

Buka – nastanak, mjerjenje, zaštita I dio

U ovom broju m-Kvadrata uvesti ćemo vas u problematiku buke, te ćemo objasniti najvažnije pojmove koje treba razumjeti kako bi se mogao shvatiti problem buke. Kroz iduće brojeve našeg časopisa slijede još neke jako bitne činjenice o buci

Autor: Mario Zovko dipl.ing.str.

Uvod u problematiku

Prema uobičajenim definicijama iz literature:

“Buka je svaki zvuk čija razina prekoračuje najviše dozvoljene razine propisane zakonom s obzirom na vrijeme i mjesto gdje nastaje u sredini u kojoj ljudi borave i rade. Izvorom buke smatra se svaki objekt sa sredstvima za rad i transport, uređajima, instalacijama, te bučne aktivnosti i drugi objekti i radnje od kojih se širi zvuk a koji prelazi dopuštene razine. Sredinom u kojoj ljudi borave i rade smatraju se svi otvoreni i zatvoreni prostori u naseljima i izvan naselja u kojima se ljudi zadržavaju radi boravka, odmora i rekreacije.”

Svi mi znamo što je to “buka”. To je jednostavno zvuk koji nam pravi problem, koji nas ometa, ne da nam da se odmaramo, koncentriramo, radimo itd. Najčešće dolazi iz našeg životnog i radnog okoliša: buka prometa, buka iz ugostiteljskih objekata, buka od stare klime, od kompresora iz obližnje hladnjače, vika djece itd.

Velika većina nas zna i to da su s bukom povezani i neki “decibeli”, mjerenja buke, sudski sporovi, pa čak i fizički sukobi uz intervencije policije itd. Iz mog profesionalnog iskustva mogu samo da spomenem slučaj zajapurenog čovjeka koji je za sebe tražio “0 decibela i ni jedan više” uz prijetnje oružjem svima koji bi se usudili i pomisliti da njemu puštaju te vražje decibele. Nula i nikakve tolerancije!

Na žalost u praksi je jako visok je stupanj neinformiranosti ljudi glede buke i zaštite od buke a tu prvenstveno mislim na ambijentalnu buku, odnosno buku iz susjedstva. Zaštita od buke na radu je sasvim drugačiji pojam koji se tiče točno određene grupacije ljudi i za područje rada postoje druga pravila koja ga uređuju pa zato u ovom radu neću doticati taj problem.

Cilj mi je na (nadam) se razumljiv način ukratko objasniti pojmove koje je većina ljudi čula ali im u principu ne zna značenje iako bi trebali svi trebali znati ponešto o problemu buke. Najvažniji pojmovi koje treba razumjeti kako bi se mogao shvatiti problem buke su:

- Zvuk
- Zvučni tlak
- Intenzitet zvuka
- Snaga zvuka
- Frekvencija zvuka
- Glasnoća zvuka
- Decibel (Bel)
- Ekvivalentna razina buke

Zvuk

Zvuk nastaje pravilnim kretanjem (titranjem, osciliranjem) čestica materije i može se širiti samo kroz materijalnu sredinu, a ne prolazi kroz vakuum. Izvor zvuka može biti zategnuta žica, membrana i slično koja svojim titranjem vrši udare na čestice zraka i izaziva pravilne promjene u zraku.

Ovakvi titraji mogu nastati u tekućinama i plinovima, ali čovjek je okružen zrakom pa prima zvuk primarno iz zraka. Zbog tih promjena u zraku nastaju zgušnjavanja i razrjeđenja koja se kroz materijal šire u obliku zvučnih valova. Nešto slično onome kad bacimo kamen u mirnu vodu i vidimo širenje koncentričnih krugova.

Brzina rasprostiranja zvuka ovisi o vrsti materijala i njegovoj temperaturi, a različita je za razne vrste materijala: kod temperature od 20 °C brzina zvuka je

zrak	343	[m/s]
voda	1460	[m/s]
guma	40-50	[m/s]
pluto	500	[m/s]
čelik	5000	[m/s]

Zvučni tlak

Svima nam je poznato što je to atmosferski tlak (pritisak). To je težina stupca zraka (atmosfera) podijeljena sa površinom na koju djeluje. Jedinica za izražavanje atmosferskog tlaka je 1 Paskal odnosno količnik sile od 1 N na površini od 1 metra kvadratnog.

Samo radi usporedbe recimo da atmosferski tlak otprilike iznosi oko 100.000 Pa (10⁵). Atmosferski tlak mjeri se barometrom. Ukoliko izazovemo kretanje neke elastične stvari

(recimo žice na gitari) ona će početi vibrirati i tako “gurati” okolni zrak. Sam poremećaj atmosferskog tlaka uzročen zvukom nazivamo “zvučni tlak”.

Jako je bitno napomenuti da je taj tlak u odnosu na atmosferski tlak jako, jako mala veličina a najmanji zvučni tlak koje ljudsko uho može čuti kao zvuk iznosi oko 20 μPa ($20 \cdot 10^{-6}$).

Tu je vrijednost Internacionalna standardizacijska organizacija (ISO) odabrala (standardizirala) kao referentnu veličinu – referentni zvučni tlak.

Najveći zvučni tlak kojega ljudsko uho može podnijeti (bez bola) je milion puta veći od referentnoga i iznosi 20 Pa (prema umnošku $10^6 \cdot 20 \cdot 10^{-6}$). Atmosferske promjene su tako spore da ih uho ne može registrirati ali zvučni tlak može. Znači ovdje je bitno shvatiti da je zvučni tlak fizička veličina koja se može objektivno mjeriti! Ljudsko uho ga može čuti u rasponu od 20 μPa pa sve do 20 Pa. To je raspon od 10^6 odnosno ukoliko bi te brojeve predstavljali linerano imali bi raspon brojeva od 1 do milijun!

Zamislite samo probleme koji bi nastali da kažete nekome, ko živi blizu nekog diska ili noćnog bara, kako je izmjereni zvučni tlak kod njega 0,001 Pa a da je kod prvog susjeda 0,01 a prekoputa ulice 19,0001!

Intenzitet (jačina) zvuka

Zvučnim se valom prenosi mehanička energija (koju mjerimo u vatima [W]). Količina energije koja u jednoj sekundi prostruji kroz plohu veličine 1 m^2 , okomito postavljenu na smjer širenja zvuka, naziva se intenzitet ili jačina zvuka.

Intenzitet zvuka može se izračunati pomoću poznate veličine zvučnog tlaka i poznatih svojstava medija (zraka) prema:

$$I = p^2 / (\rho_0 \cdot c) \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (1)$$

pri čemu je :

p zvučni tlak

ρ_0 gustoća zraka

c brzina zvuka u zraku

S obzirom na to da za zrak umnožak ($\rho_0 \cdot c$) iznosi 410 (“specifični akustični otpor”), prva se formula može pojednostaviti kao:

$$I = p^2 / 410 \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (2)$$

Prema ovoj formuli, ako se umjesto p uvrsti referentni zvučni tlak ($20 \cdot 10^{-6}$ Pa), može se izračunati i referentni zvučni intenzitet :

$$I = p^2 / 410 = (20 \cdot 10^{-6})^2 / 410 = 400 \cdot 10^{-12} / 410 = 0,976 \cdot 10^{-12} \sim 10^{-12} \quad [\text{W}/\text{m}^2]$$

Na isti način, uvrstimo li u formulu za intenzitet maksimalnu veličinu zvučnog tlaka kojeg čovjek može podnijeti (bez nastanka boli u uhu) dobit ćemo zvučni intenzitet od 1 $[\text{W}/\text{m}^2]$.

Treba istaknuti kako je dinamika sluha velika: najmanji i najveći zvučni tlak kojeg uho može registrirati odnose se

kao 1 : 10^6 a zbog toga što intenzitet zvuka ovisi o kvadratu zvučnog tlaka, najmanji i najveći zvučni intenzitet odnose se kao 1 : 10^{12} .

Snaga zvuka

Snaga (P) zvuka definira se kao količina energije koja u sekundi prostruji kroz plohu veličine S, izražava se vatima (W), a računa se kao proizvod intenziteta i veličine površine na kojoj taj intenzitet djeluje.

$$P = I \cdot S \quad [\text{W}] \quad (3)$$

Iz toga slijedi kako se snaga izvora zvuka može izračunati na temelju izmjerenog zvučnog tlaka i podatka o udaljenosti od izvora na kojoj je izmjereno zvučni tlak.

O veličini zvučnog tlaka zavisi intenzitet zvuka. Uz pretpostavku kuglastog širenja (u svim smjerovima) zvučnog vala od izvora do mjesta na kojem se mjeri zvučni tlak, površina na koju se raspoređuje zvučni intenzitet računa se prema formuli za površinu kugle prema:

$$S = 4r^2 \quad [\text{m}^2] \quad (4)$$

Prema tome, ako na primjer želimo znati koju zvučnu snagu mora imati izvor zvuka da na udaljenosti od 10 metara može proizvesti zvučni intenzitet od 1 W/m^2 (nastajanje bola u uhu), kao prvo računamo koja je površina oplošja kugle radiusa 10 m:

$$S = 4 \times 10^2 \quad \square = 400 \quad \square = 1256 \quad \text{m}^2$$

Prema tome, izvor zvuka mora imati snagu od 1256 W (prema 1256×1) da na udaljenosti od 10 metara djeluje intenzitetom zvuka od 1 W/m^2 (naravno pretpostavlja se slobodno širenje zvuka bez ikakvih prepreka).

Frekvencija zvuka

Frekvencija je broj titraja u sekundi a mjeri se hercima.

1 Hz = 1 titraj/s.

Različite frekvencije ljudsko uho osjeti kao različite visine tonova. Zvukove male frekvencije osjećamo kao duboke, a zvuk visoke frekvencije kao visoke tonove.

Ljudsko uho može čuti frekvencije od 16 do 20.000 Hz (odrastao čovjek do 16.000 Hz) – to područje nazivamo čujno područje.

Infrazvuk - ispod 16 Hz čovjek osjeća kao potresanja

Ultrazvuk - iznad 20.000 Hz

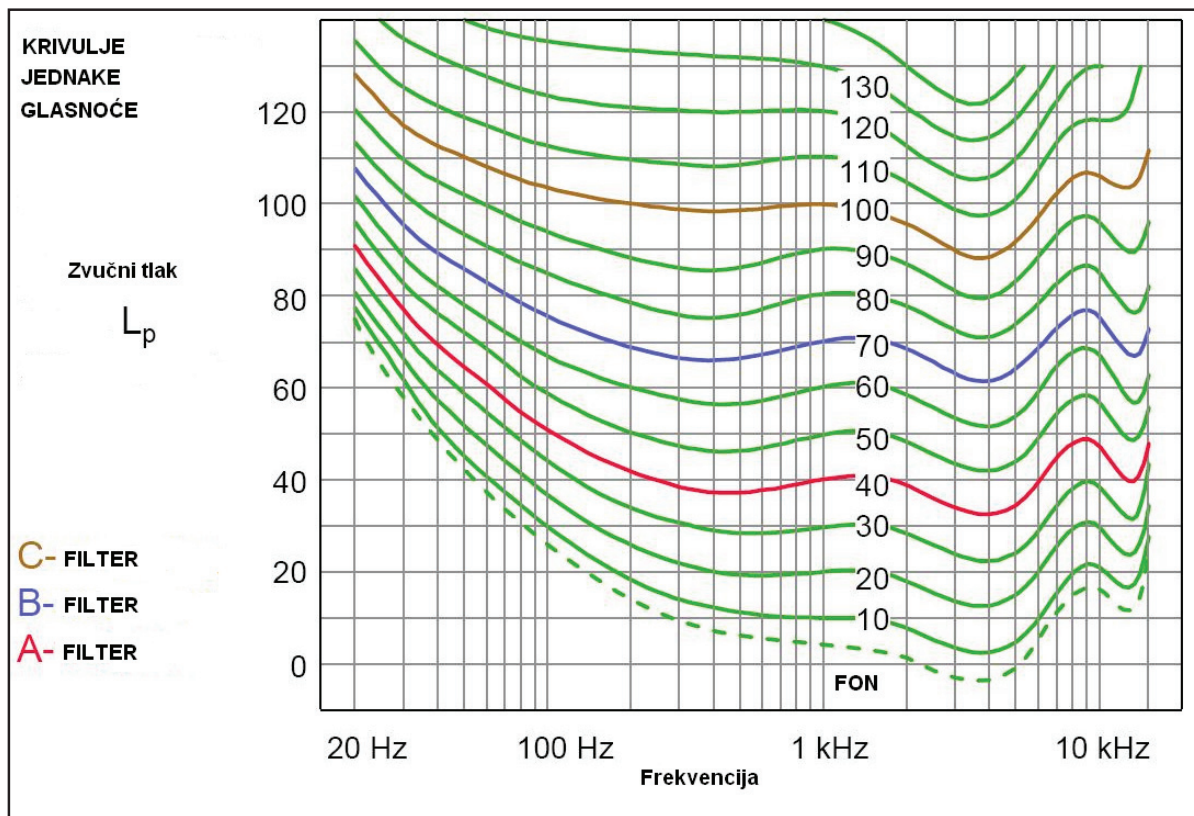
Za ocjenjivanje psihološkog utjecaja buke, važno je znati da nije samo jačina faktor smetnje nego i visina (frekvencija) zvuka. Visoki tonovi se “čuju” neprijatnije od niskih.

Glasnoća zvuka

Uho je prijemnik zvuka koji radi na istom principu kao i mikroskop: zvučnu energiju pretvara u električnu i te impulse predaje mozgu. Ali uho ne čuje sve tonove jednako!

Zvukove niskih frekvencija uho vrlo slabo čuje, srednje registrira podjednako kao mjerni instrument, a zvukove vi-

sokih frekvencija čuje slabije. Isto tako za svaku čujnu frekvenciju postoji najniži zvučni tlak koji uho može čuti. Objektivna jačina zvuka izmjerena instrumentom i subjektivni dojam se razlikuju. Razina glasnoće nekog zvuka (loudness level) jest razina zvučnog tlaka (sound pressure level, SPL) tona frekvencije 1 kHz koji je isto glasan kao taj zvuk. Jedinica takve dimenzije zove se "fon" (phon). Razina glasnoće može se izmjeriti i izraziti za bilo koji zvuk. Najčešće se ilustrira za čiste tonove različitih frekvencija. Linije krivulje koje povezuju mjesta iste razine glasnoće zovu se izofone. Prema definiciji, sve krivulje neke razine glasnoće na mjestu koje označava frekvenciju od 1000 Hz imaju isti broj fona i decibela. Kod standardnog tona od 1000 Hz glasnoća i intenzitet zvuka su isti.



Slika 1. Krivulje jednake glasnoće - fon -

Ove krive su napravljene eksperimentalno i to uz pomoć velikog broja mjerenja na velikom broju ljudi (standardiziranim uzorcima). Dobivena saznanja su iskorištena za tzv. filtere kako bi se specijalnim mjernim uređajima – zvukomjerima mogla dobiti jedna izmjerena integrirana vrijednost baš onakva kako je naš slušni sustav doživljava.

Glasnoća zvuka je subjektivna jačina zvuka određene frekvencije izražena Phonima.

Decibel

Bel se definira kao veličina koja predstavlja logaritam odnosa dvaju intenziteta.

Tako definirana veličina je nazvana prema Grahamu Bellu izumitelju telefona, a za praksu je previše velika. Prikadnija, deset puta manja jedinica zove se decibel (dB).

Broj decibela izračunava se prema:

$$n = 10 \log (I_1/I_2) \text{ (dB)} \quad (5)$$

gdje n predstavlja broj decibela, a I_1 i I_2 su bilo koja dva intenziteta zvuka ("10" u jednadžbi dolazi zbog toga što je "decibel" deseti dio "bela" a definicija se odnosi na bel!).

Na taj način dinamika slušnog polja, odnos najjačeg i najslabijeg zvuka kojega čovjek može čuti, od odnosa $10^{12} : 1$ svodi se na 120 dB prema:

$$N = 10 \log (10^{12}/1) = 120 \text{ (dB)}$$

Ovo je najvažnije shvatiti u cijeloj dosadašnjoj priči!

Znači umjesto baratanja veličinama koje se kreću u milijunima i milijardama, uvodeći decibele prikazno područje smo sveli na raspon od 0 do 120 (naravno to se odnosi na područje koje čovjek može čuti).

Svjedoci smo postojanja i mjerenja i jačine zvuka većeg od 120 dB ali takav zvuk već izaziva fizičku bol.) Prema tome, ako se dva intenziteta (ili dvije snage) zvuka odnose kao 2 : 1, u decibelima izraženo to predstavlja odnos od 3 dB prema:

$$n = 10 \log (2/1)$$

zato što je $\log 2$ oko 0,3.

Na isti način, 10 puta veći intenzitet predstavlja 10 dB, 100 puta veći 20 dB itd.

Budući da je decibel definiran preko odnosa intenziteta, a intenzitet zvuka ovisi o kvadratu zvučnog tlaka, u slučaju kad se u decibelima želi izraziti odnos dvaju zvučnih tlakova, formula poprima oblik:

$$n = 20 \log (p_1/p_2) \quad (6)$$

Zbog toga dvostruki intenzitet predstavlja povećanje intenziteta od približno 3 dB, a dvostruki zvučni tlak predstavlja povećanje zvučnog tlaka od 6 dB.

Ovo je stvar za koju iz prakse znam kako stvara veliku zabunu i ljudima je teško shvatljiva. Treba se sjetiti samo jedne stvari : radi se o dogovoru kako bi se komplicirane stvari jednostavnije predstavile!

Znači "0 dB" ne znači da ne postoji nikakav intenzitet zvuka (zvučni tlak) odnosno zvuk! To samo znači kako ljudi ne čuju taj zvuk (pa nam onda nije niti bitan) i dogovoreno je da je se taj "mali intenzitet" zvuka obilježava kao "nula dB". Međutim, to nije algebarska nula pa da milijun takvih nula ako se sabiru ostane nula kao konačna suma!

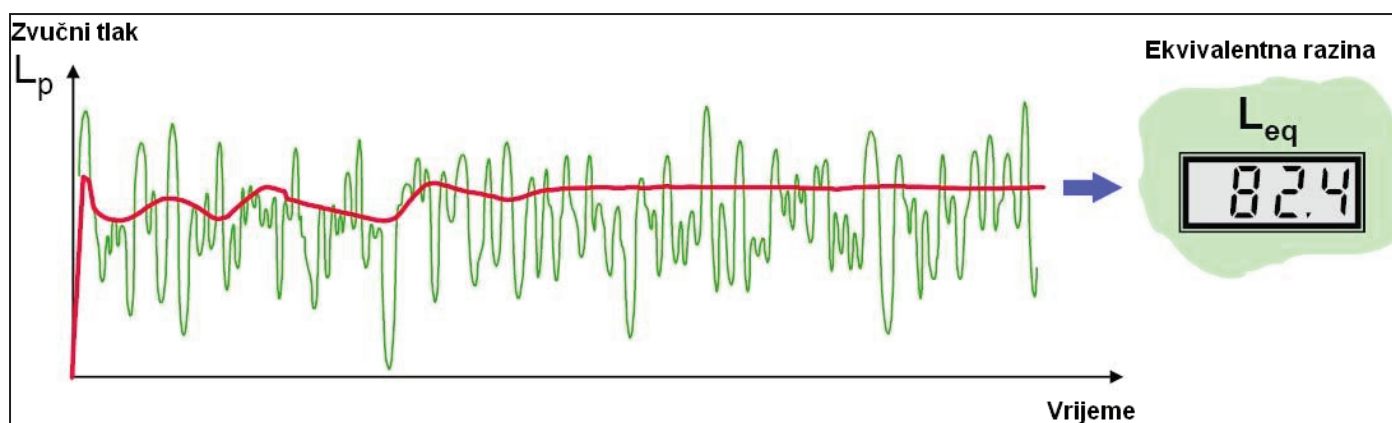
Ne, nego po definiciji pri računanju decibelima ukoliko imamo neki tihi izvor buke koji je nula decibela onda DVA takva izvora (jednaka) ako se primaknu jedan drugom skupa imaju intenzitet od 3 dB! To pravilo vrijedi za sve intenzitete zvuka izražene u decibelima! Znači dva bubnja koja emitiraju 90 dB pojedinačnog intenziteta zajedno emitiraju ukupni intenzitet od 93 dB! Ovo je jako važno shvatiti!

Razina zvučnog intenziteta je u decibelima izražen odnos nekog intenziteta zvuka prema referentnom zvučnom intenzitetu. Analogno tome je razina zvučnog tlaka (sound pressure level - SPL) u decibelima izražen odnos nekog zvučnog tlaka prema referentnom zvučnom tlaku. Jednostavnim uvrštavanjem u formule (5) i (6) dobivamo da je razina intenziteta referentnog zvučnog intenziteta - nula decibela.

Drugim riječima, zvučni intenzitet od 10^{-12} [W/m²] po definiciji predstavlja veličinu od nula decibela razine zvučnog intenziteta. Analogno tome, razina zvučnog tlaka od 0,00002 Pa također predstavlja nula decibela.

Ako se jačina nekog zvuka izrazi u decibelima i ne kaže se eksplicitno koja se dva intenziteta uspoređuju, onda se podrazumijeva da je jedan od intenziteta referentni zvučni intenzitet, 10^{-12} [W/m²]. Isto vrijedi i za razinu zvučnog tlaka.

Ekvivalentna razina buke



Slika 2. Ekvivalentna razina buke

Budući da je zvuk oblik energije, potencijalno oštećenje sluha u određenom zvučnom polju neće ovisiti samo o razini zvuka već i o duljini trajanja tog zvuka.

Na primjer izlaganje glasnom zvuku u trajanju od četiri sata štetnije je nego izlaganje istom zvuku samo jedan sat. Da bi se odredilo potencijalno oštećenje sluha u zvučnom polju, mora se odrediti primljena energija na temelju razine zvuka i vremena ekspozicije. Primljenu energiju je lako odrediti za konstantnu razinu zvuka.

Ako je razina zvuka promjenjiva, mjerenje se mora ponavljati tijekom određenog razdoblja uzorkovanja (neprekidno, na primjer minimalno 15 minuta na jednom mjestu

po mjerenju kako bi se dobila srednja vrijednost izmjerenih mjernih vrijednosti).

Na temelju ovih uzorkovanja moguće je dobiti ovu vrijednost poznatu kao ekvivalentna neprekidna razina zvuka (L_{eq}) koja ima isti sadržaj energije i isto potencijalno oštećenje sluha kao promjenjiva (stvarna) razina zvuka.