje pojedinog uzorka buke: _____ .

a) Proračun osnovne frekvencije tonalne komponente propelera:

$N_B =$ _____ .

a₁) $N_{R1} =$ _____ ; a₂) $N_{R2} =$ _____ ; a₃) $N_{R3} =$ _____ .

b) Grafički prikaz parametara LAF_{\max} , LAF_{\min} , LA_{eq} , LZF_{\max} , LZF_{\min} , LZ_{eq} :

c) Grafički prikaz ekvivalentnih oktavnih razina unutarnje buke:

Iz prikazanih oktavnih razina unutarnje buke primijetite da je najviša razina u oktavnom pojasu koji sadrži osnovnu frekvenciju tonalnih komponenti propelera!

2.3.2. Mjerenje vanjske buke

Analizatorom zvuka Nor140 potrebno je izmjeriti A i Z razine zvuka (*LAF* i *LZF*) te rezultate prikazati grafički polarnom karakteristikom za sve tri postavke snage motora.

→ Rezultati:

Zrakoplov: _____ .

Udaljenost od težišta zrakoplova: _____ .

a) Polarni prikaz parametra *LAF*:

b) Polarni prikaz parametra *LZF*:

Iz prikazanih polarnih karakteristika vanjske buke primijetite da su najviše razine u ravnini okretanja propelera (poprečna os, $90^\circ - 270^\circ$)!

3. Kazalo oznaka i kratica

OZNAKA	ZNAČENJE
p	Zvučni tlak, tlak plina [Pa]
p_0	Referentni zvučni tlak [20 μ Pa]
I	Zvučni intenzitet [W/m^2]
I_0	Referentni zvučni intenzitet [$10^{-12} W/m^2$]
L_p	Razina zvučnog tlaka [dB]
L_I	Razina zvučnog intenziteta [dB]
t	Temperatura [$^{\circ}C$]
T	Temperatura [K]
ρ	Gustoća zraka, gustoća plina [kg/m^3]
c	Brzina zvuka u zraku [m/s]
R	Plinska konstanta za suhi zrak [287,058 J/kg K]
γ	Adijabatska konstanta plina
r	Udaljenost od izvora zvuka [m]
ΔL	Promjena razine intenziteta, promjena razine zvučnog tlaka [dB]
P	Snaga [W]
S	Površina [m^2]
l	Duljina linijskog izvora zvuka [m]
P_0	Referentna zvučna snaga [$10^{-12} W$]
f_0	Centralna frekvencija pojasa [Hz]
f_{0terc}	Centralna frekvencija pojasa širine terce [Hz]
f_{0oct}	Centralna frekvencija pojasa širine oktave [Hz]
L_{oct}	Razina zvučnog tlaka oktavnog pojasa [dB]
L_{terc}	Razina zvučnog tlaka tercnog pojasa [dB]
f_1	donja granična frekvencija pojasa [Hz]
f_2	gornja granična frekvencija pojasa [Hz]
L_{uk}	Ukupna razina zvučnog tlaka [dB]
N_R	Brzina vrtnje propelera [okr/min]
N_B	Broj krakova propelera
f_0	Osnovna frekvencija tonalne komponente buke propelera [Hz]

T	Vrijeme [h]
L_{eq}	Ekvivalentna razina zvuka [dB]
L_{den}	Ekvivalentna razina buke u zajednici [dB]
L_d	A- vrednovana ekvivalentna razina buke utvrđivana svakog dana (7 h – 19 h) tijekom jedne godine [dB]
L_e	A- vrednovana ekvivalentna razina buke utvrđivana svake večeri (19 h – 23 h) tijekom jedne godine [dB]
L_n	A- vrednovana ekvivalentna razina buke utvrđivana svake noći (23 h – 7 h) tijekom jedne godine [dB]
L_c	Kriterij razine zvuka [dB]
N	Zakon promjene [dB]
D	Doza buke izražena kao postotak dopuštene dnevne doze [%]
T_n	Normalizirani vremenski period [h]
T_i	Trajanje i-tog vremenskog perioda [h]
L_i	Ekvivalentna razina zvučnog tlaka u i- tom vremenskom periodu [dB]
N	Broj intervala
$L_{ex,d}$	Dnevna osobna izloženost buci [dB]
$L_{ex,dmax}$	Maksimalna dopuštena dnevna osobna izloženost buci [dB]
T_e	Vrijeme dnevnog trajanja izloženosti [h]
T_o	Referentno vrijeme [h]
$L_{eq,Te}$	A- vrednovana ekvivalentna razina izmjerena za vrijeme dnevnog trajanja izloženosti
L_{SE}	Razina izloženosti buci [dB]
LAF	A- frekvencijski i F- vremenski vrednovana razina zvučnog tlaka ili intenziteta [dB]
LZF	Z- frekvencijski i F- vremenski vrednovana razina zvučnog tlaka ili intenziteta [dB]
LAF_{max}	A- frekvencijski i F- vremenski vrednovana maksimalna razina zvučnog tlaka ili intenziteta [dB]
LZF_{min}	Z- frekvencijski i F- vremenski vrednovana minimalna razina zvučnog tlaka ili intenziteta [dB]
LA_{eq}	A- frekvencijski vrednovana ekvivalentna razina zvučnog tlaka ili intenziteta [dB]
LAF_{min}	A- frekvencijski i F- vremenski vrednovana minimalna razina zvučnog tlaka ili intenziteta [dB]

$LZ_{F_{max}}$	Z- frekvencijski i F- vremenski vrednovana maksimalna razina zvučnog tlaka ili intenziteta [dB]
LZ_{eq}	Z- frekvencijski vrednovana ekvivalentna razina zvučnog tlaka ili intenziteta [dB]

KRATICA	ZNAČENJE
SPL	Sound Pressure Level (hrv. razina zvučnog tlaka)
MCP	Maximum Continuous Power (hrv. maksimalna kontinuirana snaga)
BPF	Blade Pass Frequency (hrv. osnovna frekvencija tonalnih komponenti propelera)
NMT	Noise Monitoring Terminal (hrv. stanica za nadzor buke)
USS	Uzletno-sletna staza
CNEL	Community Noise Equivalent Level (hrv. ekvivalentna razina buke u zajednici)
FFS	Full Flight Simulator (hrv. simulator letenja)

4. Literatura

1. Bucak, T., Ivošević, J.: Zrakoplovne emisije: Buka zrakoplova, autorizirana predavanja, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, 2010.
2. Jambrošić, K., Grubeša, S.: Zvuk i okoliš, autorizirana predavanja i vježbe, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Sveučilište u Zagrebu, 2013.
3. Miljković, D., Ivošević, J., Bucak, T.: Two vs. three blade propeller – cockpit noise comparison, *AAAA 2012 Proceedings*, Acoustical Society of Croatia, Zagreb, 2012.
4. Bucak, T.: Utjecaj buke zrakoplova na kvalitetu govornih komunikacija, doktorska disertacija, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2004.
5. Štimac, I.: Implementacija sustava praćenja i analiza buke na zračnoj luci Zagreb, magistarski rad, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2009.
6. Ivošević, J.: Određivanje utjecaja unutarnje buke zrakoplova na sposobnost pilota, doktorska disertacija, Fakultet prometnih znanosti, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, 2015.