

# OSNOVE PROSTORNE AKUSTIKE ZA AUDIOFILE – 1. dio

Užitak dobrog zvuka u našem domu samo je završni cin jednog dugog i složenog procesa koji počinje zapisom izvorne glazbe. Između ta dva događaja postoji čitav niz faktora koji utječu na kvalitetu zvuka kakvu mi konačno procjenjujemo našim slušnim sustavom. Nažalost, velika većina audiofila kvalitetu zvuka gotovo isključivo traži u uređajima za reprodukciju. Njihov izbor popraćen je proučavanjem dostupne literature, mnogim usporednim analizama, savjetima, preslušavanjima. Beskrajne su diskusije o kvaliteti pojačala, zvučnika, reproduktora zvuka. Mnogi audiofili mijenjaju uređaje nezadovoljni njihovim performansama, često ne postižući ono što žele. Pri tome se potpuno zanemaruju osnovne stvari, korijeni dobrog zvuka a to je utjecaj prostora u kojem se taj zvuk sluša. Bez obzira kakav je zvučnik i pojačalo koje ga tjera, zvuk mora, do izazivanja osjeta u našem mozgu, proći kroz prostor, pri čemu se događaju mnoge interakcije koje su opisane osnovnim zakonima fizikalne akustike i koje se ni na koji način ne mogu izbjeći. To se gotovo redovito zanemaruje, često s katastrofalnim posljedicama. Činjenica je da se o akustici prostora ne vodi dovoljno računa, a prema tome i vrlo malo zna. Čak i oni upućeniji redovito ne shvaćaju ukupno međudjelovanje svih prostornoakustičkih faktora i često sve probleme pripisuju samo jednom uzroku.

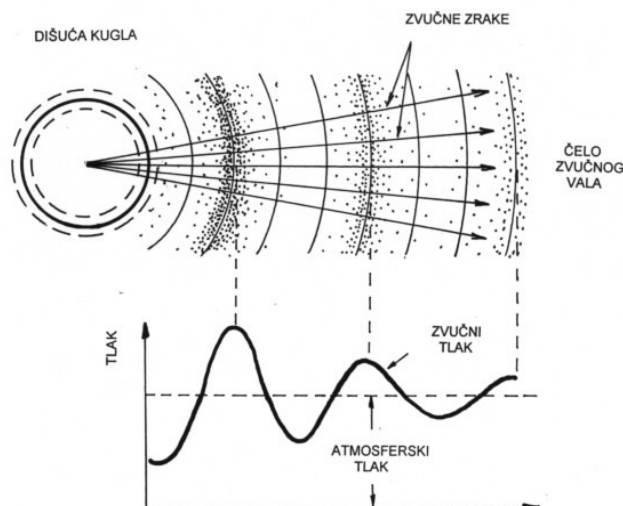
Namjera je da se jednom serijom napisa unese malo više svjetla u poznavanje akustike prostora naših manje ili više improviziranih slušaonica. Namjera je da se objasne osnovni fizikalni zakoni i pojave koji se javljaju pri širenju zvuka u zatvorenom prostoru i utjecaj samog prostora na ono što se s zvukom događa. Pokušat će se dati i osnovne spoznaje o ugađanju prostorne akustike i usklađenju glazbe, uređaja za reprodukciju i prostora. Dakle, ako vas zanima zašto vas audio sustav svira "lošije" nakon što ste preuredili sobu, zašto skupi zvučnici kojima ste se oduševili kod vašeg prijatelja zvuče razočaravajuće kod vas ili gdje su nestali basovi iz tek kupljenih 45 centimetarskih *subwoofera*, čitajte dalje! Autor će pokušati pisati što jednostavnije i razumljivije za što širi krug čitatelja. Ipak, pretpostavljaju se vrlo osnovna znanja iz fizike i elektronike (titranje, val, valna duljina, frekvencija i sl.) jer bi počinjanje od samog početka neprihvatljivo odgodilo prelaženje na "prave stvari". Sa željom da bude što jednostavniji i razumljiviji, autor će se, naravno, naći u problemima kako ne previše pojednostavniti i izgubiti znanstvenu egzaktnost i utemeljenost. S obzirom da su na toj zadaci mnogi slomili zube, autor unaprijed poziva na razumijevanje, pogotovo onih malobrojnih dobro upućenih u problematiku. Autor poziva čitatelje na aktivan pristup, naročito putem internetskih stranica časopisa, sto uključuje sve primjedbe, sugestije, sumnje i sve ostalo sto bi dovelo do produbljanja spoznaja na ovu temu.

## OSNOVNO O ZVUKU

Pojam zvuka najčešće se definira na dva načina: prvi je način sa subjektivno-psihološko značenjem, kod kojeg se zvuk definira kao sve ono što se čuje ili zamjećuje sluhom. Drugi je način s objektivno-fizikalnim značenjem, kod kojeg se zvuk definira kao fizikalna pojava titranja (promjena stanja pestica) u nekoj elastičnoj sredini (mediju). Prema objektivno-fizikalnoj definiciji zvuk postoji i kad nema uha koje bi ga otkrilo, dok nas zanima upravo subjektivno značenje jer će sud o akustičkoj kvaliteti uvijek konačno biti donesen temeljem slušanja uhom. Titranje čestica prenosi se od izvora titranja kroz elastičnu sredinu konačnom brzinom u obliku zvučnih valova, a prostor u kojem se širi zvučni val naziva se zvučnim poljem. Brzina kojom se zvučni val širi u zvučnom polju naziva se najčešće brzinom zvuka u sredini (mediju) zvučnog polja.

Uobičajeni pristup poimanju nastanka zvuka je "dišuća" kugla (pulsirajuća sfera). To je kugla koja naizmjenično povećava i smanjuje volumen. Dok ona povećava svoj volumen, čestice medija (u našem slučaju uvijek zraka) u neposrednom dodiru s površinom kugle potiskuju se od središta kugle prema van u svim pravcima. Na taj način se povećava gustoća zraka neposredno uz kuglu, pa i slijedeći sloj čestica ne može zadržati svoju prvobitnu gustoću jer u njega prodiru čestice iz prethodnog sloja, potiskujući njegove čestice prema slijedećem sloju i na taj način se djelovanje kugle prenosi na daljinu od sloja na sloj zraka. Kad nakon povećanja volumena kugla počne smanjivati svoj volumen, uz njenu površinu stvara se praznina koju popunjavaju čestice sloja najbližeg površini kugle. Na njihovo mjesto, radi nastalog razrjeđenja, dolaze čestice slijedećeg sloja i tako analogno proširenju sve dalji i dalji slojevi. Kako se cijela pojava ponavlja, prostorom se šire, jedan za drugim, valovi zgušnjavanja i razrjeđenja. Pojava zvuka se može promatrati i kao promjena položaja čestica zraka koje titraju oko svog ravnotežnog položaja. Jasno je da se umjesto pomaka čestica mogu promatrati i promjene gustoće zvuka. Nadalje, čestice koje se pomiču imaju svoju brzinu i ubrzanje, a promjene gustoće su prema fizikalnim promjenama u elastičnim medijima neposredno vezane uz promjene tlaka. Upravo je promjena tlaka ono što uho doživljava kao zvuk.

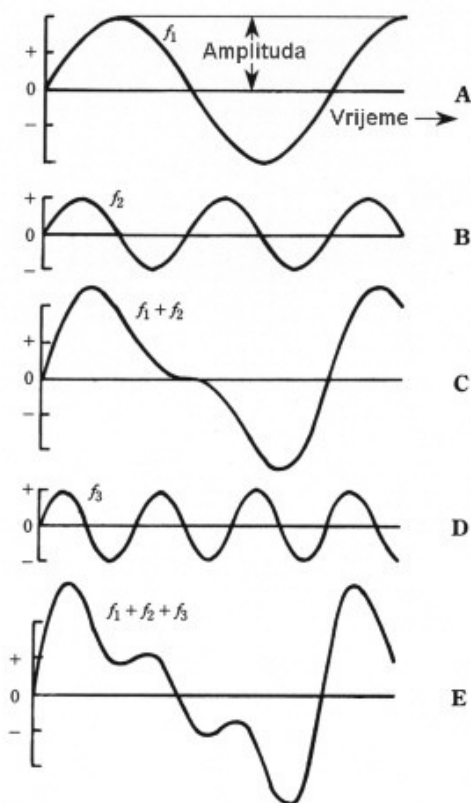
Na **slici 1.** prikazani su svi elementi nastajanja zvuka i zvučnog polja. Dišuća kugla svojim titranjem uzrokuje zgušnjavanje i razrjeđenje čestica zraka, što je opet prikazano kao promjena zvučnog tlaka koji je dodan (superponiran) na atmosferski tlak.



Vidljivo je da se promjena zvučnog tlaka može aproksimirati sinusoidom, sa značenjem da u jednoj njenoj poluperiodi tlak poraste iznad atmosferskog, a u drugoj poluperiodi se snizi ispod njegove vrijednosti. Slika će nam pomoći da definiramo još dva vrlo važna i korisna pojma, a to su čelo zvučnog vala (ili valna fronta) te zvučne zrake. Čelo zvučnog vala pojednostavljeno definiramo kao skup svih čestica zvučnog vala koje su jednako udaljene od izvora zvuka. Čelo zvučnog vala uzrokovano dišućom kuglom ili svakim točkastim izvorom (što je ustvari kugla malih dimenzija) je kuglastog oblika, a na dovoljno velikoj

udaljenosti od izvora može se aproksimirati ravninom jer kugla ima veliki polumjer, tj. malu zakrivljenost. Zvučne zrake su zamišljeni trag jedne čestice koja se giba na čelu vala. Zvučne zrake su uvijek okomite na čelo vala, pa su na dovoljno velikoj udaljenosti od zvučnog izvora paralelne. Uvođenje pojma zvučnih zraka pomoći će nam kod proučavanja ponašanja zvučnog vala u zatvorenom prostoru .

Zvučnici s membranom oblika dijela kugle (npr. kalotni visokotonci) titraju vrlo slično pulsirajućoj kugli i njihovo titranje se vrlo dobro može opisati slikom 1. Zvučničke membrane tipa blagog konusa (većina srednjetonkih i dubokotonskih zvučnika) se zbog svog oblika mogu bolje aproksimirati klipom nego kuglom, tako da će njihovo titranje biti bolje opisano klipom koji se pomiče naprijed – nazad, a zvučni val s ravnim valom, upravo takvim kakav postaje kuglasti val na dovoljno velikoj udaljenosti od izvora titranja. Razmak između dvije susjedne točke najvećeg zgušnjavanja ili razrjeđenja čestica zraka (tj. između minimuma ili maksimuma sinusoide koja predstavlja promjenu zvučnog tlaka) naziva se valna duljina. Što zvučni izvor brže titra to će i valna duljina biti manja. Uz valnu duljinu vezana je i definicija frekvencije zvučnog vala  $f$  koja se može izraziti kao odnos brzine širenja zvučnog vala u zraku  $v$ (zraka) i valna duljine. Iz jednadžbe  $f = v(\text{zraka}) / \text{valna duljina}$  slijedi jasan odnos: valna duljina je to manja, što je veća frekvencija titranja izvora zvuka, tj. frekvencija zvučnog vala. Brzina zvuka u zraku je oko 340 m/s. To je približna vrijednost koja ovisi o temperaturi i vlazi u zraku, ali dovoljno točna za naše potrebe. Dobro će nam doći da zapamtimo da će zvuku trebati oko 3 tisućita dijela sekunde da prijeđe put od jednog metra.

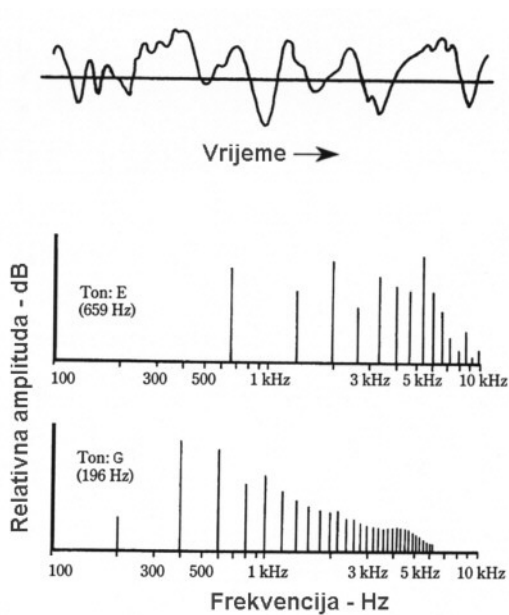


Znajući da se čujno frekvencijsko područje definira od 20 do 20.000 Hz, za nas je važno utvrditi da su to valne duljine od 17 metara do 1,7 centimetara. Ovaj je podatak također korisno zapamtiti.

Ukoliko zvučni val ne naiđe ni na kakvu prepreku on će se kao kuglasti ili ravni val slobodno širiti kroz prostor. Pri tome će zvučni tlak opadati s udaljenošću od izvora i to približno s kvadratom udaljenosti. To znaci da će zvučni tlak na 2 metra udaljenosti od izvora biti 4 puta niži nego na udaljenosti 1 metar, a zvučni tlak na udaljenosti od 4 metra biti će 16 puta niži. Ovo nam je poznato, jer što se više udaljavamo od izvora zvuka, to je zvuk kao subjektivni osjet tiši, sve dok na nekoj udaljenosti postane uhu posve nečujan.

Prirodni zvukovi, pa i glazba, složeni su i ne mogu se opisati jednostavnom promjenom zvučnog tlaka kao što je sinusoida. Međutim, matematika nas uči da se bilo kako složeno harmoničko titranje može razlučiti na konačan broj superponiranih (zbrojenih ili/i oduzetih) sinusoidalnih titranja (to se zove Fourierova analiza). Primjer je prikazan na **slici 2.**, gdje se vidi kako se superponiranjem dva sinusoidalna titranja frekvencija  $f_1$  i  $f_2$  (A i B na slici) dobiva titranje s oblikom C, a daljnjim superponiranjem još jednog titranje oblika E.

Dakle, složeno titranje E sastavljeno je od 3 jednostavna sinusoidalna titranja različitih frekvencija i amplituda. Glazbenim rječnikom sinusoide su čisti tonovi, dok su složeni oblici glazbeni tonovi. Na **slici 3.**, prikazan je glazbeni ton dobiven povlačenjem gudala preko otvorene violinske E-žice. Prikaz je u dva oblika. Na prvom se vidi složena promjena zvučnog tlaka s vremenom, dok su na drugom u obliku okomitih crta prikazani čisti tonovi koji su sadržani u takvom glazbenom tonu.



Na horizontalnoj osi prikazana je frekvencija, a na okomitoj osi veličina zvučnog tlaka za svaki čisti ton. Ovakav prikaz se naziva spektralnim prikazom jer prikazuje frekvencijski spektar glazbenog tona, gdje osnovni ton određuje subjektivni osjet visine, a njegovi harmonici boju tona (instrumenta).

*U nastavcima ove serije članaka o akustici s naglaskom na audioakustiku možete citati o svim aspektima zvuka i ugađanja vaše slušaonice.*