



UNIVERZITET U NIŠU
FAKULTET ZAŠTITE NA RADU U NIŠU



BUKA I VIBRACIJE

- PREZENTACIJA PREDAVANJA -

**OBJEKTIVNE I SUBJEKTIVNE VELIČINE ZA
OPISIVANJE ENERGIJE I PERCEPCIJE ZVUKA**

Dr Darko Mihajlov, vanr. prof.

Dr Momir Praščević, red. prof.

OBJEKTIVNE I SUBJEKTIVNE VELIČINE ZA OPISIVANJE ENERGIJE I PERCEPCIJE ZVUKA

SADRŽAJ

- ♦ Razlog za upotrebu nivoa zvuka;
- ♦ Definicija nivoa zvuka;
- ♦ Skala nivoa zvuka;
- ♦ Promena nivoa zvuka;
- ♦ Rezultujući nivo složenog zvuka;
- ♦ Nivo zvuka specifičnog izvora zvuka;
- ♦ Subjektivna jačina zvuka;
- ♦ Glasnost zvuka;
- ♦ Ponderacione frekvencijske krive;
- ♦ Ekvivalentni nivo buke;
- ♦ Nivo izloženosti zvuku.



BUKA I VIBRACIJE

Razlog za upotrebu nivoa zvuka

Dinamički opseg

čujnosti uva:

$$I = (10^{-12} \div 1) \text{ W/m}^2$$

Izražavanje vrednosti intenziteta zvuka sistemom malih brojeva za uobičajene zvučne događaje.

Npr., za normalan razgovor:

$$I = 10^{-6} \text{ [W/m}^2\text{]} = 0.000001 \text{ [W/m}^2\text{]}$$

Efekat	Odnos intenziteta zvuka (re. = 10^{-12} W/m^2)	Intenzitet zvuka [W/m^2]	Tipični izvor zvuka
Ozbiljno oštećenje sluha	100 000 000 000 000	100	Lansiriranje rakete u blizini lansirne rampe
Oštećenje sluha i bol	10 000 000 000 000	10	Motor mlaznjaka (na rastojanje od 25 m)
Oštećenje sluha posle kratkog izlaganja	1 000 000 000 000	1	Prag bola Sirena za vazdušni napad (na rastojanju od 5 m)
Ozbiljna opasnost od oštećenja sluha	100 000 000 000	10^{-1}	Koncert rok muzike uz binu
Opasnost po sluh	10 000 000 000	10^{-2}	Užletanje mlaznjaka (300 m)
Izvesna opasnost po sluh	1 000 000 000	10^{-3}	Bučna industrijska hala
Dejstvo na zdravlje	100 000 000	10^{-4}	Težak kamion, 70 km/h (na rastojanju od 10 m)
Izvesna dejstva na zdravlje	10 000 000	10^{-5}	Automobil, 60 km/h (na rastojanju od 10 m)
Ozbiljna neprijatnost	1 000 000	10^{-6}	Normalan razgovor (na rastojanju od 1m)
Neprijatnost	100 000	10^{-7}	Tih razgovor (na rastojanju od 1m)
Izvesna neprijatnost	10 000	10^{-8}	Prigušena muzika sa radija
Dobro okruženje	1 000	10^{-9}	Šaputanje (na rastojanju od 1 m)
	100	10^{-10}	Tih spavaća soba
	10	10^{-11}	Šuštanje lišća
Neprijatno "tihu"	Referentna vrednost	10^{-12}	Anehoična prostorija
			Prag čujnosti

BUKA I VIBRACIJE

Vrednosti intenziteta zvuka velikog broja ljudskih aktivnosti je reda veličine od 10^{-11} do 10^{-4} W/m^2 , što predstavlja realan problem prilikom njihovog predstavljanja i analize.

Razlog za upotrebu nivoa zvuka

Primena linearne skale:

mali broj uobičajenih
zvučnih događaja bi bio
intenziteta zvuka između
1 i 10 W/m²,

a veliki broj između

0 i 1 W/m².

Teško uočavanje zvučnih
događaja između 0 i 1 W/m²!

Efekat	Odnos intenziteta zvuka (re. = 10 ⁻¹² W/m ²)	Intenzitet zvuka [W/m ²]	Tipični izvor zvuka
Ozbiljno oštećenje sluha	100 000 000 000 000	100	Lansiriranje rakete u blizini lansirne rampe
Oštećenje sluha i bol	10 000 000 000 000	10	Motor mlaznjaka (na rastojanje od 25 m)
Oštećenje sluha posle kratkog izlaganja	1 000 000 000 000	1	Prag bola Sirena za vazdušni napad (na rastojanje od 5 m)
Ozbiljna opasnost od oštećenja sluha	100 000 000 000	10 ⁻¹	Koncert rok muzike uz binu
Opasnost po sluh	10 000 000 000	10 ⁻²	Užletanje mlaznjaka (300 m)
Izvesna opasnost po sluh	1 000 000 000	10 ⁻³	Bučna industrijska hala
Dejstvo na zdravlje	100 000 000	10 ⁻⁴	Težak kamion, 70 km/h (na rastojanju od 10 m)
Izvesna dejstva na zdravlje	10 000 000	10 ⁻⁵	Automobil, 60 km/h (na rastojanju od 10 m)
Ozbiljna neprijatnost	1 000 000	10 ⁻⁶	Normalan razgovor (na rastojanju od 1m)
Neprijatnost	100 000	10 ⁻⁷	Tih razgovor (na rastojanju od 1m)
Izvesna neprijatnost	10 000	10 ⁻⁸	Prigušena muzika sa radija
Dobro okruženje	1 000	10 ⁻⁹	Šaputanje (na rastojanju od 1 m)
	100	10 ⁻¹⁰	Tih spavaća soba
	10	10 ⁻¹¹	Šuštanje lišća
Neprijatno "tihu"	Referentna vrednost	10 ⁻¹²	Anehoična prostorija
			Prag čujnosti

BUKA I VIBRACIJE

Primenom linearne skale se teško uočavaju zvučni događaji čiji je intenzitet zvuka između 0 i 1 W/m², a koji su česti i uobičajeni u svakodnevnom životu.

Razlog za upotrebu nivoa zvuka

Osetljivost uva (percepcija zvuka) je logaritamske prirode.

Veber-Fehnerov zakon: $\Lambda \sim \log p$

Veberov zakon: $\Delta\Lambda \sim \frac{\Delta p}{p}$



BUKA I VIBRACIJE

Osetljivost uva (percepcija zvuka) je logaritamske prirode.

Veber-Fehnerov zakon:

Subjektivni osećaj jačine zvuka je proporcionalan logaritmu fizičke pobude (zvučnom pritisku ili intenzitetu zvuka): $\Lambda \sim \log p$.

Veberov zakon:

Subjektivni osećaj promene jačine zvuka proporcionalan je procentualnoj promeni fizičke pobude (zvučnog pritiska i intenziteta zvuka): $\Delta\Lambda \sim \Delta p/p$. Subjektivna jačina zvuka se menja za isti iznos (linearno) kada se zvučni pritisak menja za isti procenat (eksponencijalno).

Primer: Pri nošenju tereta od 10 kg, dodavanje 1 kg predstavlja promenu težine koja se može osetiti. Međutim, ako se nosi teret od 100 kg, dodavanje 1 kg će predstavljati neosetnu promenu. Tek promena za isti procenat, odn. dodavanje 10 kg, predstavlja približno ekvivalentnu promenu po subjektivnom osećaju.

Definicija nivoa zvuka

$$n = \log \frac{I_1}{I_2} \text{ [Bel]}$$

$$n = 10 \log \frac{I_1}{I_2} \text{ [dB]}$$

Referentne vrednosti:

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ [Pa]}$$

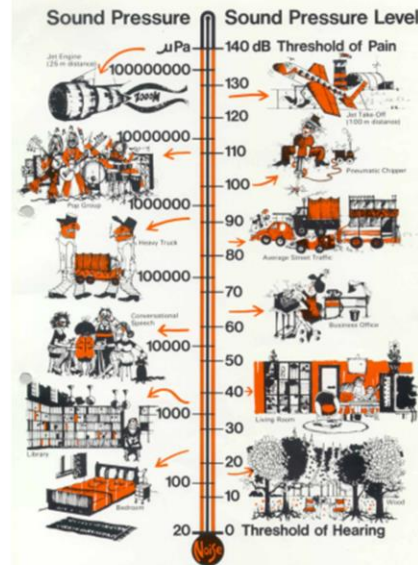
$$a_0 = 10^{-6} \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{ [W/m}^2\text{]}$$

$$v_0 = 10^{-9} \text{ [m/s]}$$

$$P_0 = 10^{-12} \text{ [W]}$$

$$\xi_0 = 10^{-12} \text{ [m]}$$



BUKA I VIBRACIJE

Nivo predstavlja relativni odnos dve veličine, ali ne i apsolutnu vrednost.

U opštem slučaju se određuje kao logaritamski odnos dve veličine I_1 i I_2 .

Pošto uvo zapaža male promene zvuka, za nivo zvuka je u cilju dobijanja finije podela skale nivoa zvuka uzeta deset puta manja jedinica - **decibel [dB]**.

Da bi se odredio apsolutni iznos određene veličine, potrebna je vrednost jedne od veličina, tzv. **referentna vrednost**.

Za nivo zvuka je usvojena konvencija da se kao referentna vrednost uzima vrednost veličine koja odgovara **pragu čujnosti na 1000 Hz**.

Referentna vrednost predstavlja na decibelskoj skali nulu, odnosno vrednost za poređenje, u smislu da se svaka druga vrednost poredi sa njom.

Definicija nivoa zvuka

Nivoi veličina koje definišu generisanje i prostiranje zvučnih talasa:

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0}; \quad L_p = 20 \log \frac{p}{p_0}; \quad L_P = 10 \log \frac{P_a}{P_0};$$
$$L_a = 20 \log \frac{a}{a_0}; \quad L_v = 20 \log \frac{v}{v_0}; \quad L_\xi = 20 \log \frac{\xi}{\xi_0}.$$

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} = 10 \log \frac{\frac{p^2}{\rho c}}{\frac{p_0^2}{\rho c}} = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0} [\text{dB}]$$

NIVO ZVUKA JE OBJEKTIVNA VELIČINA.

Skala nivoa zvuka

Efekat	Odnos intenziteta zvuka (re. = 10^{-12} W/m^2)	I [W/m ²]	L [dB]	Tipični izvor zvuka
Ozbiljno oštećenje sluha	100 000 000 000 000	100	140	Lansiranje rakete u blizini lansirne rampe
Oštećenje sluha i bol	10 000 000 000 000	10	130	Motor mlaznjaka (na rastojanje od 25 m)
Oštećenje sluha posle kratkog izlaganja	1 000 000 000 000	1	120	Prag bola Sirena za vazdušni napad (na rastojanju od 5 m)
Ozbiljna opasnost od oštećenja sluha	100 000 000 000	10^{-1}	110	Koncert rok muzike uz binu
Opasnost po sluh	10 000 000 000	10^{-2}	100	Uzletanje mlaznjaka (300 m)
Izvesna opasnost po sluh	1 000 000 000	10^{-3}	90	Bučna industrijska hala
Dejstvo na zdravlje	100 000 000	10^{-4}	80	Terak kamion, 70 km/h (na rastojanju od 10 m)
Izvesna dejstva na zdravlje Ozbiljna neprijatnost	10 000 000	10^{-5}	70	Automobil, 60 km/h (na rastojanju od 10 m)
Neprijatnost	1 000 000	10^{-6}	60	Normalan razgovor (na rastojanju od 1m)
Izvesna neprijatnost	100 000	10^{-7}	50	Tih razgovor (na rastojanju od 1m)
Dobro okruženje	10 000	10^{-8}	40	Prigušena muzika sa radija
	1 000	10^{-9}	30	Šaputanje (na rastojanju od 1 m)
	100	10^{-10}	20	Tiha spavaća soba
	10	10^{-11}	10	Šuštanje lišća
Neprijatno "tiho"	Referentna vrednost:	10^{-12}	0	Anehoična prostorija
				Prag čujnosti

BUKA I VIBRACIJE

Dinamički opseg čujnosti uva iznosi $0 \div 120$ [dB].

Primena logaritamske (dB) skale omogućava izražavanje veličina nivoa zvuka pomoću brojeva sa malim brojem cifara.

Korišćenjem nivoa zvuka se lakše raspoređuje veći broj uobičajenih zvučnih događaja na logaritamskoj skali.

Promena nivoa zvuka

Primeri / Pravila:

$$L_1 = 10 \log \frac{I_1}{I_0}$$

$$I_2 = 2I_1, \quad L_2 = ?$$

$$L_2 = 10 \log \frac{I_2}{I_0} = 10 \log \frac{2I_1}{I_0}$$

$$L_2 = 10 \log \frac{I_1}{I_0} + 10 \log 2$$

$$L_2 = L_1 + 3 \text{ [dB]}$$

$$L_1 = 20 \log \frac{p_1}{p_0}$$

$$p_2 = 2p_1, \quad L_2 = ?$$

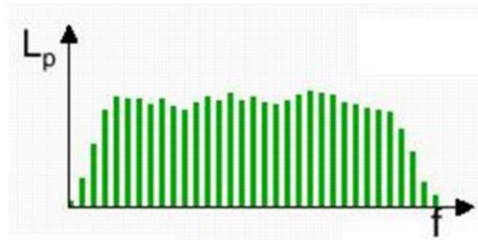
$$L_2 = 20 \log \frac{p_2}{p_0} = 20 \log \frac{2p_1}{p_0}$$

$$L_2 = 20 \log \frac{p_1}{p_0} + 20 \log 2$$

$$L_2 = L_1 + 6 \text{ [dB]}$$

BUKA I VIBRACIJE

Rezultujući nivo složenog zvuka



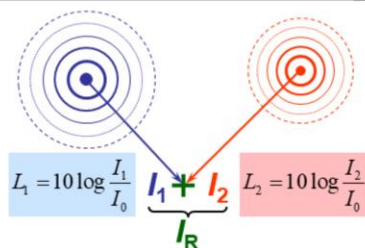
BUKA I VIBRACIJE

Rezultujući nivo složenog zvuka

Realni izvori zvuka uglavnom emituju složen zvuk (zvuk sa većim brojem komponentata različitih frekvencija), odnosno zvuk širokog frekvencijskog spektra.

Primeri zvuka širokog spektra su: zvuk motornih vozila, mašina, aviona i sl.

Rezultujući nivo složenog zvuka



$$1. \quad I_R = I_1 + I_2 \Rightarrow L_R = 10 \log \frac{I_R}{I_0} = 10 \log \frac{I_1 + I_2}{I_0} = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} + \frac{I_2}{I_0} \right)$$

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow \frac{I}{I_0} = 10^{L/10} \Rightarrow L_R = 10 \log (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10})$$

BUKA I VIBRACIJE

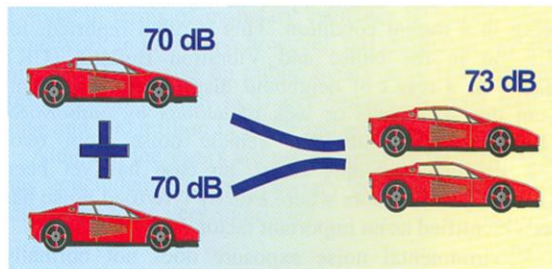
Rezultujući nivo zvuka na mestu prijema se određuje polazeći od vrednosti intenziteta zvuka ili zvučnih pritisaka pojedinih komponenta na mestu prijema i definicije nivoa zvuka.

U 1. slučaju dva izvora složenog zvuka stvaraju na mestu prijema različite nivoe zvuka L_1 i L_2 . Rezultujući nivo zvuka na mestu prijema L_R se određuje prema poslednjem izrazu na slajdu.

Rezultujući nivo složenog zvuka

2. $L_R = 10 \log \frac{I_R}{I_0}$; $L_1 = L_2 = L \Rightarrow I_1 = I_2 = I$

$$I_R = I_1 + I_2 = 2I \Rightarrow L_R = 10 \log \frac{2I}{I_0} = \underbrace{10 \log \frac{I}{I_0}}_L + 10 \log 2 = L + 3 [\text{dB}]$$



BUKA I VIBRACIJE

U 2. slučaju **dva** izvora složenog zvuka stvaraju na mestu prijema **iste** nivoe zvuka ($L_1 = L_2$). Rezultujući nivo zvuka na mestu prijema L_R je **veći za 3 dB** u odnosu na pojedinačne nivoe zvuka na istom mestu.

Rezultujući nivo složenog zvuka

3. $L_1 > L_2$; $L_1 - L_2 \geq 10 [\text{dB}]$

$$\left. \begin{array}{l} L_1 = 80 [\text{dB}] \\ L_2 = 50 [\text{dB}] \end{array} \right\} \Rightarrow L_R = 10 \log (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10}) = 10 \log (10^8 + 10^5)$$

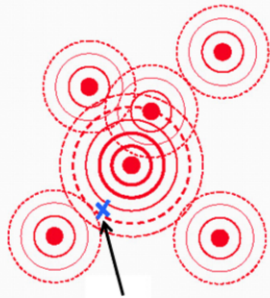
$$L_R = 10 \log (100\,100\,000) = 80 [\text{dB}] = L_1$$

$$80 [\text{dB}] \oplus 50 [\text{dB}] = 80 [\text{dB}]$$

BUKA I VIBRACIJE

U 3. slučaju, ako je razlika nivoa zvuka koje na mestu prijema stvaraju dva izvora složenog zvuka **veća od 10 dB**, rezultujući nivo zvuka na mestu prijema L_R jednak je **većem nivou zvuka**.

Rezultujući nivo složenog zvuka



$$4. \quad L_R = L_1 \oplus L_2 \oplus \dots \oplus L_n$$

$$L_R = 10 \log \frac{I_R}{I_0} = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{I_0}$$

$$L_R = 10 \log \frac{p_R^2}{p_0^2} = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^n p_i^2}{p_0^2}$$

$$L_R = 10 \log (10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} + \dots + 10^{L_n/10})$$

$$L_R = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10}$$

BUKA I VIBRACIJE

U 4. slučaju, ako **više** izvora složenog zvuka $S_1, S_2, \dots, S_n$ stvara ponaosob na mestu prijema nivo zvuka $L_1, L_2, \dots, L_n$, rezultujući nivo zvuka na mestu prijema L_R predstavlja energijski zbir, odnosno doprinos svih pojedinačnih nivoa zvuka na mestu prijema.

Rezultujući nivo složenog zvuka

5. $L_1 = L_2 = \dots = L_n = L \Rightarrow I_1 = I_2 = \dots = I_n = I$

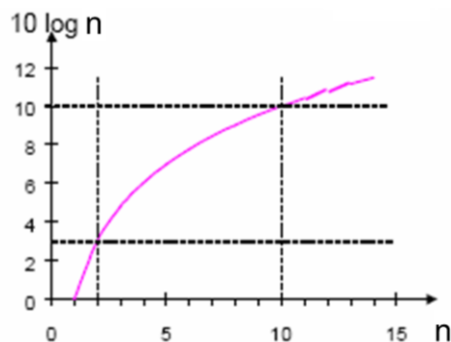
$$L_R = 10 \log \frac{I_R}{I_0}; \quad I_R = \sum_{i=1}^n I_i = nI$$

$$L_R = 10 \log \frac{nI}{I_0} = 10 \log \underbrace{\frac{I}{I_0}}_L + 10 \log n$$

$$L_R = L + 10 \log n$$

$$n = 2 \Rightarrow L_R = L + 3 \text{ [dB]}$$

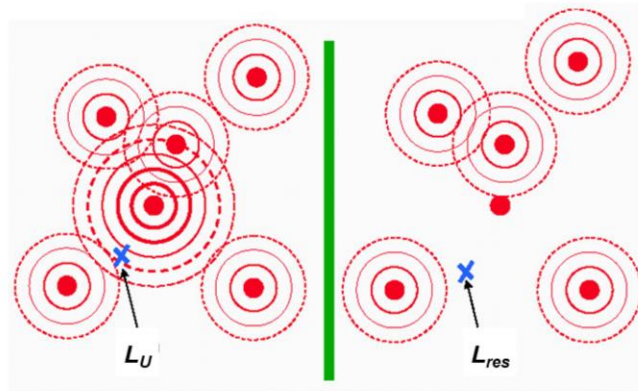
$$n = 10 \Rightarrow L_R = L + 10 \text{ [dB]}$$



BUKA I VIBRACIJE

U 5. slučaju, ako **više** izvora složenog zvuka $S_1, S_2, \dots, S_n$ stvara ponaosob na mestu prijema **iste** nivoe zvuka $L_1 = L_2 = \dots = L_n$, rezultujući nivo zvuka na mestu prijema L_R se određuje na sledeći način:

Nivo specifičnog zvuka



$$I_S = I_U - I_{res} = I_0 \cdot 10^{L_U/10} - I_0 \cdot 10^{L_{res}/10}$$

$$L_S = 10 \log \frac{I_S}{I_0} = 10 \log \left(10^{L_U/10} - 10^{L_{res}/10} \right)$$

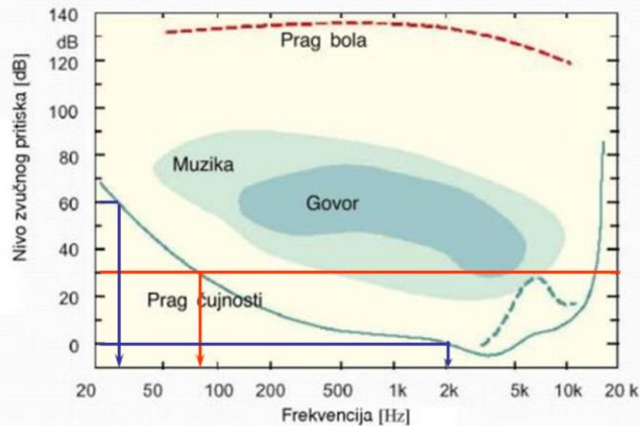
BUKA I VIBRACIJE

Nivo specifičnog zvuka

Nivo specifičnog zvuka L_S se u prisustvu rezidualnog zvuka, odnosno pri radu drugih izvora zvuka koji se ne mogu isključiti, određuje energetske odzimanjem nivoa rezidualnog zvuka L_{res} od nivoa ukupnog zvuka L_U koga generišu svi izvori zvuka, uključujući i izvor specifičnog zvuka.

Subjektivna jačina zvuka

Dinamičko - frekventijski opseg čujnosti



BUKA I VIBRACIJE

Vrednost objektivnog nivoa zvuka L [dB] ne daje potpunu informaciju o subjektivnom osećaju jačine zvuka, odnosno o ljudskoj reakciji na utvrđeni objektivni nivo zvuka.

Postoji izvesno neslaganje između objektivnih vrednosti i subjektivnog doživljaja zvučnog nadražaja.

Subjektivni osećaj jačine zvuka zavisi od:

1. nivoa zvuka i
2. frekvencije zvuka.

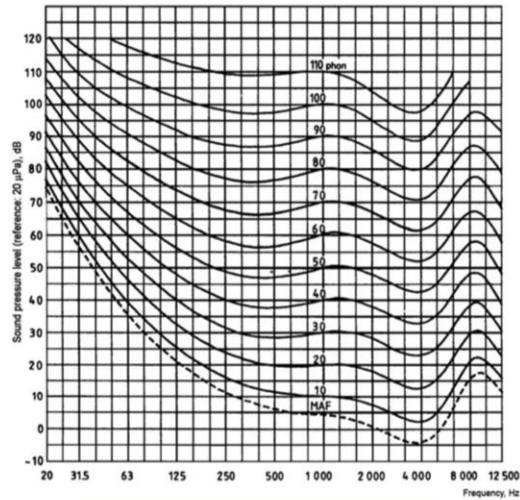
Dva zvuka istog nivoa a različitih frekvencija nemaju isti subjektivni osećaj !

Razlog: Ljudsko uvo nije jednako osetljivo na sve frekvencije – različito reaguje na iste vrednosti nivoa zvuka različitih frekvencija. Čovek lakše podnosi više nivoa zvuka na nižim frekvencijama nego niže nivoe na višim frekvencijama.

Posledica: Kriva praga čujnosti je frekventijski zavisna:

- Objektivni nivo zvuka od 30 dB se neće čuti ispod 80 Hz, dok je iznad te frekvencije znatno iznad krive praga čujnosti;
- Prag čujnosti na 30 Hz je za 60 dB veći od praga čujnosti na 2 kHz.

Subjektivna jačina zvuka



$$f = 1000 \text{ [Hz]} : L[\text{dB}] = \Lambda[\text{fon}]$$

BUKA I VIBRACIJE

Za izražavanje subjektivnog osećaja jačine zvuka je uvedena nova veličina - **subjektivna jačina zvuka**, $\Lambda[\text{fon}]$, sa sledećim osobinama:

- Dva zvuka sa istim brojem fona su po jačini identična za ljudsko uvo,
- Subjektivna jačina zvuka frekvencije 1000 Hz ima istu vrednost kao objektivna jačina zvuka.
- Fonska i decibelska skala nisu ekvivalentne za frekvencije iznad i ispod 1000 Hz.
- Subjektivna jačina zvuka je za frekvencije ispod i iznad 1000 Hz određena izofonskim linijama.

Izofonske linije su linije sa istim brojem fona bez obzira na frekvenciju.

Pomoću izofonskih linija se može naći veza između objektivne i subjektivne jačine zvuka, odnosno fona i decibela, i obrnuto.

Subjektivna jačina zvuka se određuje eksperimentalno, promenom nivoa zvuka odgovarajućeg tona sve dok subjektivna ocena njegove jačine ne bude ista sa subjektivnom jačinom tona na 1000 Hz.

Subjektivna jačina zvuka

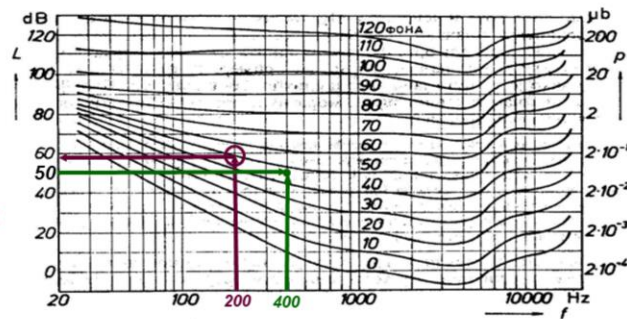
Primeri:

$L = 50 \text{ dB}$, $f = 400 \text{ Hz}$:

$\Lambda = 48 \text{ fona}$

$\Lambda = 50 \text{ fona}$, $f = 200 \text{ Hz}$:

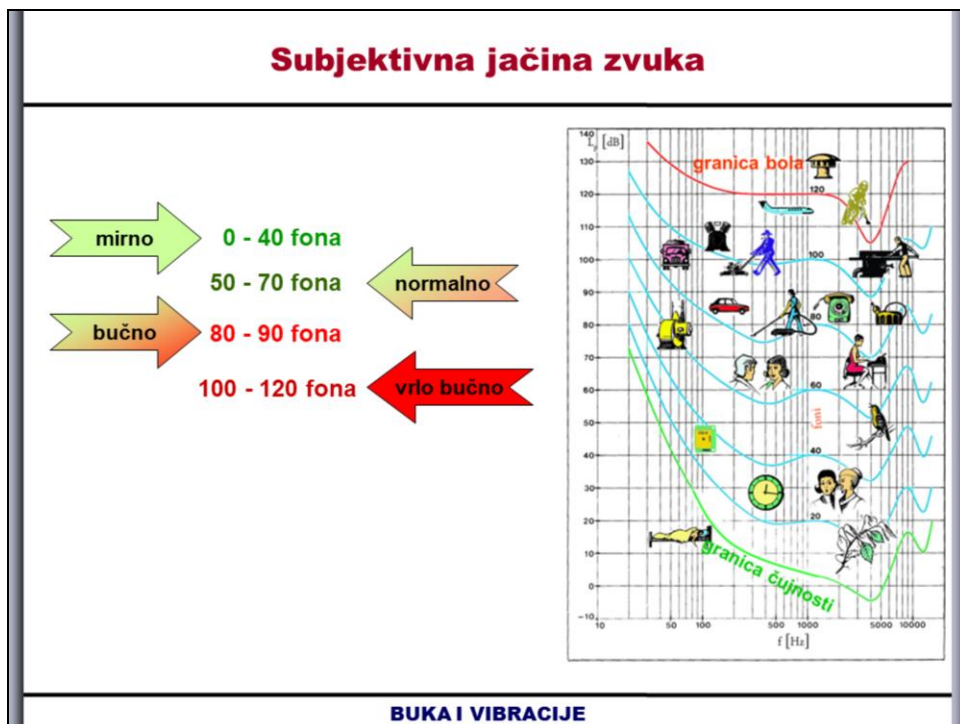
$L = 58 \text{ dB}$



Izofonske linije po Flečer i Mansonu

BUKA I VIBRACIJE

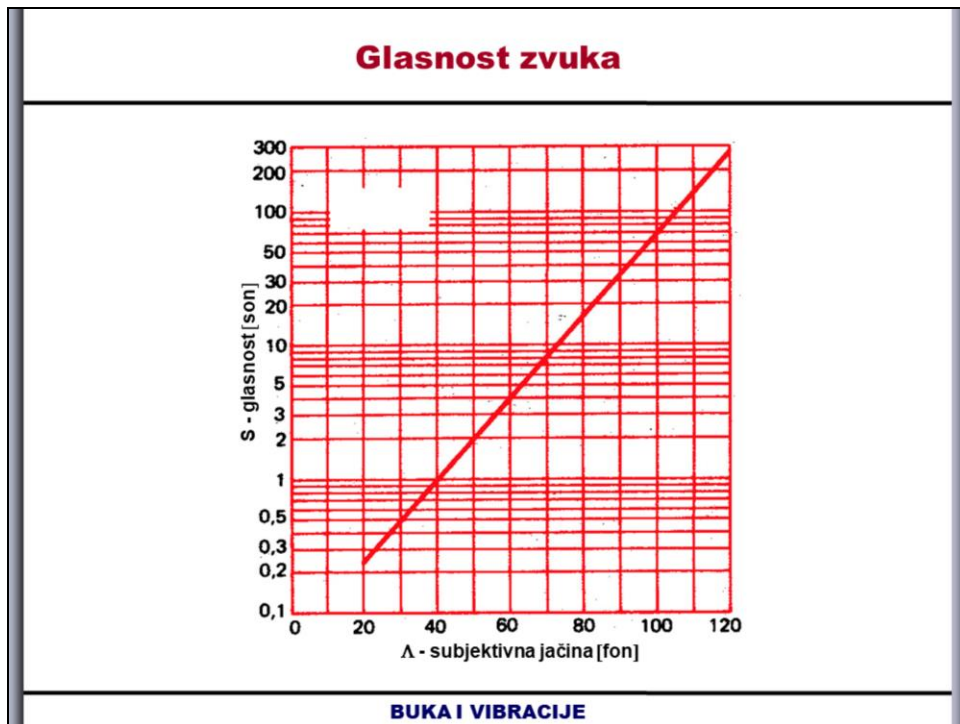
Izofonske linije su u većem delu frekvencijskog opsega ekvidistantne (međusobno rastojanje krivih je jednako). Ovo ukazuje na logaritamski karakter jedinice fon. Pojačanje za jednak broj fona se uvek ocenjuje jednako, kao što je slučaj i kod dB skale.



Poznavanje subjektivne jačine zvuka omogućava da se različiti zvučni događaji gradiraju prema reakciji koju izazivaju kod čoveka.

Čovekovo okruženje se prema subjektivnoj jačini zvuka može oceniti kao:

- Mirno,
- Normalno,
- Bučno i
- Vrlo bučno.



Primena fonske skale i subjektivne jačine zvuka ne omogućava da se izvrši subjektivna gradacija jačine zvuka, tako da ne može ilustrovati kako ljudsko uvo razlikuje različite jačine zvuka.

Potrebno je odgovoriti na sledeća pitanja:

- ✓ Da li je promena subjektivne jačine od X fona mala ili velika?
- ✓ Koliko puta se subjektivno povećala jačina zvuka?

Odgovore na postavljena pitanja daje **sonska skala**, odnosno veličina **glasnost zvuka**, sa jedinicom **son**.

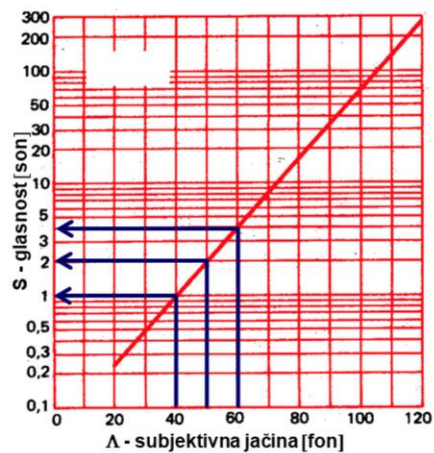
Glasnost zvuka definiše koliko je puta neki zvuk glasniji od zvuka čija je glasnost 1 son.

Pomoću sonske skale se može izvršiti gradacija glasnosti zvuka: *Zvuk glasnosti 8 sona je dvostruko glasniji od zvuka čija je glasnost 4 sona.*

Glasnost zvuka

$$S = 2^{\frac{\Lambda - 40}{10}}$$

$$\Lambda = 40 + \frac{10}{\log 2} \log S = 40 + 33 \log S$$

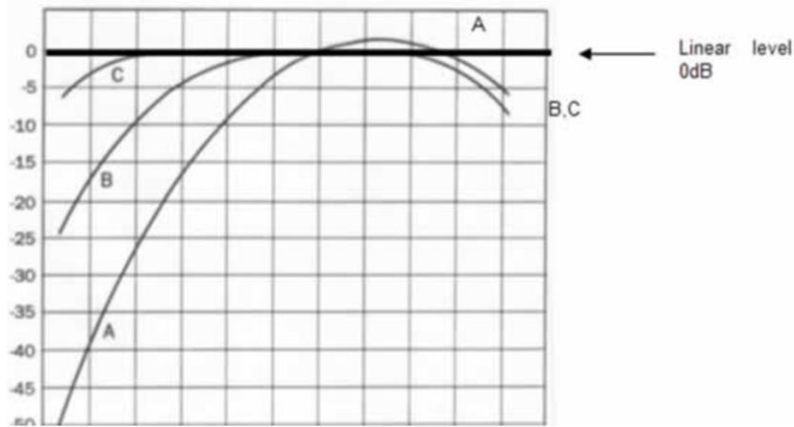


BUKA I VIBRACIJE

Svako povećanje subjektivne jačine zvuka od 10 fona udvostručuje glasnost zvuka.

Subjektivnoj jačini zvuka od **40 fona** odgovara glasnost zvuka od **1 sona**.

Ponderacione frekvencijske krive



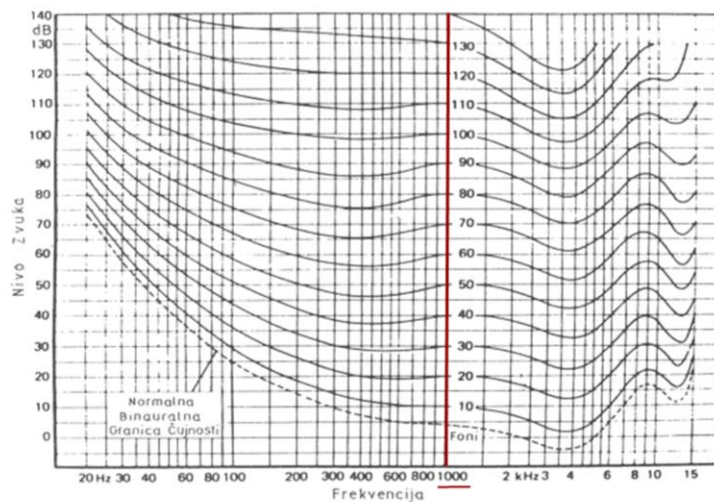
BUKA I VIBRACIJE

Merenje **objektivne jačine zvuka**, odnosno nivoa zvuka L [dB], podrazumeva:

- Određivanje efektivne vrednosti zvučnog pritiska i
- Korišćenje frekvencijske karakteristike instrumenta „Z“ koja je u celom frekvencijskom području ravna (linearna) i koja ne unosi nikakve korekcije signala.

Merenje veličina koje približno odgovaraju **subjektivnom osećaju ljudskog uva** zahteva korišćenje procedura za merenje subjektivne jačine zvuka primenom **ponderacionih frekvencijskih krivih**.

Ponderacione frekvencijske krive

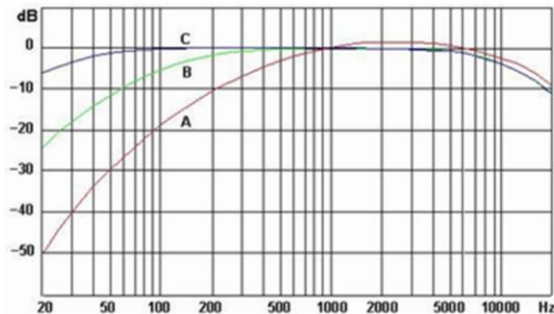


BUKA I VIBRACIJE

Objektivni nivo zvuka i subjektivna jačina zvuka na 1000 Hz imaju istu vrednost – na ovoj frekvenciji nije potrebna korekcija objektivnog nivoa zvuka.

Na ostalim frekvencijama je potrebno izvršiti korekciju objektivnog nivoa zvuka imajući u vidu oblik izofonskih linija koje definišu odnos objektivnog nivoa zvuka i subjektivne jačine zvuka.

Ponderacione frekvencijske krive



BUKA I VIBRACIJE

Ponderaciona frekvencijska kriva predstavlja frekvencijsku karakteristiku instrumenta koja daje pojedinim frekvencijama zvuka veći ili manji značaj (*težinu*) "otežavanjem" (ponderacijom) objektivnih vrednosti nivoa pojedinih frekvencija zvuka, odnosno, koriguje (oslabljuje ili pojačava) objektivni nivo zvuka u zavisnosti od frekvencije.

Cilj ponderacije je usklađivanje reakcije instrumenta sa osetljivošću organa sluha na zvuk, odnosno sa izofonskim linijama.

Jedna ponderaciona kriva ne bi mogla da važi za ceo dinamički opseg, jer oblik izofonskih linija nije isti.

Uvođenje ponderacione krive za svaku izofonsku liniju komplikuje merni instrument.

Pored A-ponderacione frekvencijske krive, koja približno odgovara izvrnutoj izofonskoj liniji od 40 fona, prethodno normalizovane na nultu vrednost na 1000 Hz, standardizovane su još dve frekvencijske korekzione karakteristike (krive):

- ❑ B (za srednje nivoe buke) - koja približno odgovara izvrnutoj izofonskoj liniji od 70 fona, prethodno normalizovane na nultu vrednost na 1000 Hz;
- ❑ C (za visoke nivoe buke) - koja približno odgovara izvrnutoj izofonskoj liniji od 100 fona, prethodno normalizovane na nultu vrednost na 1000 Hz.

Ponderacione krive ne vrše nikakvu promenu (korekciju) nivoa zvuka na frekvenciji od 1000 Hz.

U praksi se pokazalo da korišćenje samo A-ponderacione krive daje zadovoljavajuće rezultate u proceni reakcije ljudskog uva na zvučne događaje različitih nivoa i frekvencija. Zbog toga mnogi instrumenti imaju samo A-ponderacionu krivu (i C krivu za vršne nivoe).

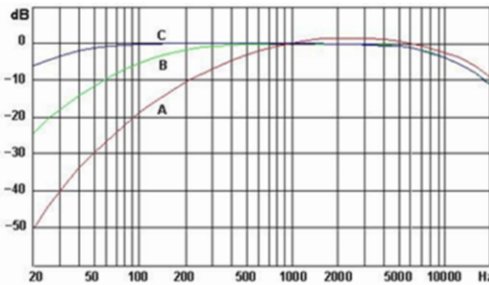
Takođe, mnogi zakonski propisi i norme sadrže podatke o dozvoljenim vrednostima nivoa buke uz korišćenje samo A-ponderacione krive.

Sve ponderacione krive, a naročito A- ponderaciona kriva:

- znatno oslabljuju frekvencije ispod 1000 Hz i
- favorizuju frekvencije iznad 1000 Hz i neznatno ih pojačavaju,

što su upravo karakteristike ljudskog uva.

Ponderacione frekvencijske krive

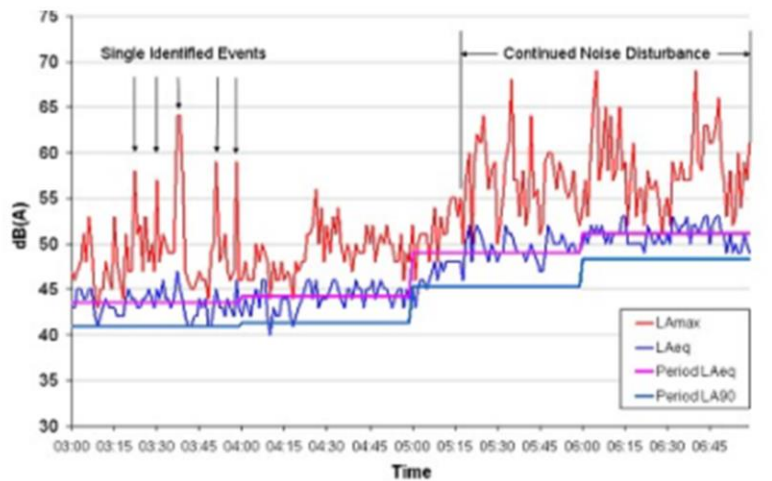


f_0 [Hz]	PONDERACIONA FREKVENCIJSKA KRIVA		
	ΔL_A [dB]	ΔL_B [dB]	ΔL_C [dB]
50	-30.2	-11.6	-1.3
63	-26.2	-9.3	-0.8
80	-22.5	-7.4	-0.5
100	-19.1	-5.6	-0.3
125	-16.1	-4.2	-0.2
160	-13.4	-3.0	-0.1
200	-10.9	-2.0	0
250	-8.6	-1.8	0
315	-6.6	-0.8	0
400	-4.8	-0.5	0
500	-3.2	-0.3	0
630	-1.9	-0.1	0
800	-0.8	0	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

U tabeli su date vrednosti korekcija nivoa zvuka ponderacionim frekvencijskim krivama $\Delta L_{A/B/C}$ [dB] po standardizovanim centralnim frekvencijama tercnih frekvencijskih opsega f_0 [Hz].

Ekvivalentni nivo buke

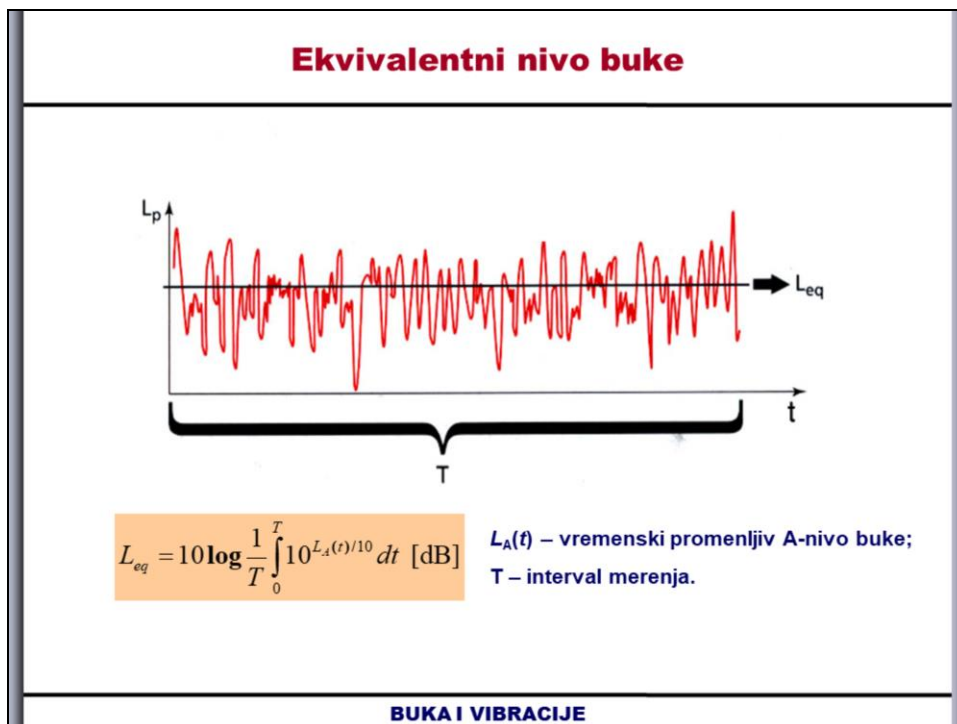


BUKA I VIBRACIJE

U realnim uslovima je čest slučaj da je buka dugotrajna i da je nivo buke promenljiv sa vremenom, što je npr. slučaj sa industrijskom bukom, bukom saobraćaja ili muzikom.

Promene trenutne vrednosti nivoa buke u funkciji vremena potpuno opisuju posmatrani događaj.

Predstavljanje vremenski promenljive buke samo dijagramom znatno komplikuje procenu uticaja vremenski promenljive buke na čoveka, kao i upoređivanje sa dozvoljenim vrednostima.



Najčešće korišćena veličina za jednobrojno izražavanje vremenski promenljive buke je ekvivalentni kontinualni nivo zvučnog pritiska ili skraćeno ekvivalentni nivo zvuka/buke, L_{Aeq} [dB].

Ekvivalentni nivo buke se određuje uvek primenom A-ponderacione krive, pa se oznaka krive može izostaviti, $L_{A,eq}$ [dB].

Ekvivalentni nivo buke predstavlja konstantni (prosečni) nivo buke, koji u određenom vremenskom intervalu ima istu zvučnu energiju kao vremenski promenljiva buka u datom vremenskom intervalu.

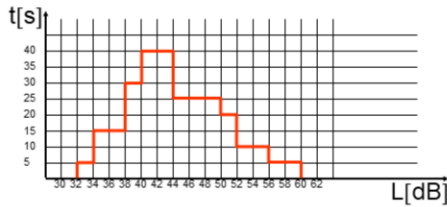
Ekvivalentni nivo buke predstavlja nivo buke koji bi svojim dejstvom na čoveka izazvao iste efekte kao i njegov ekvivalent – vremenski promenljiva buka.

Najopštija definicija ekvivalentnog nivoa buke je data izrazom koji je prikazan na slajdu.

Izražavanjem vremenski promenljivog nivoa buke pomoću ekvivalentnog nivoa buke, uspostavlja se veza sa:

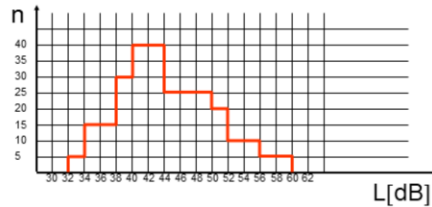
- **vremenom**, kao parametrom koji u proceni štetnog dejstva buke izražava dužinu ekspozicije (izlaganja) određenom nivou buke, i
- **frekvencijom**, primenom A-ponderacione krive pri merenju promenljivog nivoa buke.

Ekvivalentni nivo buke



$$L_{eq} = 10 \log \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{T} 10^{0.1 L_i}$$

t_i - trajanje i -tog nivoa zvuka L_i ;
 T - ukupno vreme uzorkovanja ;
 Širina klase: 2 dB



$$L_{eq} = 10 \log \sum_{i=1}^n \frac{n_i}{n} 10^{0.1 L_i}$$

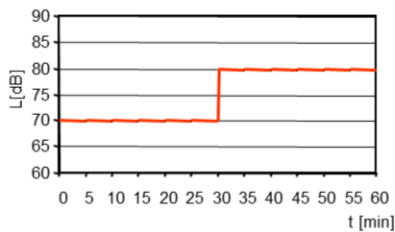
n_i - broj uzoraka nivoa L_i ;
 n - ukupan broj uzoraka ;
 Širina klase: 2 dB

BUKA I VIBRACIJE

Ekvivalentni nivo buke se određuje na osnovu rezultata statističke analize promenljive buke u vremenskom domenu, i to na dva načina:

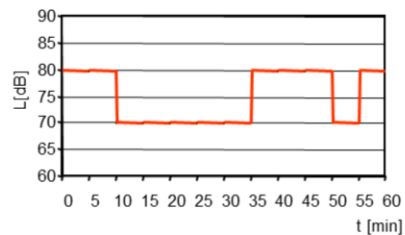
1. Uzorkovanjem promenljivog nivoa zvuka i određivanjem vremena trajanja pojedinačnih nivoa promenljivog zvuka;
2. Uzorkovanjem promenljivog nivoa zvuka i klasiranjem pojedinačnih nivoa promenljivog zvuka prema nivou.

Ekvivalentni nivo buke



$$L_{eq1} = 10 \log \left(\frac{t_1}{T} 10^{0.1 L_1} + \frac{t_2}{T} 10^{0.1 L_2} \right),$$

$$L_{eq1} = 10 \log \left(\frac{30}{60} 10^7 + \frac{30}{60} 10^8 \right) = 77.4 \text{ dB}$$



$$L_{eq2} = 10 \log \left(\frac{t_1}{T} 10^{0.1 L_1} + \frac{t_2}{T} 10^{0.1 L_2} + \frac{t_3}{T} 10^{0.1 L_3} + \frac{t_4}{T} 10^{0.1 L_4} + \frac{t_5}{T} 10^{0.1 L_5} \right)$$

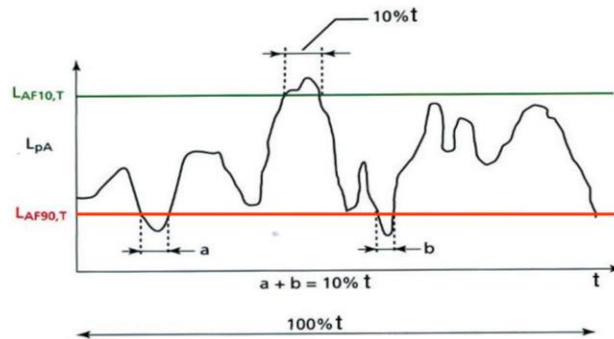
$$L_{eq2} = 10 \log \left(\frac{10}{60} 10^8 + \frac{25}{60} 10^7 + \frac{15}{60} 10^8 + \frac{5}{60} 10^7 + \frac{5}{60} 10^8 \right) = 77.4 \text{ dB}$$

BUKA I VIBRACIJE

Konstantni nivoi buke ne moraju da budu kontinualni da bi ekvivalentni nivo buke bio isti.

Ako je ukupno trajanje konstantnog nivoa isto, način na koji se on pojavljuje u toku posmatranog vremena ne utiče na vrednost ekvivalentnog nivoa.

Ekvivalentni nivo buke



Ako je verovatnoća raspodele nivoa približna Gausovoj, važi da je:

$$L_{eq} = L_{50} + \frac{L_{10} - L_{90}}{60}$$

BUKA I VIBRACIJE

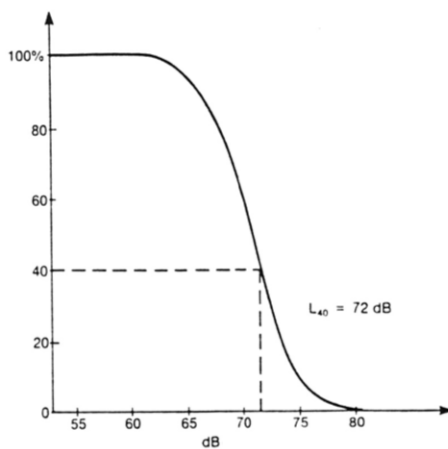
Za opisivanje jako promenljive buke se koriste **procentni nivoi buke**.

Statističkom analizom vremenski promenljive buke u amplitudnom domenu, mogu se izračunati i procentni nivoi L_n koji predstavljaju nivoe buke koji su premašeni u $n\%$ ukupnog mernog vremena:

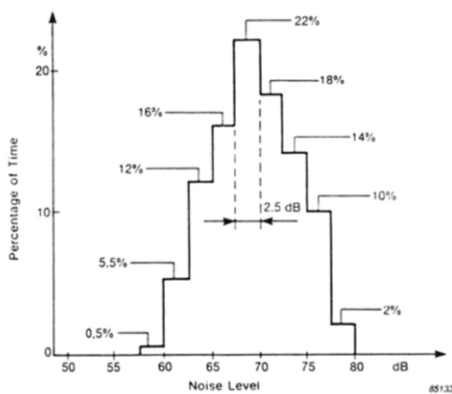
- L_{10} [dB] – nivo koji je premašen u 10% vremenskog intervala posmatranja buke;
- L_{50} [dB] – nivo koji je premašen u 50% vremenskog intervala posmatranja buke;
- L_{90} [dB] – nivo koji je premašen u 90% vremenskog intervala posmatranja buke;

Ekvivalentni nivo buke

Kumulativna i statistička raspodela nivoa buke



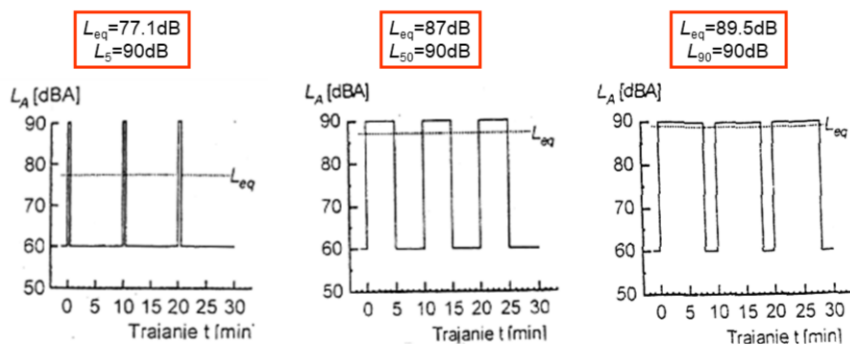
Kumulativna raspodela nivoa buke



Statistička raspodela nivoa buke

BUKA I VIBRACIJE

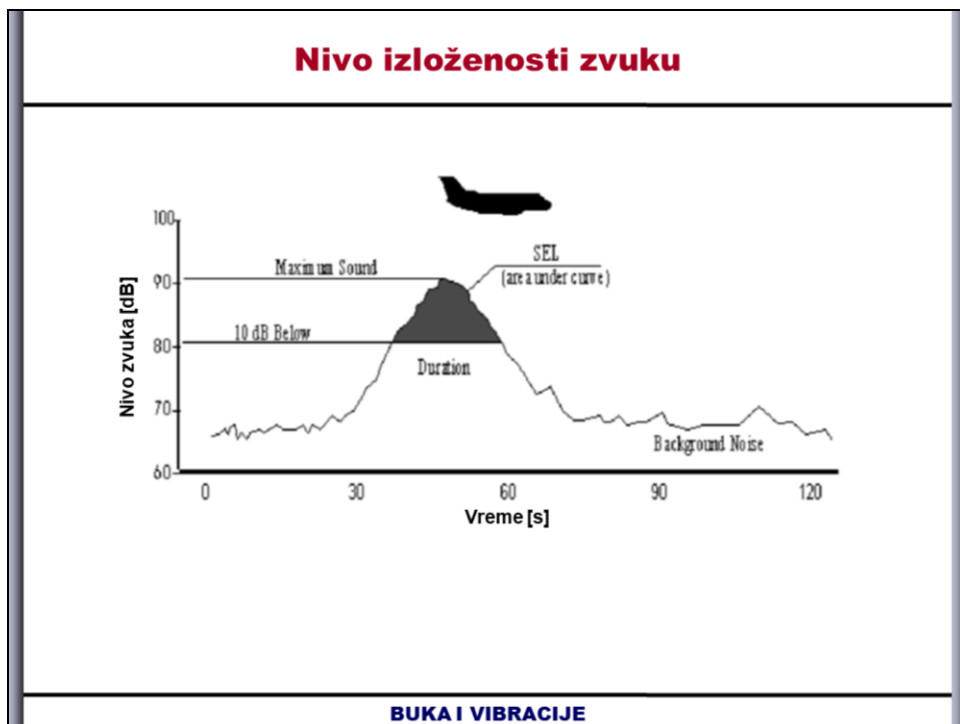
Ekvivalentni nivo buke



BUKA I VIBRACIJE

Visoki nivoi buke kratkog trajanja imaju veći uticaj na ekvivalentni nivo buke od niskih nivoa buke dugog trajanja.

Što je procenat trajanja viših nivoa veći, to će se ekvivalentni nivo buke znatnije razlikovati od srednje vrednosti nivoa buke (L_{50}) u istom intervalu.



Kratkotrajni zvučni događaji kod kojih je razlika između maksimalnog i rezidualnog (pozadinskog) nivoa zvuka velika, predstavljaju **tranzijentne događaje** (prelet aviona, prolazak automobila, eksplozija, *kratkotrajne operacije u radnoj sredini*, ...).

Tranzijentne pojave se karakterišu kratkim trajanjem i veoma visokim nivoom zvuka u odnosu na rezidualni (pozadinski) nivo zvuka.

Nivo izloženosti zvuku



BUKA I VIBRACIJE

Za tranzijentne pojave, čije merenje nivoa buke počinje i završava u rezidualnoj (pozadinskoj) buci, izmereni ekvivalentni nivo buke zavisi od mernog perioda, čak i ako je ukupna energija posmatrane pojave ista.

Veoma velika akumulirana energija zvuka u kratkom trajanju tranzijentne pojave (udar prese) može da utiče na različite izmerene vrednosti ekvivalentnog nivoa zvuka u zavisnosti od toga kada se prekine merenje.

Na ukupnu zvučnu energiju, a samim tim i na ekvivalentni nivo zvuka, utiču samo najviši nivoi zvuka koji se od maksimalnog nivoa zvuka razlikuju za **više od 10 dB**.

Za definisanje energije zvuka tranzijentnih pojava se koristi veličina **nivo izloženosti zvuku**, L_{AE} [dB].

Za nivo izloženosti zvuku se često upotrebljava i oznaka **SEL** (eng. Sound Exposure Level, Single Event Level).

SEL eliminiše uticaj mernog perioda na izmerenu vrednost.

SEL se definiše kao konstantni nivo zvuka koji ima istu energiju u jednoj sekundi kao i posmatrani vremenski promenljivi zvuk u nekom vremenskom periodu T .

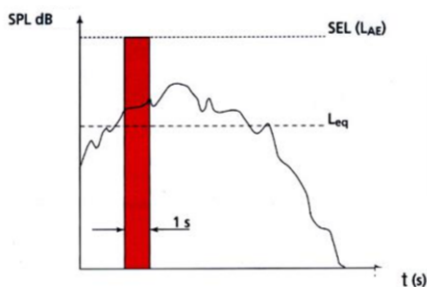
Nivo izloženosti zvuku

$$L_{AE} = 10 \log \frac{1}{T_0} \int_0^T 10^{L_A(t)/10} dt \text{ [dB]}$$

$L_A(t)$ – vremenski promenljiv A-nivo buke,

T – interval merenja,

$T_0 = 1 \text{ s}$.



$$SEL = 10 \log \left(\frac{1}{1 \text{ sec}} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \right)$$

BUKA I VIBRACIJE

Najopštija definicija nivoa izloženosti zvuku je data gornjim izrazom na slajdu.

Ukupna energija zvuka se računa za ukupni merni period, ali se umesto usrednjavanja u celom mernom periodu T , usrednjavanje vrši u toku referentnog vremena od $T_0 = 1 \text{ s}$.

SEL definiše **ukupnu energiju zvuka** u posmatranom vremenskom intervalu T , dok ekvivalentni nivo definiše **vremenski usrednjenu energiju zvuka – zvučnu snagu** u istom vremenskom intervalu T .

Pitanja za proveru znanja



1. Koji su razlozi za upotrebu veličine nivo zvuka?
2. Definicija nivoa zvuka;
3. Kako se menja nivo zvuka sa dvostrukim povećanjem intenziteta zvuka i zvučnog pritiska?
4. Kako se određuje rezultujući nivo složenog zvuka?
5. Kako se određuje nivo zvuka specifičnog izvora zvuka?
6. Šta predstavlja subjektivna jačina zvuka?
7. Šta su izofonske linije?
8. Čemu služi veličina glasnost zvuka?
9. Šta su i čemu služe ponderacione frekvencijske krive?
10. Šta predstavlja ekvivalentni nivo zvuka?
11. Šta predstavlja nivo izloženosti zvuku - SEL?