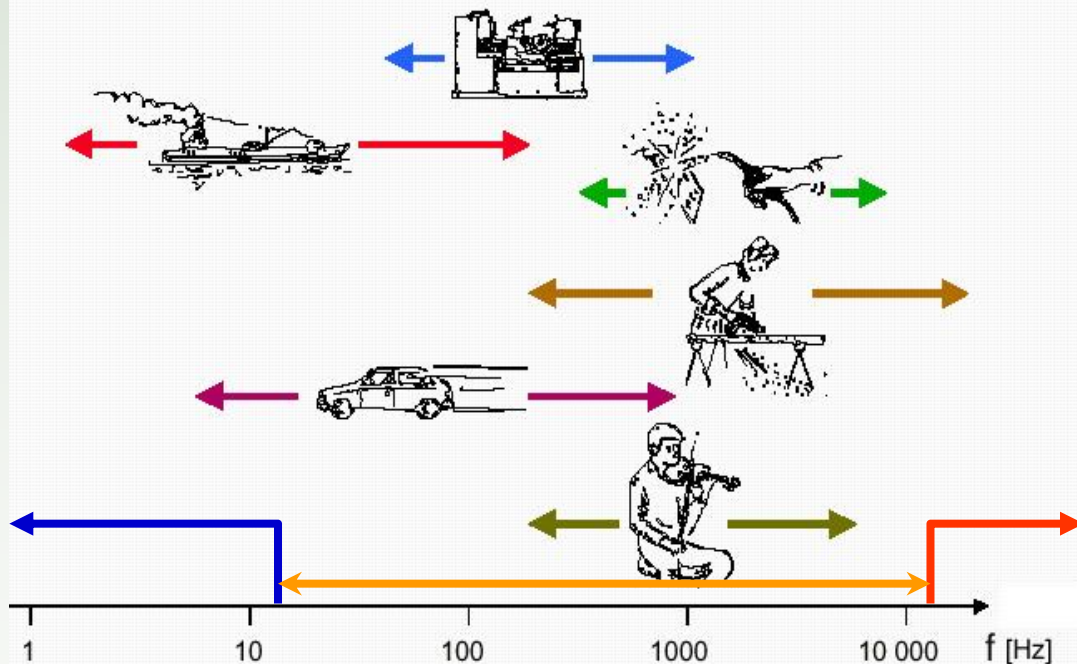


Frekvencijski i dinamički opseg čujnosti

► Frekvencijski opseg zvučnih signala koje generišu različiti izvori zvuka pokriva veoma široko frekvencijsko područje:

- **infracvuk, $f < 20\text{Hz}$**
- **čujni zvuk, $20\text{Hz} < f < 20\text{kHz}$**
- **ultrazvuk, $f > 20\text{kHz}$**

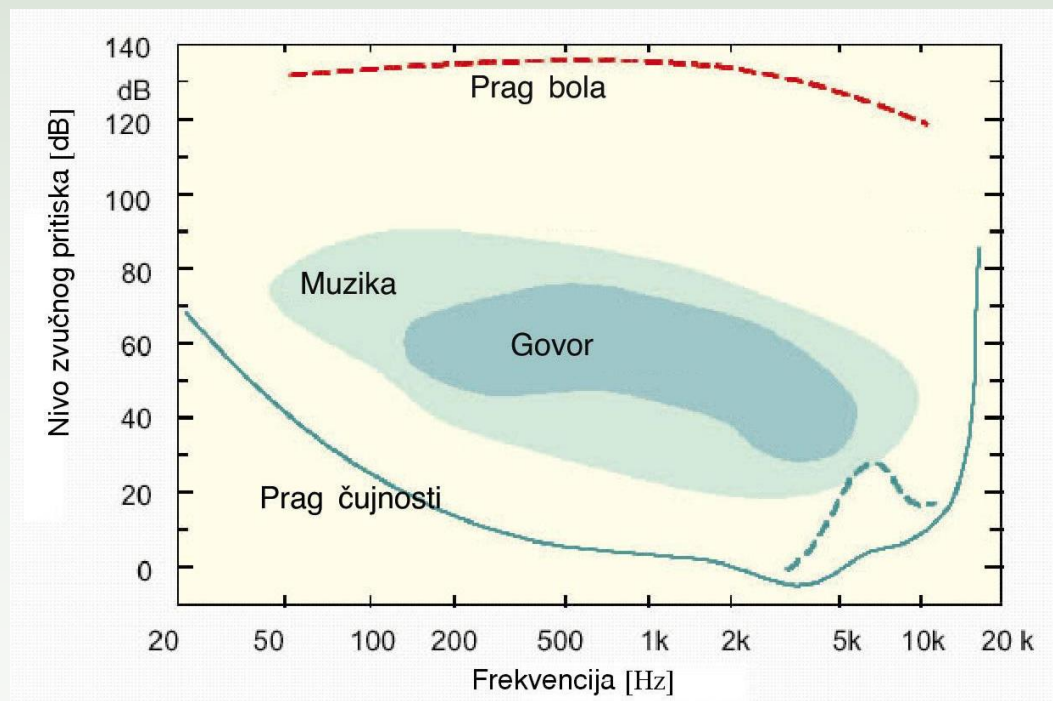
Frekvencijski opseg različitih zvučnih izvora



Frekvencijski opseg čujnosti ljudskog uha iznosi od 20Hz do 20kHz. Mlađe osobe mogu čuti, ponekad, frekvencije veće od 20kHz, dok osobe starije od 50 godina retko čuju frekvencije veće od 15kHz, a ponekad i ne veće od 10kHz.

Frekvencijski i dinamički opseg čujnosti

- ▶ Zahvaljujući velikom dinamičkom opsegu ljudsko uho može da registruje zvučne signale u opsegu od praga čujnosti do praga bola.
- ▶ **Prag čujnosti** predstavlja najniži zvučni pritisak (intenzitet zvuka) koji ljudsko uvo može da registruje. Prag čujnosti zavisi od frekvencije i predstavlja se krivom praga čujnosti.



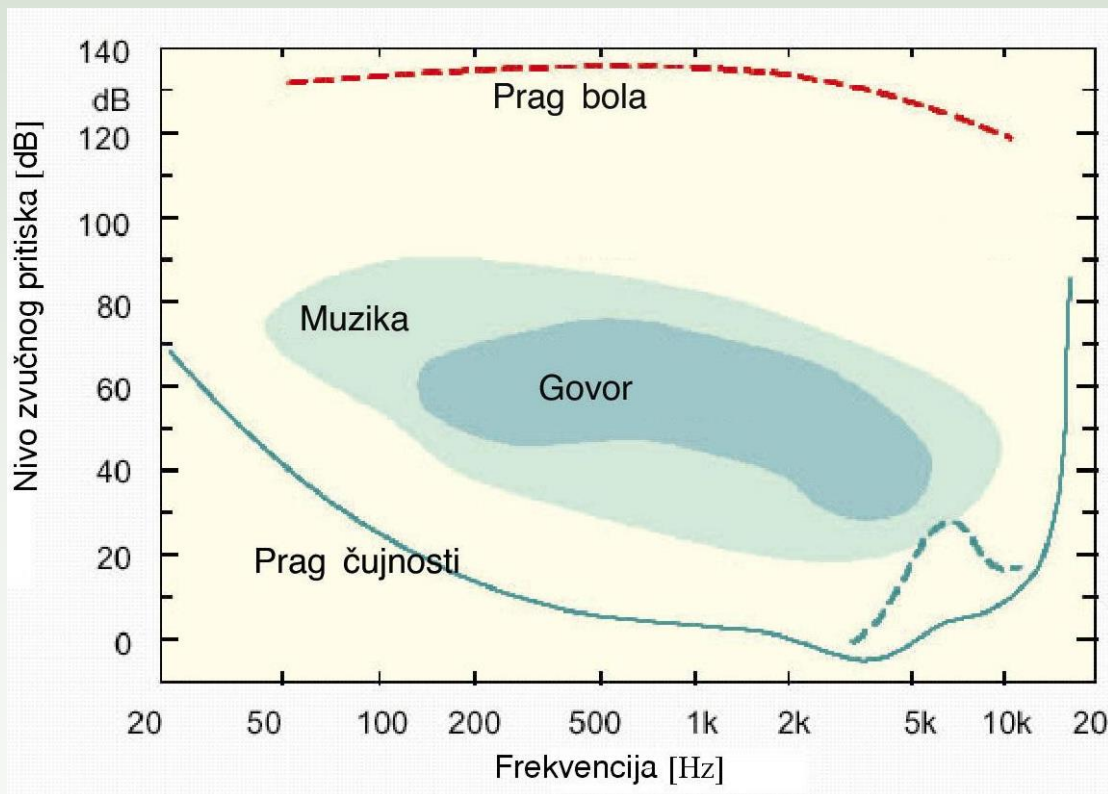
Prag čujnosti na
1000Hz ima vrednosti:

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} = 20 \mu\text{Pa}$$

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

Frekvencijski i dinamički opseg čujnosti

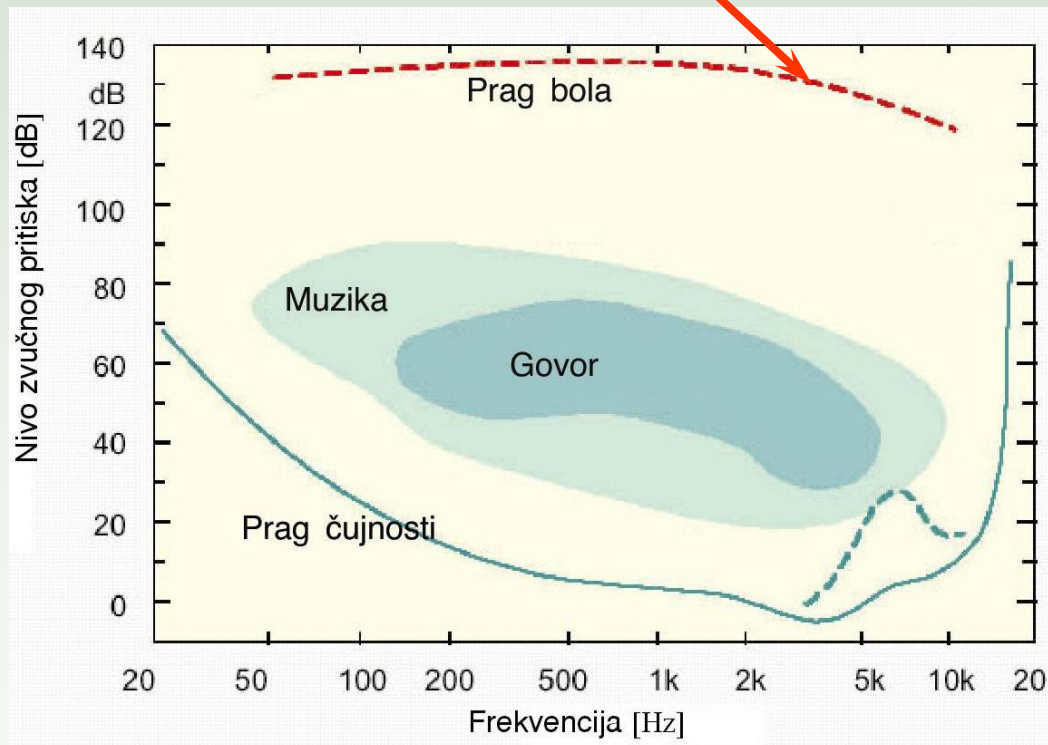
- Na ostalim frekvencijama prag čujnosti zavisi od frekvencije.
- Na niskim frekvencijama pobuđuje se cela bazilarna membrana pa je potrebna veća energija za njeno pokretanje, tako da je prag čujnosti viši.



- Na višim frekvencijama pobuđuje se samo deo membrane i manji deo energije je može pokrenuti, tako da je prag čujnosti niži, izuzev na veoma visokim frekvencijama.

Frekvencijski i dinamički opseg čujnosti

- ▶ **Prag bola** predstavlja najviši zvučni pritisak (intenzitet zvuka) koji ljudsko uvo može da registruje a da ne dođe do oštećenja organa sluha i neprijatnog osećaja bola. Prag bola zavisi od frekvencije i predstavlja se krivom praga bola.

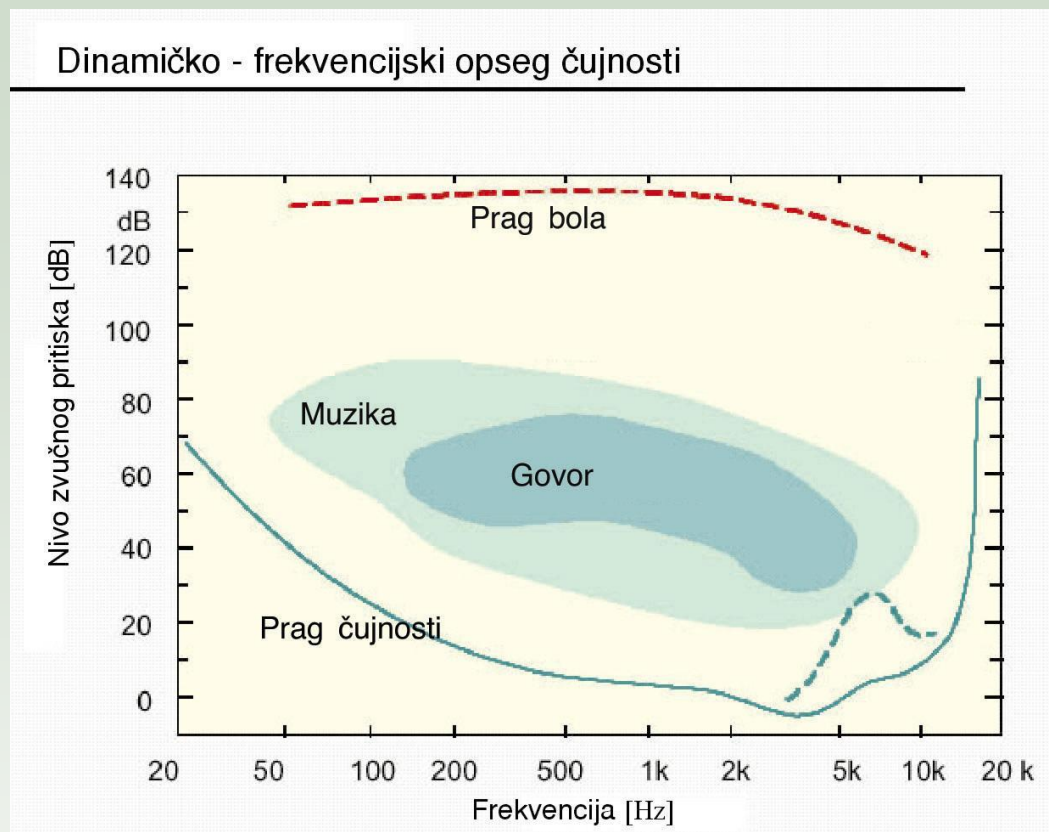


- ▶ Prag bola na 1000Hz ima vrednost za zvučni pritisak koja je za 10^6 puta (za intenzitet zvuka 10^{12}) veća od praga čujnosti:

$$p = 20\text{Pa}$$

$$I = 1\text{W/m}^2$$

Frekvencijski i dinamički opseg čujnosti



► Dinamički opseg čujnosti ljudskog uha na 1kHz iznosi:

● $p = (2 \cdot 10^{-5} \div 20) \text{Pa}$

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

Nivo buke

- ▶ Nivo određuje relativni odnos dve veličine ali ne i apsolutnu vrednost i u opštem slučaju određuje se kao logaritamski odnos dve veličine:

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

- ▶ Imajući u vidu male promene zvuka koje uvo zapaža, a u cilju dobijanja finije podela skale nivoa, za nivo zvuka uzeta je deset puta manja jedinica - decibel [dB]:

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

- ▶ Da bi se odredio apsolutni iznos određene veličine potrebno je imati vrednost jedne od veličina, tzv. referentnu vrednost.

Nivo buke

- ▶ Za nivo zvuka usvojena je konvencija da se kao referentna vrednost uzima vrednost koja odgovara pragu čujnosti na 1000Hz. Na decibelskoj skali referentna vrednost predstavlja nulu i svaka druga vrednost se poredi sa njom.

$$\begin{aligned} p_0 &= 2 \cdot 10^{-5} [\text{Pa}] = 20 [\mu\text{Pa}] & a_0 &= 10^{-6} [\text{m/s}^2] = 1 [\mu\text{m/s}^2] \\ I_0 &= 10^{-12} [\text{W/m}^2] = 1 [\text{pW/m}^2] & v_0 &= 10^{-9} [\text{m/s}] = 1 [\text{nm/s}] \\ P_0 &= 10^{-12} [\text{W}] = 1 [\text{pW}] & \xi_0 &= 10^{-12} [\text{m}] = 1 [\text{pm}] \end{aligned}$$

- ▶ Nivo veličina koje definišu generisanje i prostiranje zvučnih talasa:

$$\begin{aligned} L_I &= 10 \log \frac{I}{I_0} & L_p &= 20 \log \frac{p}{p_0} & L_P &= 10 \log \frac{P_a}{P_0} \\ L_a &= 20 \log \frac{a}{a_0} & L_v &= 20 \log \frac{v}{v_0} & L_\xi &= 20 \log \frac{\xi}{\xi_0} \end{aligned}$$

Sabiranje nivoa složenog zvuka

▶ Za složeni zvuk:

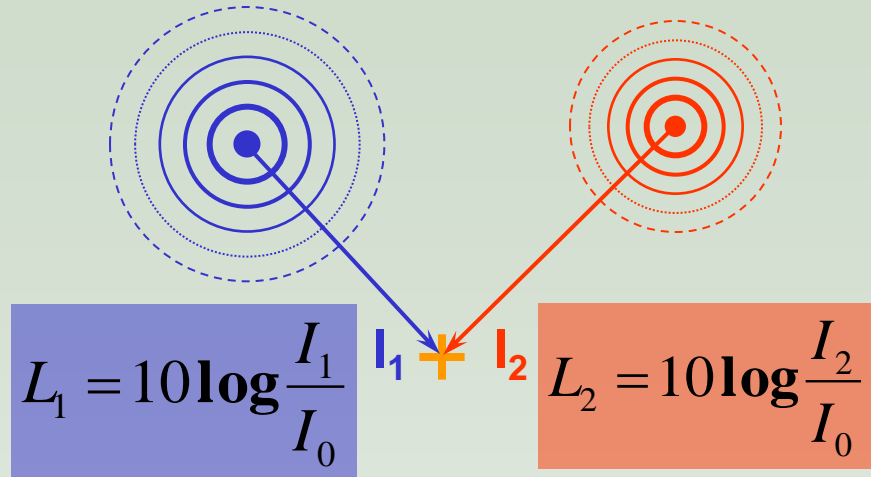
$$I_R = I_1 + I_2$$



$$L_R = 10 \log \frac{I_R}{I_0}$$

$$L_R = 10 \log \frac{I_1 + I_2}{I_0} = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0} + \frac{I_2}{I_0} \right)$$

DVA IZVORA



$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow \frac{I}{I_0} = 10^{L/10}$$

$$L_R = 10 \log \left(10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} \right)$$

Sabiranje nivoa složenog zvuka

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

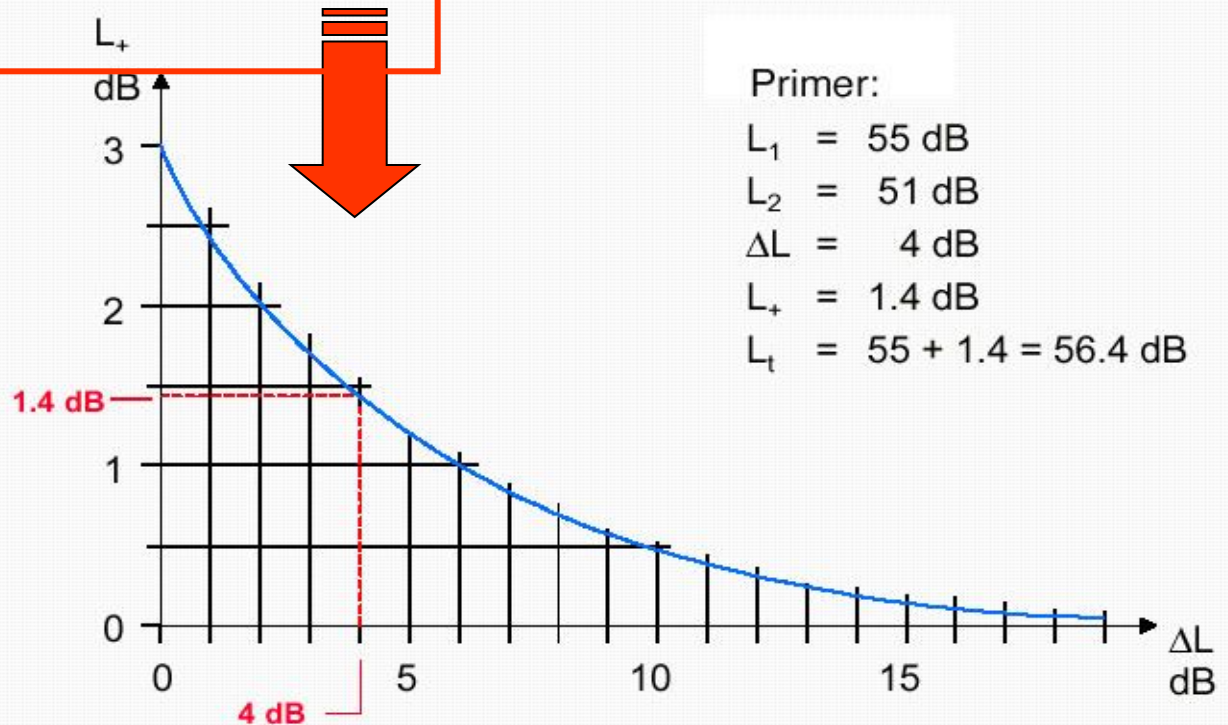
$$= 10 \log 10^{L_1/10} [1 + 10^{(L_2 - L_1)/10}]$$

$$= 10 \log 10^{L_1/10} + 10 \log [1 + 10^{(L_2 - L_1)/10}]$$

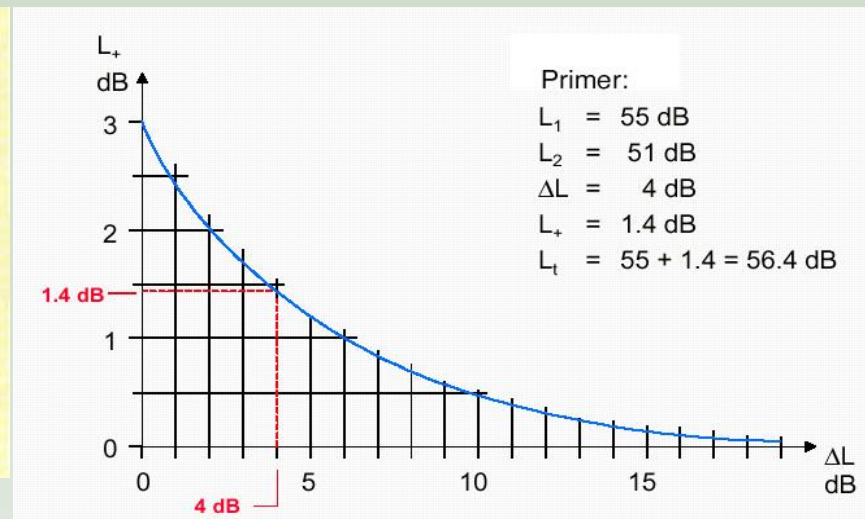
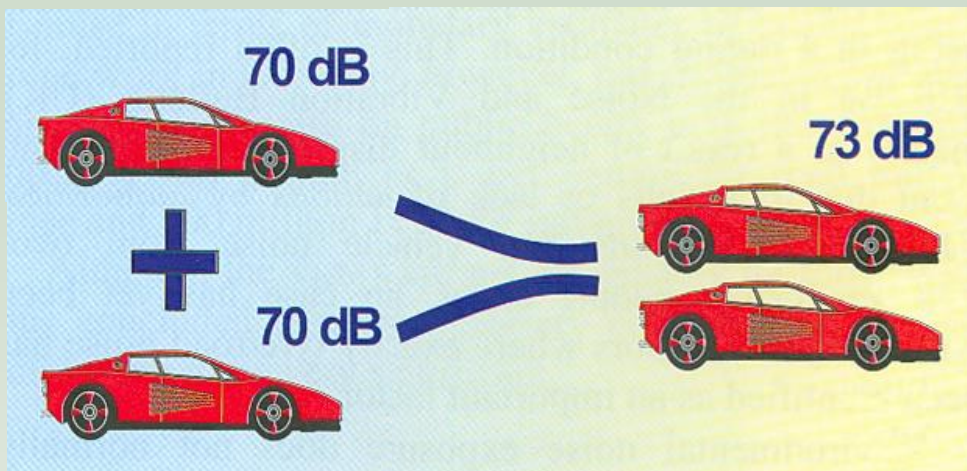
$$= L_1 + L_+$$

$$L_+ = 10 \log [1 + 10^{-(L_1 - L_2)/10}] = 10 \log [1 + 10^{-\Delta L/10}]$$

$$\Delta L = L_1 - L_2$$



Sabiranje nivoa složenog zvuka



Pravila:

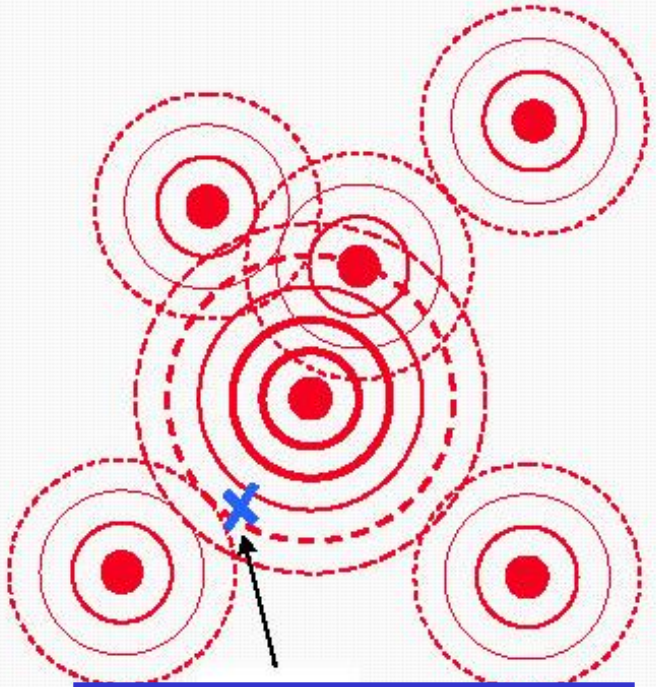
1. Za dva ista nivoa rezultujući nivo je za 3 dB veći.

$$0 \text{ dB} + 0 \text{ dB} = 3 \text{ dB}$$

2. Ako je razlika nivoa veća od 10dB, rezultujući nivo jednak je većem nivou.

Sabiranje nivoa složenog zvuka

VIŠE IZVORA



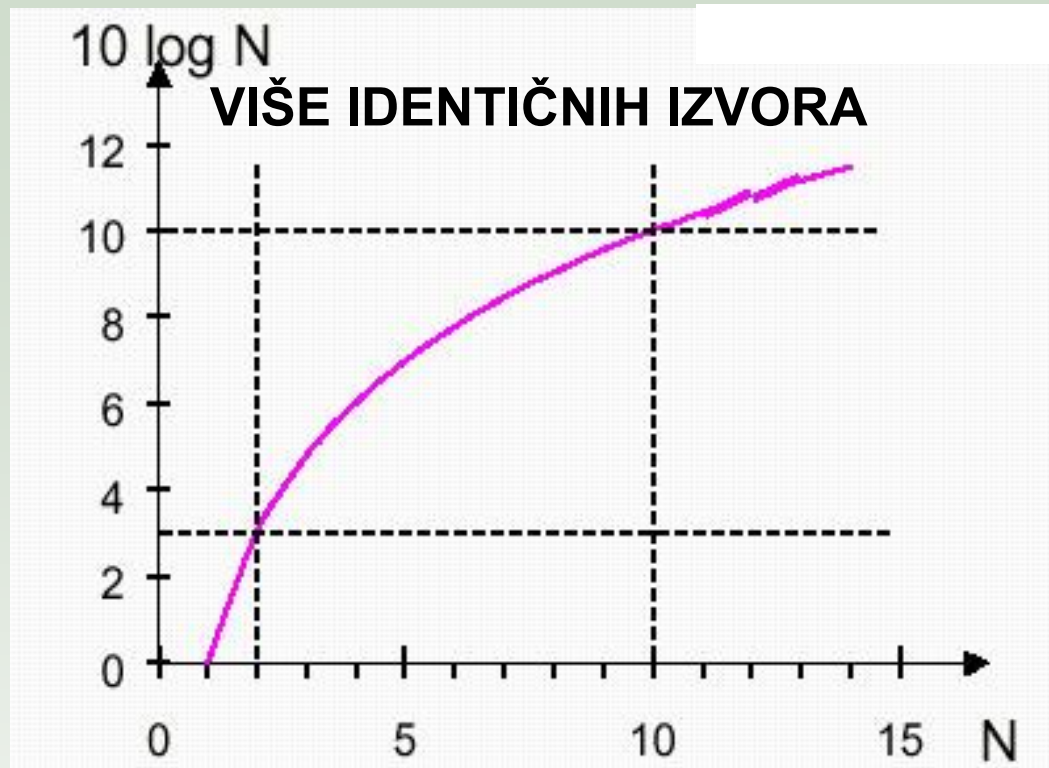
$$L_R = 10 \log \frac{I_R}{I_0} = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{I_0}$$

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

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

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

Sabiranje nivoa složenog zvuka

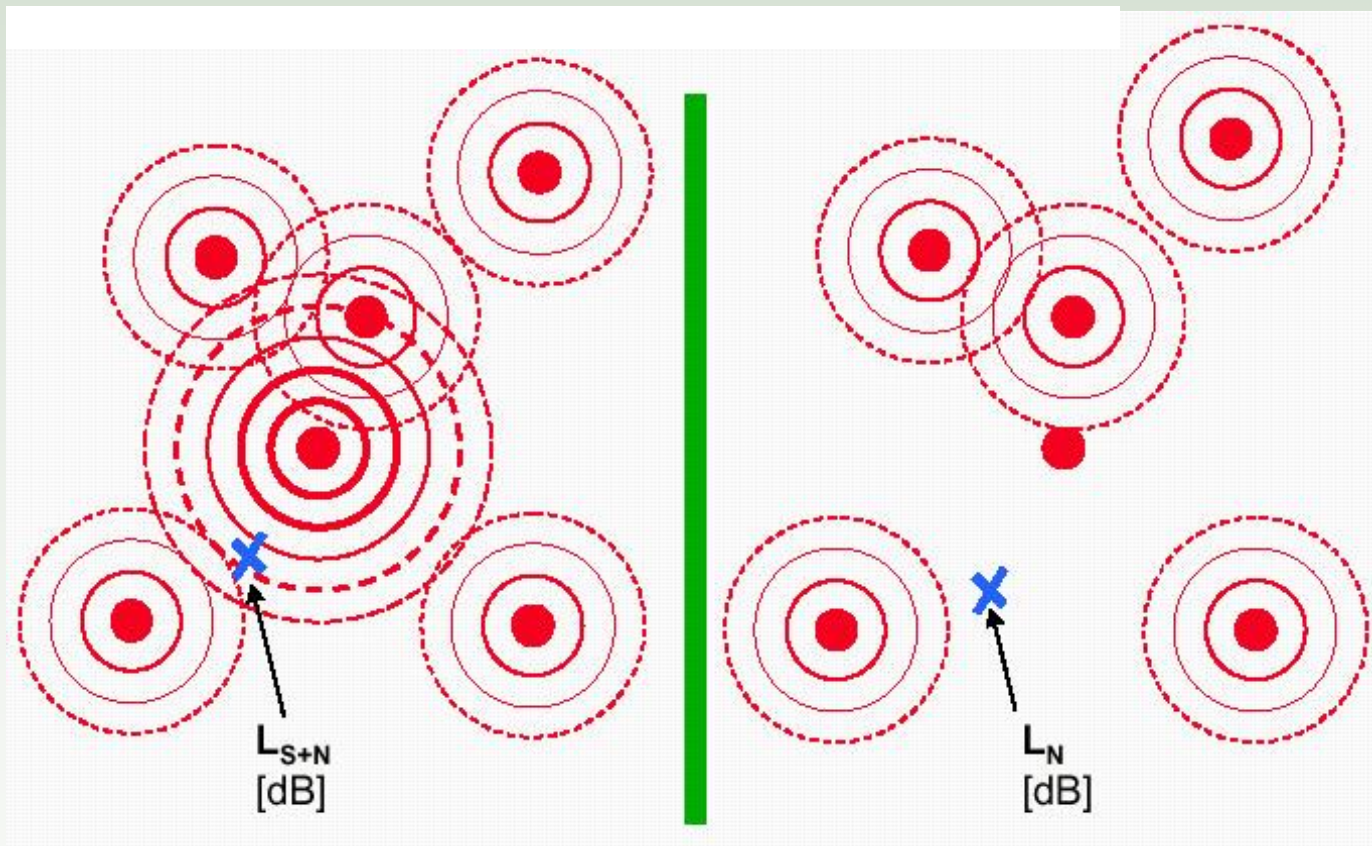


$$L_1 = L_2 = L_3 = \dots = L_n$$

$$L_R = L_1 + 10 \log N$$

Oduzimanje nivoa složenog zvuka

- Postupak oduzimanja nivoa zvuka primenjuje se u slučaju kada se određuje nivo zvuka u prisustvu pozadinskog zvuka (drugih izvora – koji se ne mogu isključiti).



Oduzimanje nivoa složenog zvuka

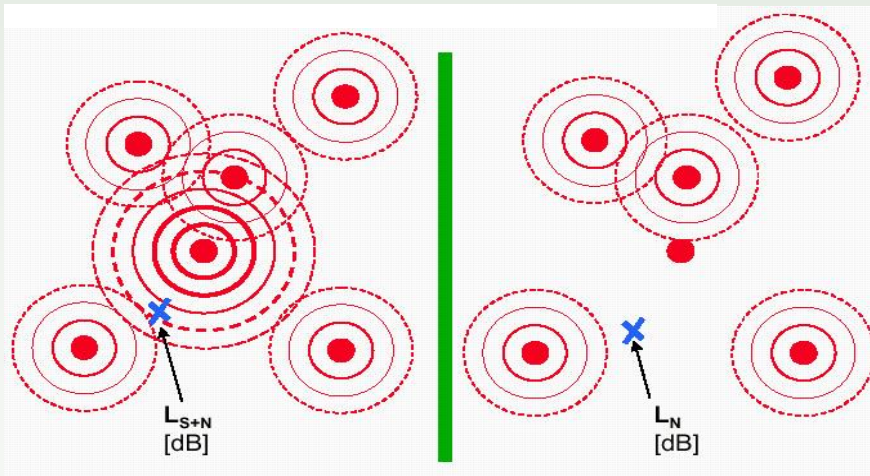
$$I_S = I_{S,N} - I_N = I_0 \cdot 10^{L_{S,N}/10} - I_0 \cdot 10^{L_N/10}$$

$$L_S = 10 \log \frac{I_S}{I_0} = 10 \log (10^{L_{S,N}/10} - 10^{L_N/10})$$

$$L_S = 10 \log 10^{L_{S,N}/10} (1 - 10^{-\frac{L_{S,N} - L_N}{10}})$$

$$L_S = 10 \log 10^{L_{S,N}/10} + 10 \log (1 - 10^{-\frac{L_{S,N} - L_N}{10}}) = L_{S,N} - L_-$$

$$L_- = -10 \log (1 - 10^{-\frac{L_{S,N} - L_N}{10}}) = -10 \log (1 - 10^{-\frac{\Delta L}{10}})$$

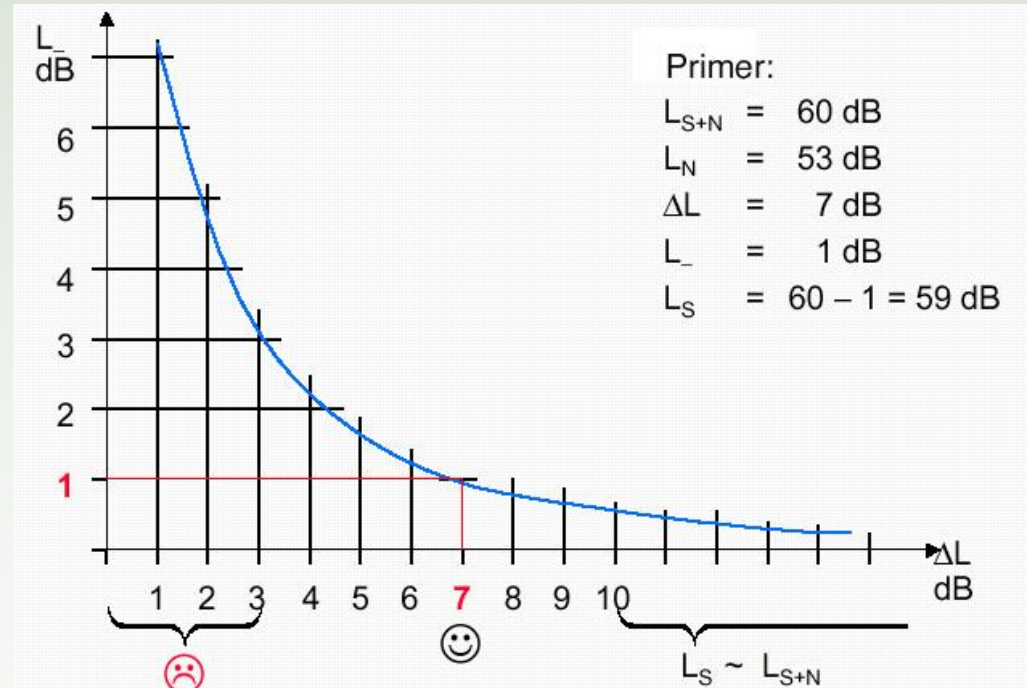


$$\Delta L = L_{S,N} - L_S$$

Oduzimanje nivoa složenog zvuka

Pravila:

- ⊕ Ako je ΔL manje od 3dB, pozadinska buka je prevelika za tačno merenje i mora se smanjiti.
- ⊕ Ako je ΔL veće od 10dB pozadinska buka se može ignorisati.
- ⊕ U ostalim slučajevima izmereni ukupni nivo buke treba korigovati za uticaj pozadinske buke opisanim postupkom.



Subjektivna jačina zvuka

➤ Subjektivni osećaj jačine zvuka zavisi od:

⊕ nivoa zvuka

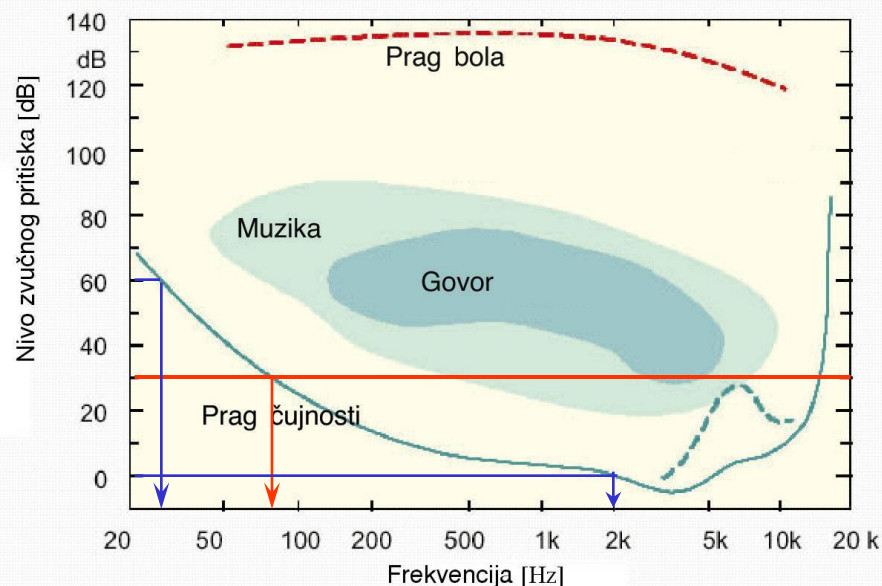
⊕ frekvencije

TAKO DA ...

➤ Dva zvuka istog nivoa, a različitih frekvencija, nemaju isti subjektivni osećaj.

➤ **Razlog:** Prag čujnosti kao i druge krive jednakih nivoa su frekvencijske zavisne.

Dinamičko - frekvencijski opseg čujnosti



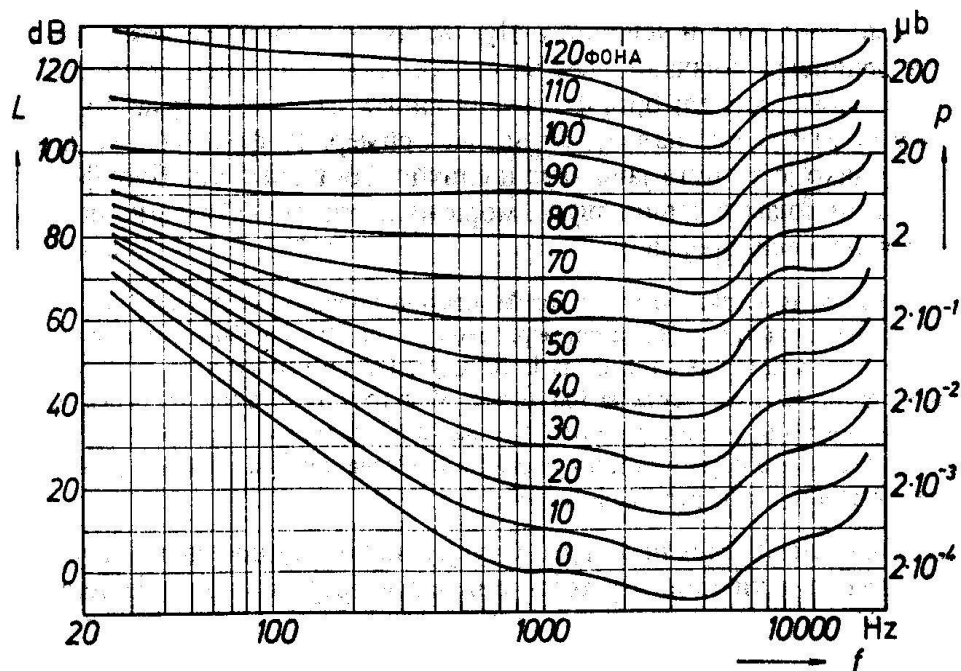
Subjektivna jačina zvuka

- ▶ Za izražavanje subjektivnog osećaja jačine zvuka uvedena je nova veličina - **subjektivna jačina zvuka Λ [fon]**.
- ▶ **OSOBINA:** Subjektivna jačina dva zvuka sa istim brojem fona identična za ljudsko uho.
- ▶ **USVOJENO:** Na 1000Hz subjektivna jačina zvuka ima istu vrednost kao objektivna jačina zvuka.

$$L[\text{dB}] = \Lambda[\text{fon}]$$

Subjektivna jačina zvuka

- Za frekvencije iznad i ispod 1000Hz, fonska i decibelska skala nisu ekvivalentne.
- Subjektivna jačina zvuka u fonima određuje se eksperimentalno, promenom nivoa zvuka odgovarajućeg tona sve dok subjektivna ocena njegove jačine ne bude ista sa subjektivnom jačinom tona na 1000Hz.
- Na taj način dobijene su izofonske linije - **linije sa istim brojem fona bez obzira na frekvenciju.**
- Pomoću izofonskih linija se može naći veza između objektivne i subjektivne jačine, odnosno fona i decibela i obrnuto.



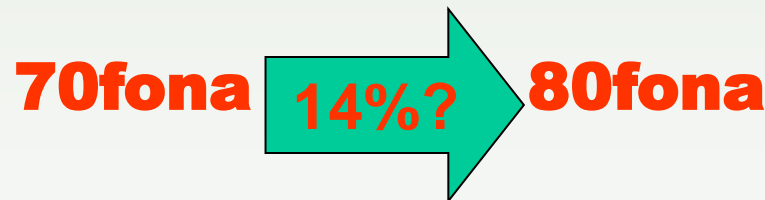
Izofonske linije po Flečeru i Mansonu

Glasnost zvuka

- ▶ Primena fonske skale i veličine subjektivne jačine zvuka ne omogućuje da se izvrši subjektivna gradacija jačine zvuka tako da nam ne može ilustrovati kako ljudsko uho razlikuje različite jačine zvuka.

TRAGANJE ZA ODGOVORIMA NA PITANJA

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

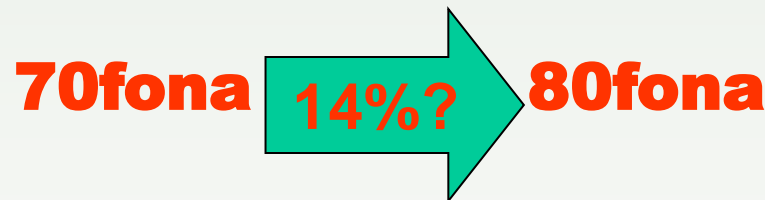


Glasnost zvuka

- ▶ Primena fonske skale i veličine subjektivne jačine zvuka ne omogućuje da se izvrši subjektivna gradacija jačine zvuka tako da nam ne može ilustrovati kako ljudsko uho razlikuje različite jačine zvuka.

TRAGANJE ZA ODGOVORIMA NA PITANJA

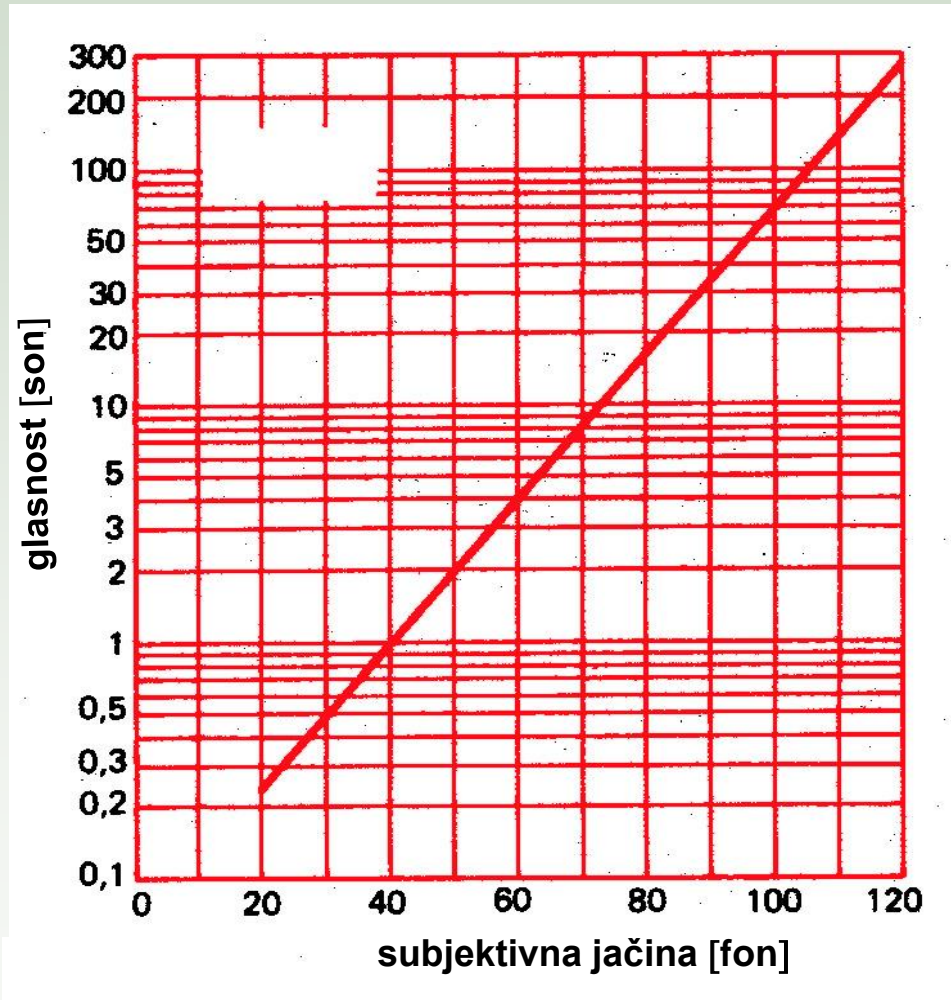
- ⊕ Da li je promena subjektivne jačine od X fona mala ili velika?
- ⊕ Koliko puta se subjektivno povećala jačina zvuka?



Glasnost zvuka

- ▶ Odgovore na postavljena pitanja daje sonska skala, odnosno veličina **glasnost zvuka**, sa jedinicom **son**.
- ▶ Glasnost zvuka definiše koliko je neki zvuk glasniji od zvuka čija je glasnost 1son.
- ▶ Pomoću sonske skale može se izvršiti gradacija glasnosti zvuka:

Zvuk koji ima 8sona je dvostruko glasniji od zvuka čija je glasnost 4sona.



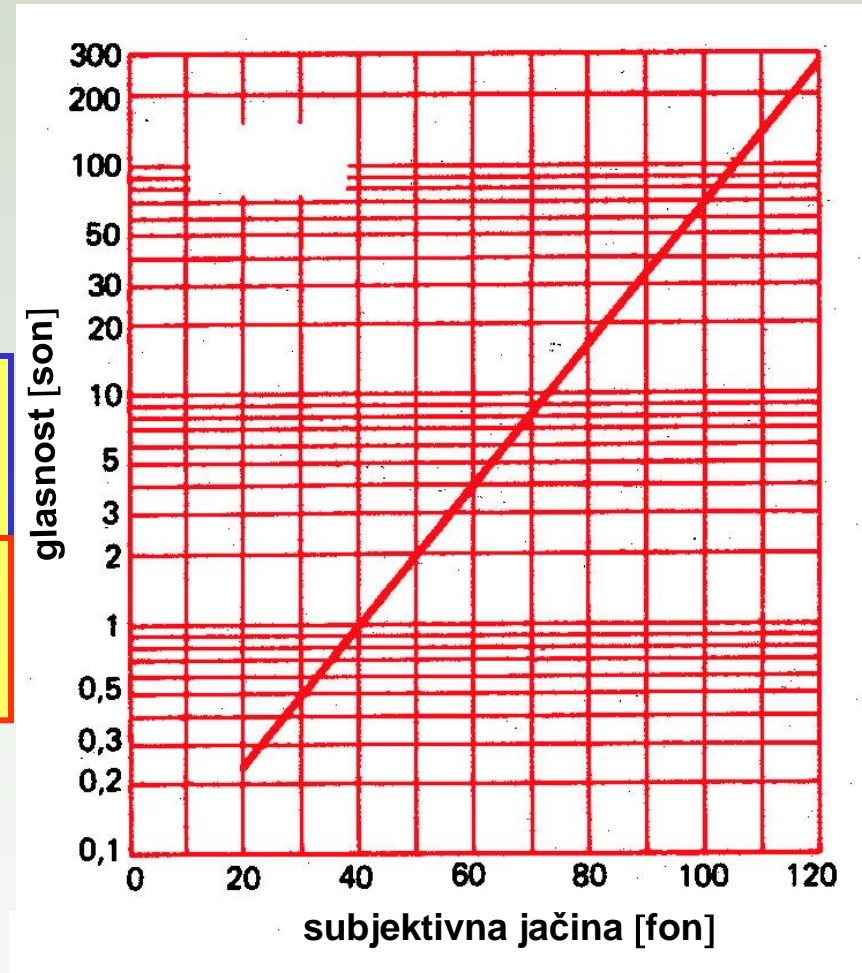
Glasnost zvuka

- ▶ Svako povećanje subjektivne jačine od 10 fona udvostručuje glasnost.
- ▶ Subjektivnoj jačini od 40 fona odgovara glasnost od 1 sona.

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

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

NIVO GLASNOSTI

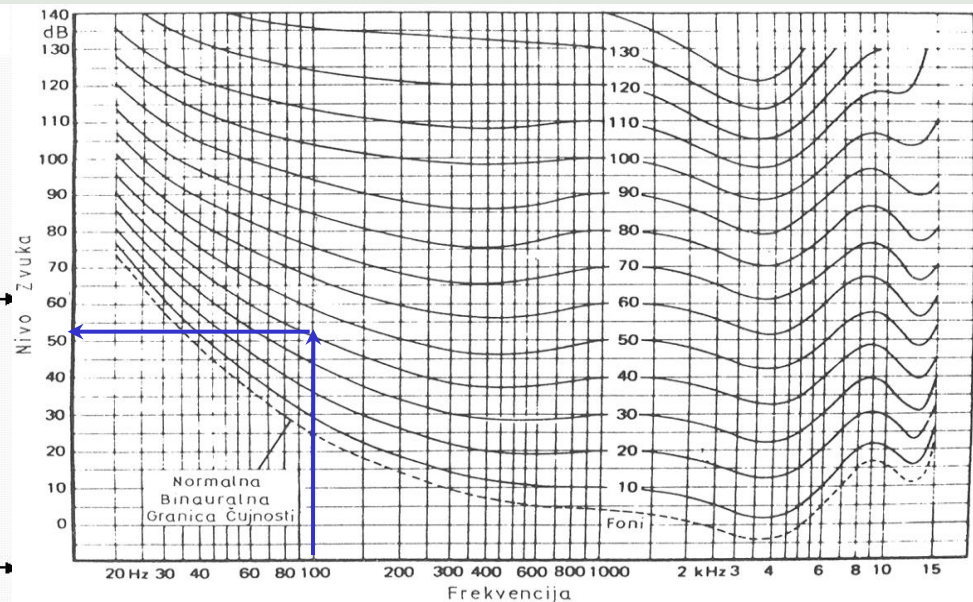
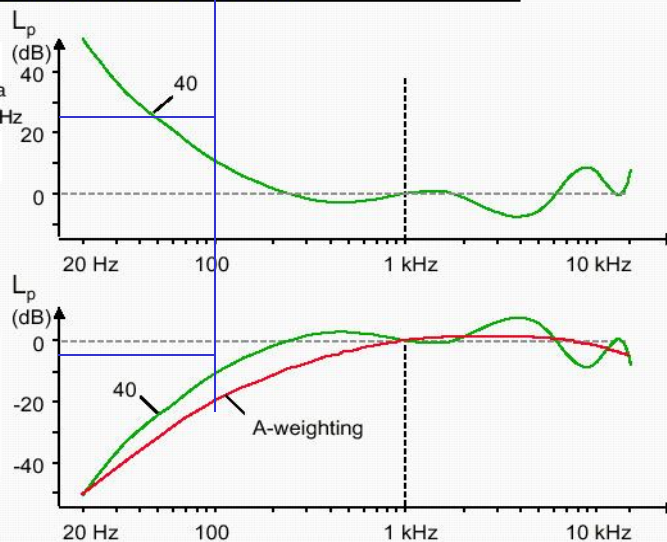


Težinske krive

- Zašto su potrebne težinske krive?
Potreba za merenjem subjektivne jačine zvuka dovela je do uvođenja težinskih krivih.
- Postupak kreiranja A-težinske krive.
Da bi zvuk na 100Hz imao subjektivnu jačinu od 40fona taj zvuk mora da ima objektivni nivo od 51dB. Prema tome, da bi instrument umesto 51 pokazao 40 potrebno je uneti slabljenje od 11dB. To je upravo razlika između vrednosti izofonske linije od 40fona na 1000Hz i 100Hz. Ako se analogno primeni isti zaključak i za ostale frekvencije, frekvencijska karakteristika instrumenta bi trebalo da ima vrednost izvrnute izofonske linije od 40 fona normalizovane na nultu vrednost na 1000Hz da bi instrument pokazivo subjektivnu jačinu.

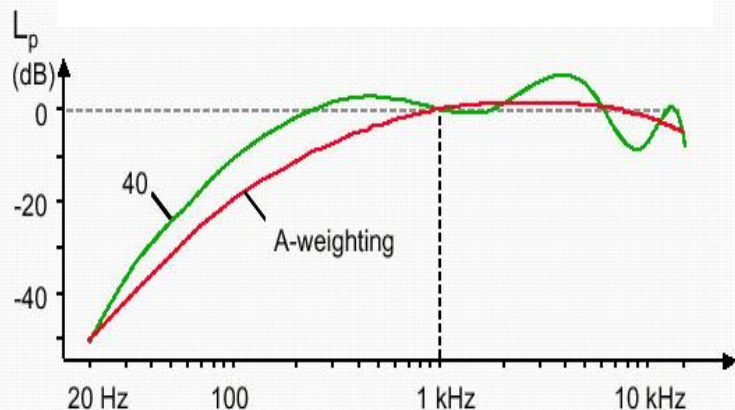
40dB izofonska linija i A-težinska kriva

- 40dB izofonska linija normalizovana na 0dB na $f=1000\text{Hz}$

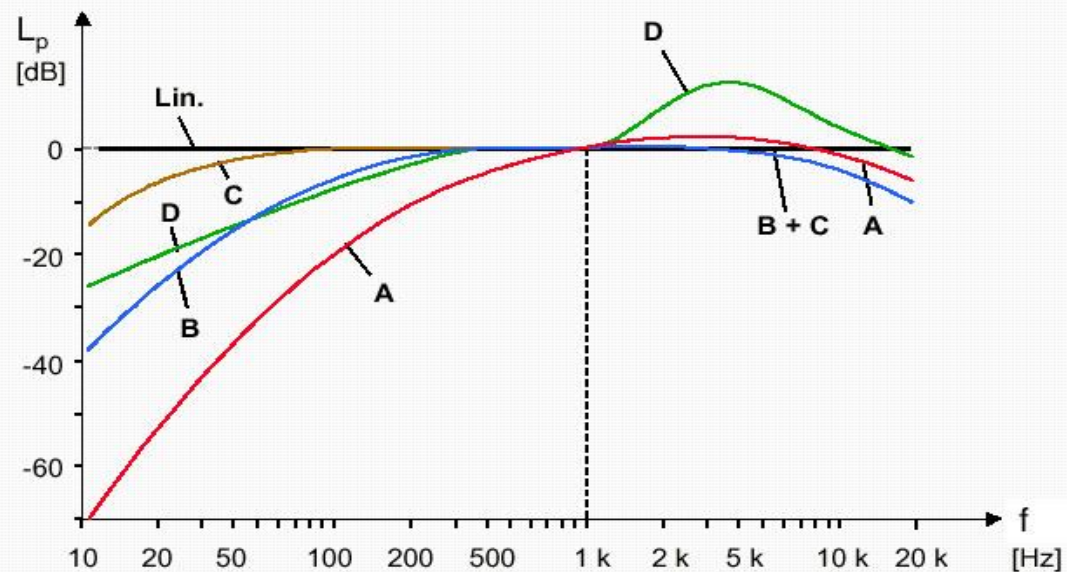


Težinske krive

- ▶ Dakle, za svaku subjektivnu jačinu zvuka potrebno je imati drugu frekvencijsku karakteristiku, čime bi se instrument komplikovao. Zato su standardizovane tri frekvencijske karakteristike, A, B i C težinske krive, koje približno odgovaraju izvrnutim izofonskim linijama od 40, 70 i 100fona prethodno normalizovanim na nultu vrednost na 1000Hz.
- ▶ **Težinska kriva** predstavlja frekvencijsku karakteristiku koja daje pojedinim frekvencijama veći ili manji značaj, odnosno “težinu”, usklađujući time reakciju instrumenta sa osetljivošću organa sluha na zvuk (izofonskim linijama).



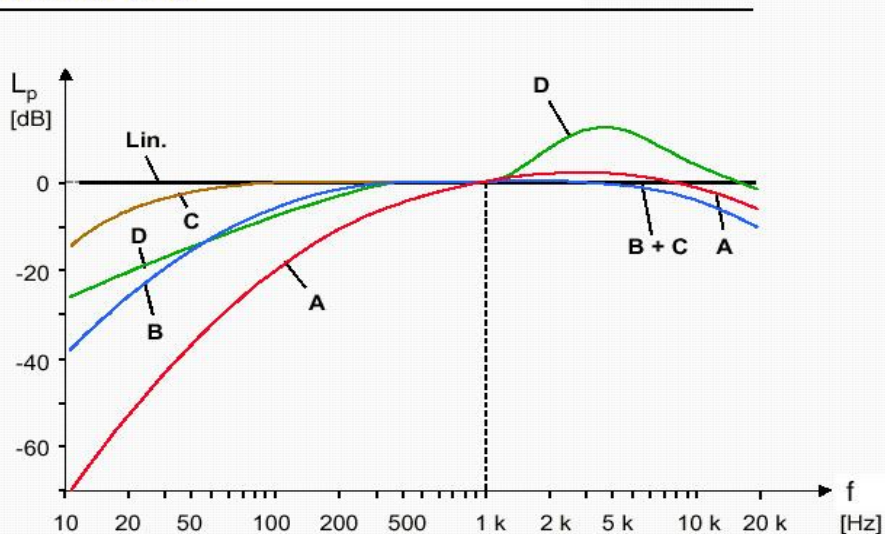
Težinske krive



Težinske krive

► Slabljenje težinskih krivi

Težinske krive

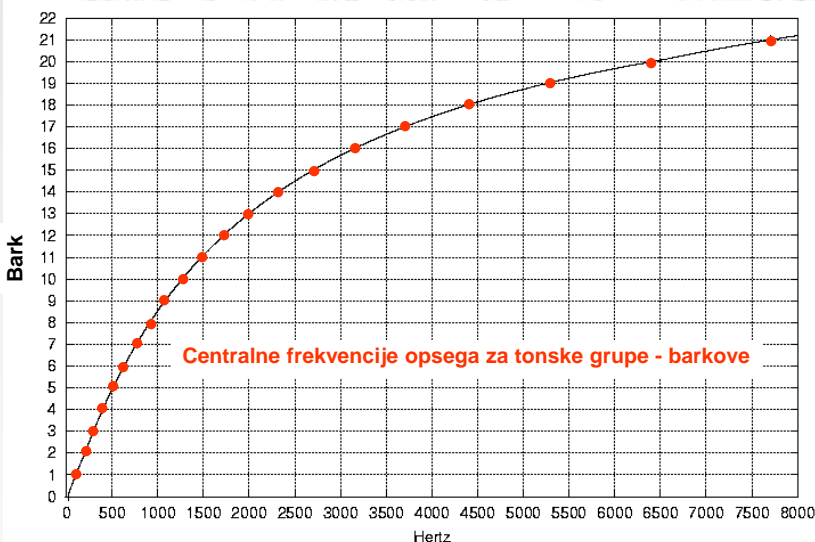
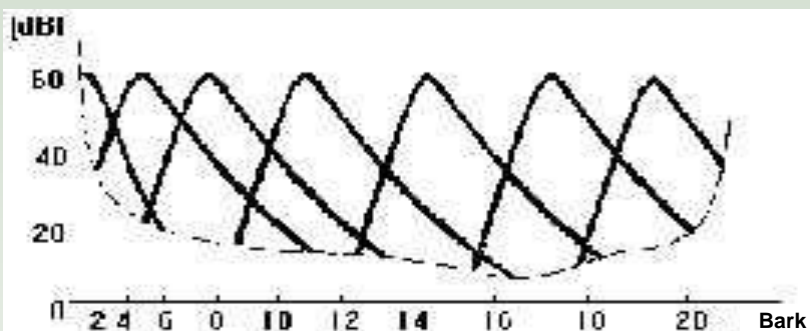


f[Hz]	Kriva A [dB]	Kriva B [dB]	Kriva C [dB]
50	-30.2	-11.6	-1.3
63	-26.2	-9.3	-0.8
80	-22.5	-7.4	-0.5
100	-19.1	-5.6	-0.3
125	-16.1	-4.2	-0.2
160	-13.4	-3.0	-0.1
200	-10.9	-2.0	0
250	-8.6	-1.8	0
315	-6.6	-0.8	0
400	-4.8	-0.5	0
500	-3.2	-0.3	0
630	-1.9	-0.1	0
800	-0.8	0	0
1000	0	0	0
1250	0.6	0	0
1600	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

**SUBJEKTIVNA
JAČINA SLOŽENOG
ZVUKA**

Raspodela energije na bazilarnoj membrani

▶ Bazilarna membrana osciluje frekvencijski selektivno. Ona se može podeliti po dužini na 24 radne grupe ćelija. Svaka radna grupa obuhvata ćelije na dužini od oko 1.3mm. Frekvencijski opseg koji pobuđuje odgovarajuću radnu grupu naziva se *bark*. Frekvencijski opsezi imaju do oko 500 Hz pojasnu širinu od oko 100 Hz, a iznad 500 Hz širina im je približno jednaka širini tercnog pojasa



Dakle, bazilarna membrana ne osciluje samo na mestu maksimalne pobude, već se oscilovanje proteže na šire područje čija širina zavisi kako od jačine signala tako i od frekvencije.



Za visoke frekvencije osciluje samo deo membrane blizu ovalnog prozora, dok za niske frekvencije osciluje cela membrana. Energija zvuka na niskim frekvencijama raspoređena je po celoj dužini membrane, dok se energija visokim frekvencijama koncentriše u delu membrane blizu ovalnog prozora.

Subjektivna jačina složenog zvuka

► Pri određivanju subjektivne jačine složenog zvuka treba imati na umu sledeću činjenicu: **Uvo registruje jednaku glasnost bez obzira na frekvencijski karakter zvuka koji pobuđuje bazilarnu membranu na širini jedne radne grupe – barka.**

Posledica: Uskopojasni zvuk sa spektrom koji pokriva frekvencijski opseg jednog barka ili prost ton na centralnoj frekvenciji frekvencijskog opsega istog barka, jednake efektivne vrednosti zvučnog pritiska, uvo registruje kao jednaku glasnost zvuka.

Razlog: Za zvuk uskog spektra sve komponente složenog zvuka pobuđuju praktično isti deo bazilarne membrane, pa se složeni zvuk može tretirati kao prost ton čija je efektivna vrednost zvučnog pritiska:

$$p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + \dots + p_n^2}$$

odnosno efektivna vrednost intenziteta zvuka:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

gde su: p_1, p_2, \dots, p_n efektivne vrednosti zvučnog pritiska i intenziteta
 I_1, I_2, \dots, I_n zvuka komponenti složenog zvuka

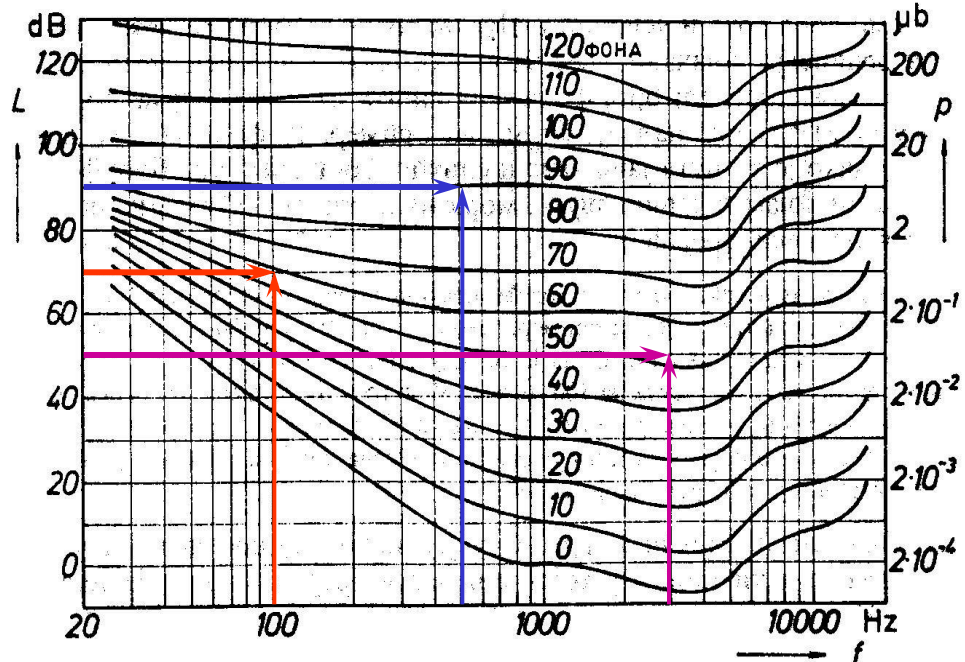
Subjektivna jačina složenog zvuka

➤ Komponente složenog zvuka vrlo različitih frekvencija. Rastojanje komponenti na frekvencijskoj skali do 500Hz veće je od širine oktave, a iznad 500Hz veće od širine terce. Komponente pobuđuju različite grupe osjetljivih ćelija bazilarne membrane. U tom slučaju, potrebno je za svaku komponentu posebno naći glasnost zvuka, odrediti rezultujuću glasnost sabiranjem svih sone i ponovo pretvoriti sone u fone kako bi se dobila subjektivna jačina složenog zvuka.

f[Hz]	100	500	2000
L[dB]	70	90	50
Λ [fon]	60	90	52
S[son]	4	32	2.3

$$\Sigma S = 38.3 \text{ [son]}$$

$$\Lambda = 40 + 33 \log \Sigma S = 92.2 \text{ [fon]}$$

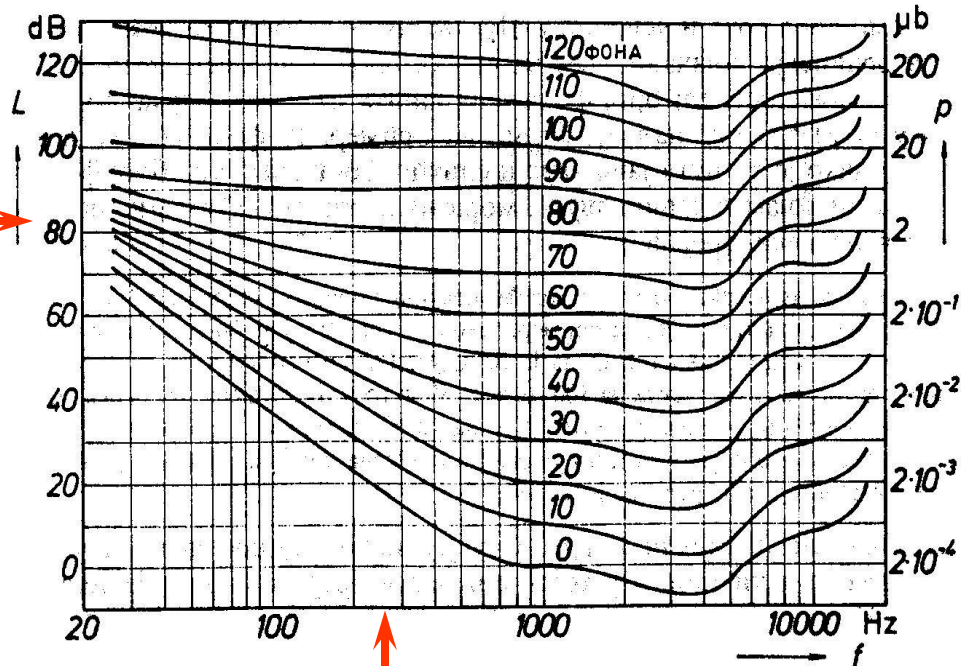
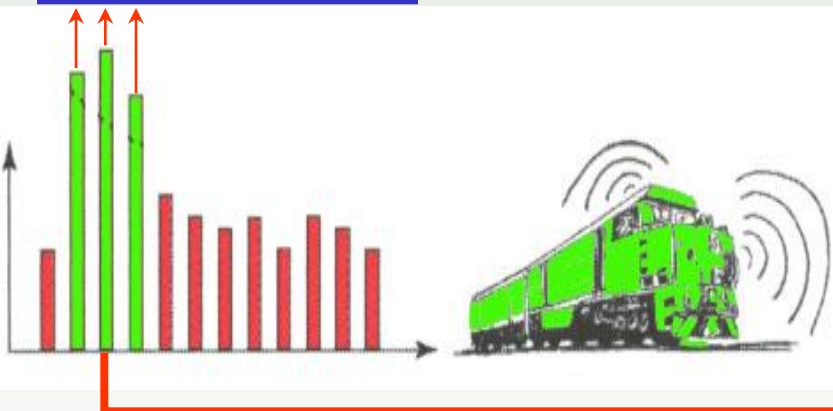


Subjektivna jačina složenog zvuka

➤ **Složeni zvuk vrlo uskog spektra.** Komponente složenog zvuka pobuđuju praktično isti deo bazilarne membrane, pa se takav zvuk može posmatrati kao sinusoidalan. U tom slučaju potrebno je sabrati intenzitete svih komponenti, i na osnovu rezultujućeg intenziteta, odnosno nivoa zvuka, sa dijagrama izofonskih linija odrediti jačinu zvuka u fonima za srednju frekvenciju posmatranog opsega. Dakle, ovakav postupak se može primeniti za frekvencije koje pripadaju istom oktavnom opsegu na niskim frekvencijama do 500Hz, ili istom tercnom opsegu na višim frekvencijama iznad 500Hz.

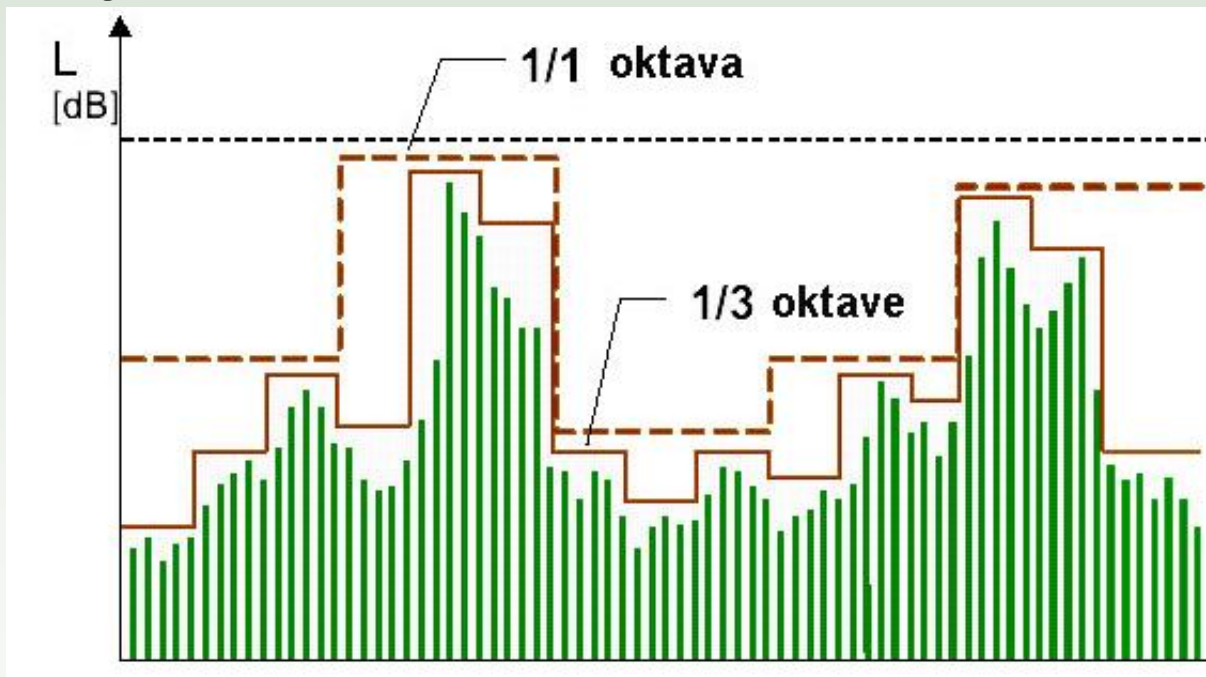
$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} [\text{dB}]$$

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$



Subjektivna jačina složenog zvuka

- **Složeni zvuk širokog spektra.** Zvuk sadrži veoma veliki broj gusto raspoređenih komponenti koje pokrivaju široki opseg frekvencija. Dolazi do pobuđivanja više radnih grupa ćelija organa sluha, međusobnog preklapanja i maskiranja.
- Subjektivna jačina se određuje primenom **Stivensene metode**, polazeći od spektra složenog zvuka po tercama. Iz praktičnih razloga, subjektivna jačina se može odrediti na osnovu preračunatog ili izmerenog oktavnog spektra složenog zvuka.



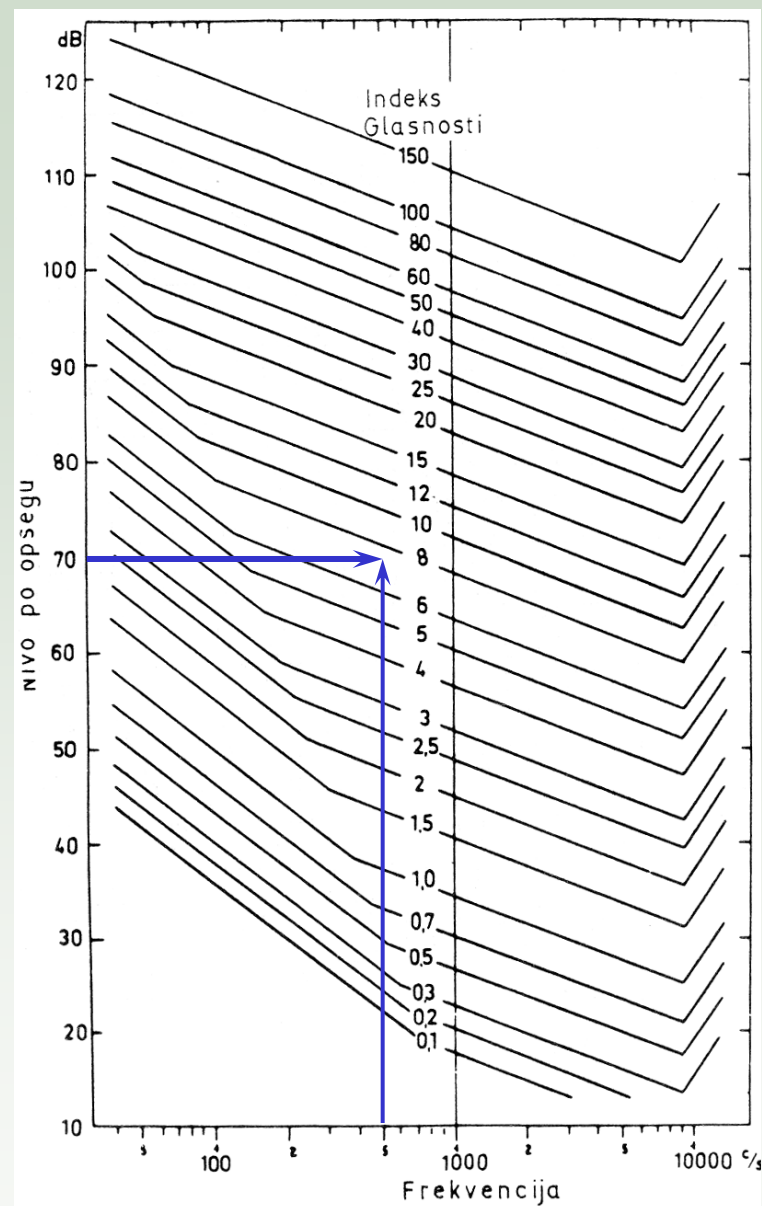
Subjektivna jačina složenog zvuka

- Za svaku centralnu frekvenciju terce, na osnovu nivoa zvuka tercnog opsega, sa Stivensenovog dijagrama određuje se indeks glasnosti u sonima, S_i .
- Glasnost složenog zvuka, S , određuje se primenom formule kojom se daje određena prednost terci sa najvećim indeksom glasnošću, S_{max} :

$$S = S_{max} + F \left(\sum_i S_i - S_{max} \right)$$

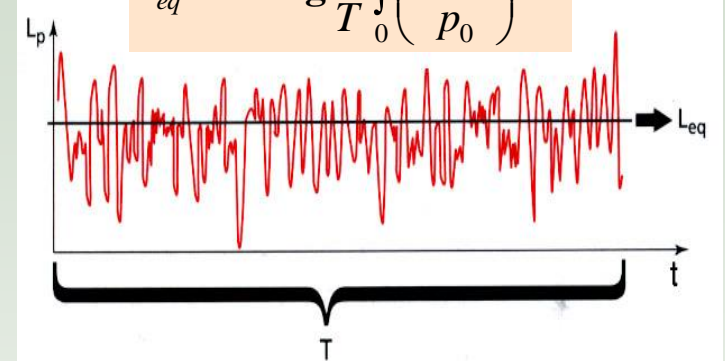
- Koeficijent F uzima u obzir pojasnu širinu korišćenog filtra i efekata maskiranja. Ima vrednost 0.15 za terčni spektar složenog zvuka, a vrednost 0.3 za oktavni spektar složenog zvuka.
- Subjektivna jačina:

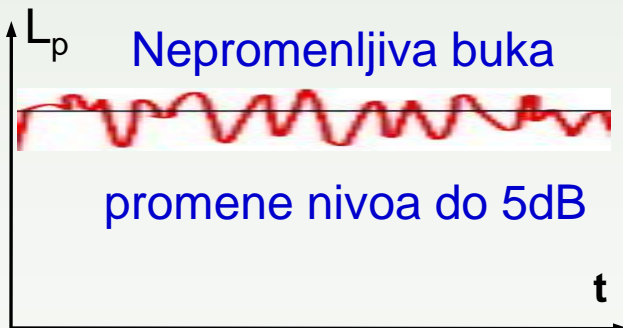
$$\Lambda = 40 + 33 \log S$$



Ekvivalentni nivo buke

- U realnim uslovima čest je slučaj da je zvuk dugotrajan i da je nivo zvuka (buke) promenljiv sa vremenom (buka u industriji, saobraćajna buka, muzika).
- Da bi se procenjivao uticaj takvog zvuka na čoveka, ili komparirala izmerena vrednost nivoa sa dozvoljenom, uvedeno je jednobrojno izražavanje vremenski promenljivog zvuka pojmom - ekvivalentni nivo zvuka (buke), L_{Aeq} [dB].
- Ekvivalentni nivo zvuka (buke) predstavlja konstantni (prosečni) nivo zvučnog pritiska, koji u određenom vremenskom intervalu ima istu zvučnu energiju kao posmatrani, vremenski promenljiv nivo zvučnog pritiska.

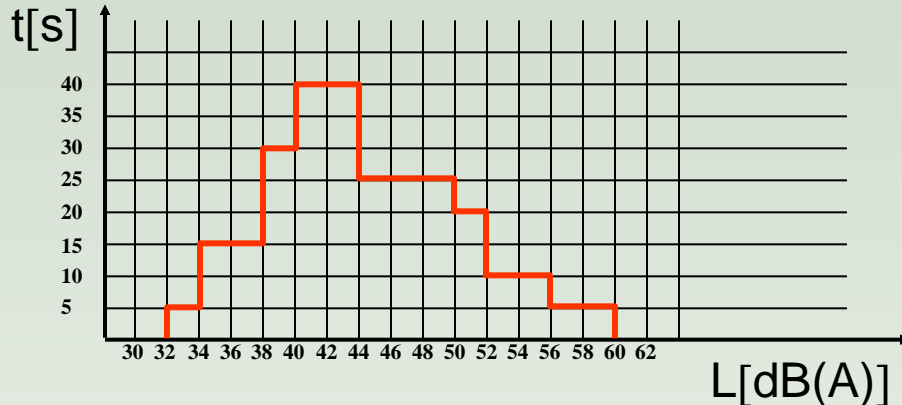
$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt$$

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



Ekvivalentni nivo buke

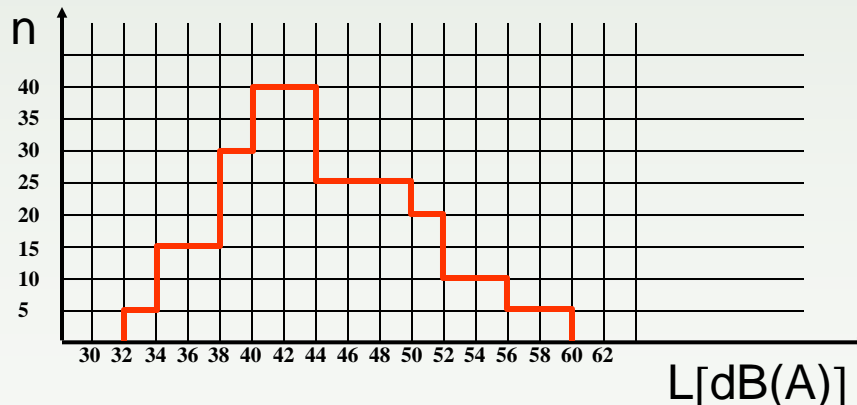
► Ekvivalentni nivo zvuka se može praktično odrediti:

- uzorkovanjem promenljivog nivoa zvuka i određivanjem vremena trajanja pojedinačnih nivoa promenljivog zvuka



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

- uzorkovanjem promenljivog nivoa zvuka i klasiranjem pojedinačnih nivoa promenljivog zvuka prema nivou



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

t_i - trajanje i-tog nivoa zvuka L_i
 T - ukupno vreme uzorkovanja
 n_i - broj uzoraka nivoa L_i
 n - ukupan broj uzoraka

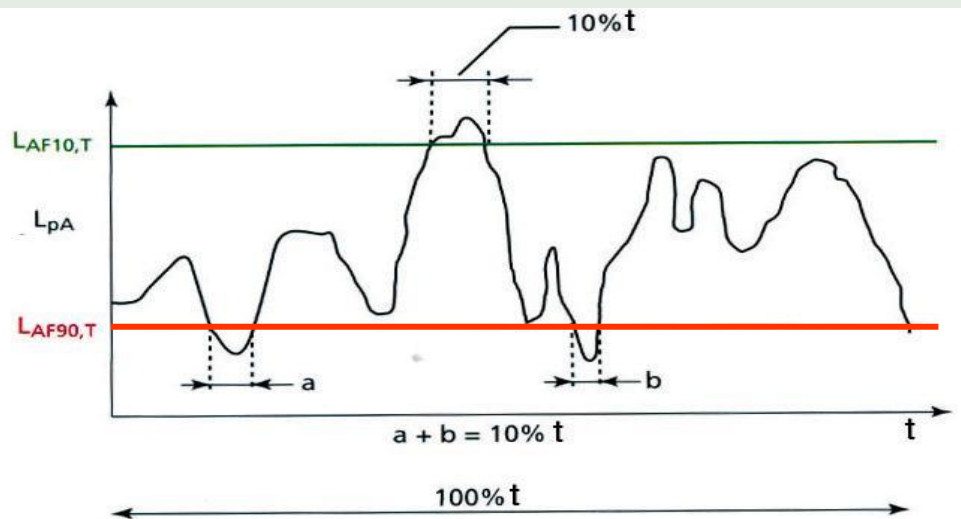
Ekvivalentni nivo buke

- ▶ Izražavanjem vremenski promenljivog nivoa zvuka (buke) pomoću ekvivalentnog nivoa uspostavlja se veza sa **vremenom** kao parametrom koji u proceni štetnog dejstva zvuka (buke) izražava dužinu ekspozicije posmatranom nivou i **frekvencijom** korišćenjem A-težinske krive pri merenju promenljivog nivoa zvuka (buke).
- ▶ Statističkom analizom vremenski promenljivog zvuka u amplitudnom domenu, mogu se izračunati i procentualni nivoi L_n , koji predstavljaju nivoe koji su premašeni u $n\%$ ukupnog mernog vremena.

L_{10} [dB] – nivo koji je premašen u 10% posmatranog vremenskog intervala

L_{50} [dB] – nivo koji je premašen u 50% posmatranog vremenskog intervala

L_{90} [dB] – nivo koji je premašen u 90% posmatranog vremenskog intervala

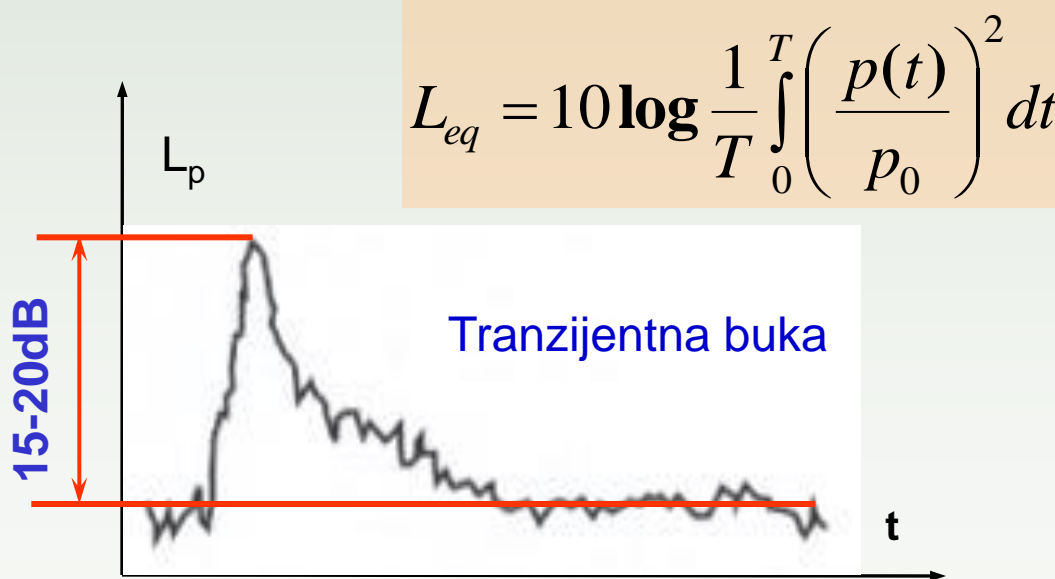


- ▶ Ako je verovatnoća raspodele nivoa približna Gausovoj tada važi relacija:

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

SEL

- Zvučni događaji gde je razlika između maksimalnog i pozadinskog nivoa zvuka (buke) velika, predstavljaju tranzijentne (kratkotrajne) pojave. Na ukupnu zvučnu energiju, a samim tim i na L_{eq} , kao prosečnu zvučnu energiju, utiču samo najviši nivoi koji se od maksimalnog nivoa razlikuju 15÷20dB.
- Za tranzijentne (kratkotrajne) pojave, kao što su preleti aviona, prolazak automobila, eksplozije i sl., gde merenje počinje i završava u pozadinskoj buci, ekvivalentni nivo zavisi od mernog perioda, čak i ako je ukupna energija posmatrane pojave ista.



SEL

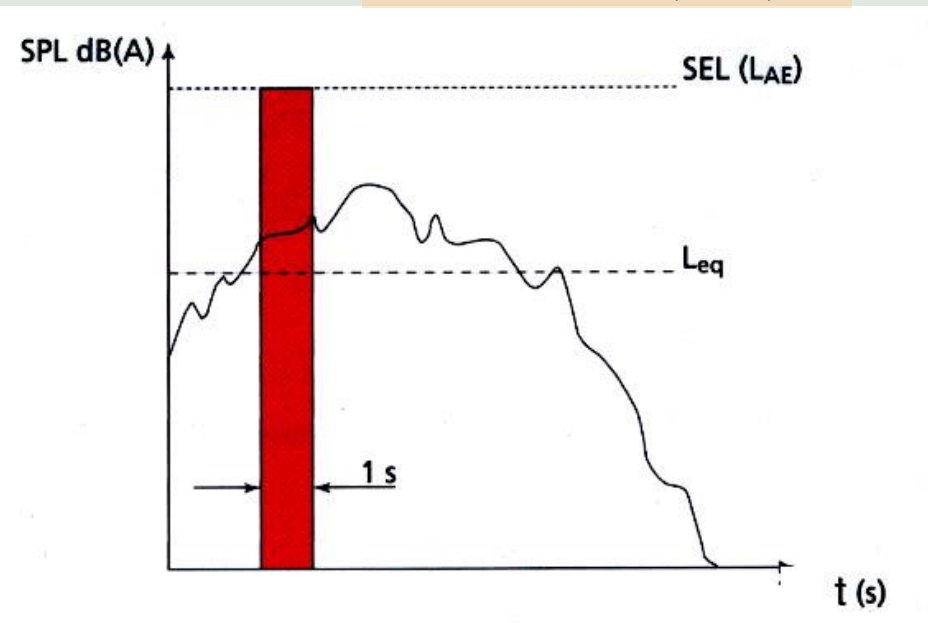
- Za tranzijentne pojave koristi se SEL (Sound Exposure Level - nivo izloženosti zvuku), koji eliminiše uticaj mernog perioda.

SEL se definiše kao konstantni nivo zvučnog pritiska koji ima istu energiju u jednoj sekundi kao i posmatrana pojava.

$$L_{AE} = 10 \log \frac{1}{T_0} \int_{-\infty}^{+\infty} \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt [\text{dB(A)}], T_0 = 1\text{s}$$

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

- Kao i kod ekvivalentnog nivoa, ukupna zvučna energija se računa za ukupni merni period, ali se umesto usrednjavanja u celom mernom periodu usrednjavanje vrši u toku referentnog vremena od 1s. SEL stoga definiše ukupnu zvučnu energiju, a ekvivalentni nivo vremenski usrednjenu zvučnu energiju – zvučnu snagu.



SEL

➤ SEL se može primeniti za izračunavanje ekvivalentnog nivoa za dati period T ako su poznate pojedinačne vrednosti SEL-a za različite zvučne događaje, L_{AE} , koji se pojavljuju u tom periodu. Za samo jedan događaj u vremenskom intervalu T veza između SEL-a i L_{eq} je:

$$L_{eq} = L_{AE} - 10 \log \frac{T}{T_0}, T_0 = 1s$$

a za više događaja:

$$L_{eq} = 10 \log \sum_i 10^{0.1 L_{AEi}} - 10 \log \frac{T}{T_0}, T_0 = 1s$$

Primer:

Izračunati ekvivalentni nivo za osmočasovni period rada mašine koja u tom periodu ima 400 ciklusa rada operacija. SEL vrednost za svaki ciklus iznosi 105dB.

$$L_{eq} = 10 \log 400 \cdot 10^{105/10} - 10 \log \frac{8 \cdot 3600}{1}$$

$$L_{eq} = 10 \log 400 + 105 - 10 \log 28800$$

$$L_{eq} = 86.4 \text{dB(A)}$$