



UNIVERZITET U NIŠU
FAKULTET ZAŠTITE NA RADU U NIŠU



BUKA I VIBRACIJE

- PREZENTACIJA PREDAVANJA -

TAČKASTI IZVORI ZVUKA

Dr Darko Mihajlov, vanr. prof.

Dr Momir Praščević, red. prof.

TAČKASTI IZVORI ZVUKA

SADRŽAJ

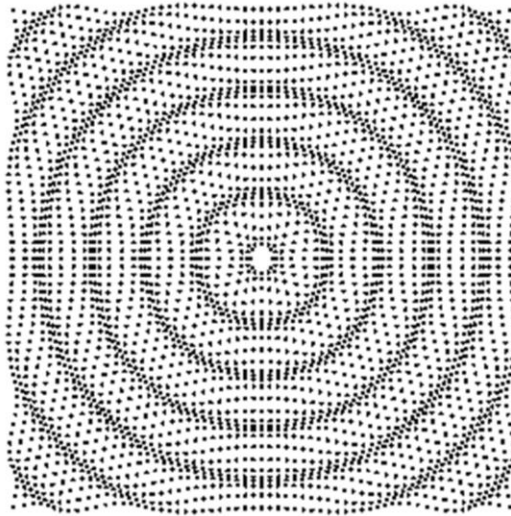
- ♦ Model tačkastog izvora zvuka;
- ♦ Izvori zvuka sa usmerenim zračenjem;
- ♦ Prostorni ugao zračenja;
- ♦ Zajedničko dejstvo nezavisnih izvora zvuka;
- ♦ Izvor zvuka pored prepreke.



Model tačkastog izvora zvuka

$$r_0 \ll \lambda$$

$$pr = \text{const}$$



BUKA I VIBRACIJE

Kada su dimenzije izvora zvuka koji generiše sferne talase (pulsirajuća sfera poluprečnika r_0) znatno manje u odnosu na talasnu dužinu emitovanih talasa, takvi izvori zvuka se nazivaju **tačkasti izvori zvuka**.

Tačkasti izvori zvuka u slobodnom prostoru stvaraju sferne talase.

Važe iste zakonitosti kao i za izvore sfernih talasa - **zvučni pritisak opada sa povećanjem rastojanja: $p \cdot r = \text{const}$** .

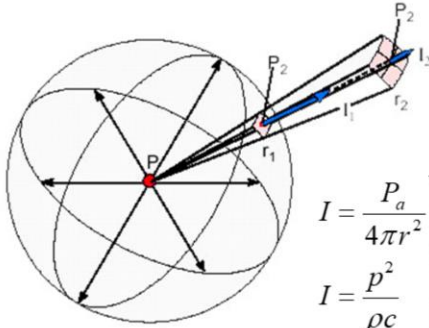
Model tačkastog izvora zvuka

$$I = \frac{P_a}{4\pi r^2}$$

P_a – snaga tačkastog izvora zvuka (zvučna snaga);

r – poluprečnik sfere (rastojanje talasnog fronta od tačkastog izvora zvuka);

$4\pi r^2$ – površina sfere (talasnog fronta) poluprečnika r ;



$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{P_a}{4\pi r^2} \\ I &= \frac{p^2}{\rho c} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{p^2}{\rho c} = \frac{P_a}{4\pi r^2} \Rightarrow p = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{P_a \rho c}{4\pi}}$$

BUKA I VIBRACIJE

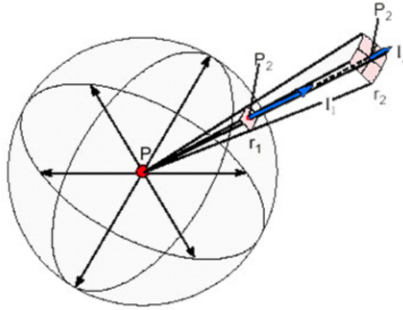
Intenzitet zvuka zavisi od zvučne (akustičke) snage izvora zvuka P_a i površine talasnog fronta $4\pi r^2$ na kojem se računa intenzitet: izraz 1.

Model tačkastog izvora zvuka

♦ Površina talasnog fronta je proporcionalna kvadratu rastojanja: $S = 4\pi r^2$

♦ Intenzitet zvuka je obrnuto proporcionalan kvadratu rastojanja: $I = \frac{P_a}{4\pi r^2}$

♦ Zvučni pritisak je obrnuto proporcionalan rastojanju: $p = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{P_a \rho c}{4\pi}}$



BUKA I VIBRACIJE

- Površina talasnog fronta je proporcionalna kvadratu rastojanja.
- Intenzitet zvuka je obrnuto proporcionalan kvadratu rastojanja.
- Zvučni pritisak je obrnuto proporcionalan rastojanju.

Udvostručavanjem rastojanja od tačkastog izvora zvuka ($r_2 = 2r_1$):

- Površina talasnog fronta tačkastog izvora zvuka se povećava četiri puta;
- Intenzitet zvuka se smanjuje četiri puta;
- Zvučni pritisak se smanjuje dva puta.

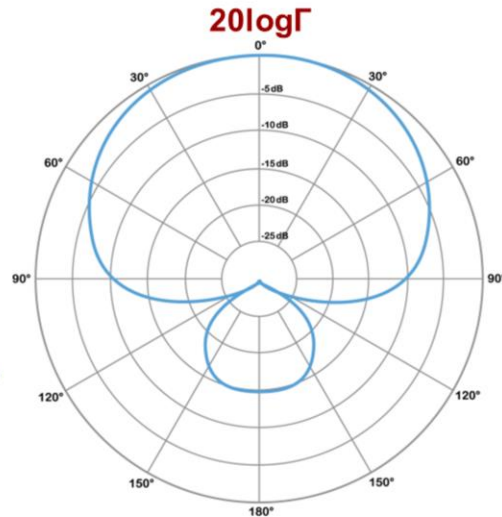
Izvori zvuka sa usmerenim zračenjem

Faktor smeru:

$$\Gamma(\theta) = \frac{p(\theta)}{p(\theta = 0^\circ)}$$

$p(\theta)$ - pritisak na istom
rastojanju, pod uglom θ ;

$p(\theta = 0^\circ)$ - pritisak na određenom
rastojanju, u smeru
glavne ose (smer
maksimalnog zračenja).



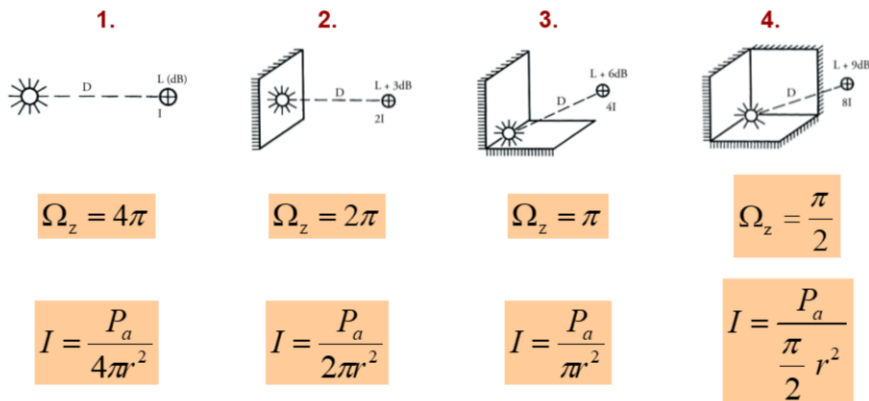
BUKA I VIBRACIJE

Osnovna veličina koja definiše usmerenost zračenja izvora zvuka naziva se **faktor smeru**.

Faktor smeru predstavlja odnos zvučnog pritiska koji izvor stvara pod nekim uglom θ i zvučnog pritiska u pravcu glavne ose na istom rastojanju od izvora: izraz 1.

Dijagram faktora smeru se naziva **karakteristika usmerenosti izvora zvuka** i najčešće se prikazuje u logaritamskom obliku kao dijagram $20\log\Gamma$ u funkciji ugla zračenja θ .

Prostorni ugao zračenja



BUKA I VIBRACIJE

Prostorni ugao zračenja Ω_z [srad] pokazuje veličinu prostornog ugla u kome se širi zvučna energija koju emituje izvor zvuka.

Promena prostornog ugla može nastati fizičkim ograničavanjem prostora u kome izvor zvuka zrači energiju.

1. Kada izvor zvuka radi u slobodnom prostoru, talasni front se širi kao sfera u čitavom prostoru, odnosno prostornim uglom veličine 4π steradijana.
2. Kada se zvučni izvor ugradi u idealno gladak i krut zid, talasni front se širi u obliku polusfere u prostoru koji definiše prostorni ugao zračenja veličine 2π steradijana.
3. Kada se zvučni izvor ugradi na spoju dva idealno glatka i kruta zida, talasni front se širi u prostoru koji definiše prostorni ugao zračenja veličine π steradijana.
4. Kada se zvučni izvor ugradi na spoju tri idealno glatka i kruta zida, talasni front se širi u prostoru koji definiše prostorni ugao veličine $\pi/2$ steradijana.

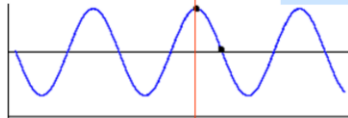
Smanjenjem prostornog ugla zračenja se povećava intenzitet zvuka.

Zajedničko dejstvo nezavisnih izvora zvuka

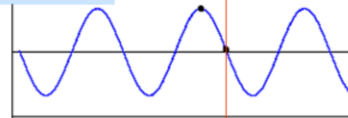
$$\underline{p} = \sum_{i=1}^n \underline{p}_i$$

$$p_1(t) = A_{p1} \cos(2\pi f_1 t + \varphi_{01} - kr_1)$$

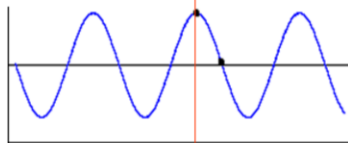
$$p_2(t) = A_{p2} \cos(2\pi f_1 t + \varphi_{02} - kr_2)$$



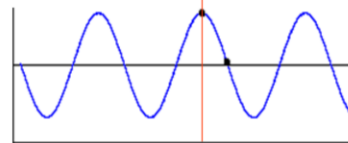
$$p_1(t) = A_{p1} \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1)$$



$$p_1(t) = A_{p1} \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1)$$



$$p_2(t) = A_{p2} \cos(2\pi f_1 t + \varphi_1)$$



$$p_2(t) = A_{p2} \cos(2\pi f_1 t + \varphi_2)$$

BUKA I VIBRACIJE

Kada u slobodnom prostoru postoji više izvora zvuka, na relativno velikom rastojanju jedan od drugog, može se govoriti o **nezavisnim izvorima zvuka**. Primeri:

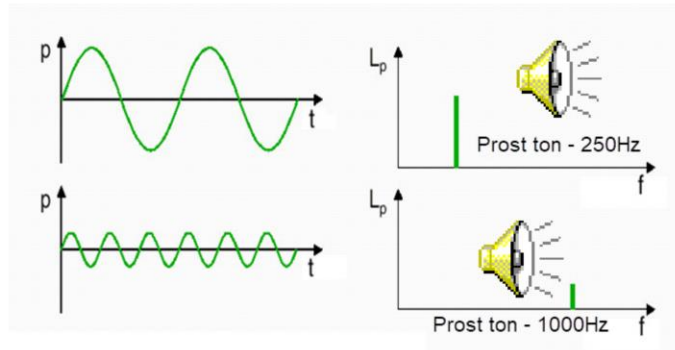
- Grupa mašina raspoređena u industrijskoj hali;
- Grupa zvučnih kutija raspoređenih oko stadiona za njegovo ozvučavanje.

Rezultujući zvučni pritisak na mestu prijema se određuje kao zbir svih zvučnih pritisaka, vodeći pritom računa o **faznom stavu talasa na mestu prijema**: izraz 1.

Razlika u faznom stavu talasa na mestu prijema može da bude posledica različitih faznih stavova izvora zvuka i različito pređenih puteva zvučnih talasa: izrazi za $p_1(t)$ i $p_2(t)$.

Zajedničko dejstvo nezavisnih izvora zvuka

Prost zvuk



BUKA I VIBRACIJE

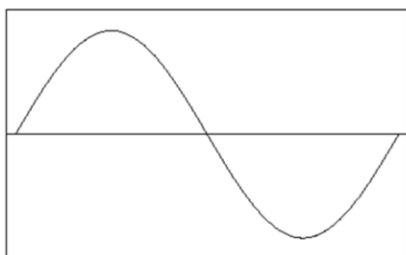
Postupak za određivanje rezultujućeg zvučnog pritiska zavisi od toga da li zvučni izvori emituju **prost** ili **složen** zvuk.

U slučaju **prostog zvuka**, vremenske promene su periodične i sinusoidalne. Frekvencijski spektar je linijskog tipa, predstavljen jednom komponentom, čiji je položaj određen frekvencijom, a dužina veličinom promene posmatrane fizičke veličine.

Zajedničko dejstvo nezavisnih izvora zvuka

Složen zvuk

Složen periodični zvuk



$$p(t) = \sum_{i=1}^n A_{pi} \sin(2\pi f_i t + \varphi_i)$$

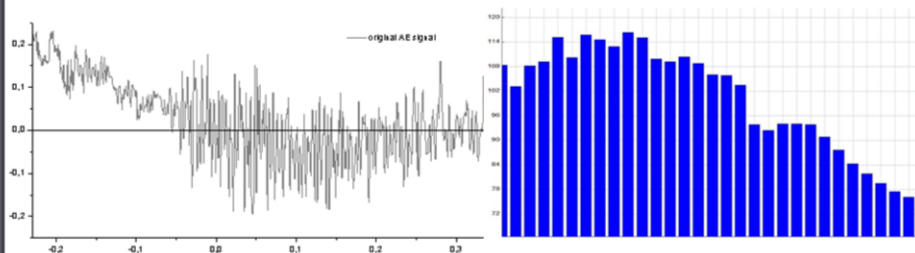
BUKA I VIBRACIJE

Složen periodični zvuk - Vremenske promene su periodične i nesinusoidalnog tipa.

Spektar je linijskog (diskretnog) tipa i sadrži konačni broj komponenata na frekvencijskoj skali.

Zajedničko dejstvo nezavisnih izvora zvuka

Složen neperiodični zvuk



$$p(t) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} \text{Re}\{\underline{A}_p(\omega) \exp(j\omega t)\} d\omega$$

BUKA I VIBRACIJE

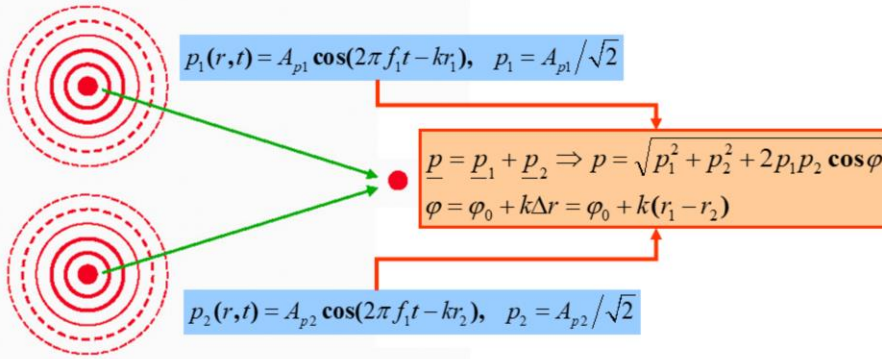
Složen neperiodični zvuk - Vremenske promene su neperiodične.

Spektar je kontinualnog tipa i sadrži beskonačni broj kontinualno raspoređenih komponenata po frekvencijskoj skali.

Zajedničko dejstvo nezavisnih izvora zvuka

Određivanje rezultujućeg zvučnog pritiska kada izvori emituju prost zvuk

Dva tačkasta zvučna izvora



BUKA I VIBRACIJE

Kada dva ili više nezavisnih izvora emituju **prost zvuk**, *potrebno je voditi računa o faznom stavu talasa na mestu prijema.*

Zajedničko dejstvo nezavisnih izvora zvuka

Dva tačkasta izvora zvuka:

$$\underline{p} = \underline{p}_1 + \underline{p}_2 \Rightarrow p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2 + 2p_1p_2 \cos \varphi}$$
$$\varphi = \varphi_0 + k\Delta r = \varphi_0 + k(r_1 - r_2)$$

Specijalni slučajevi:

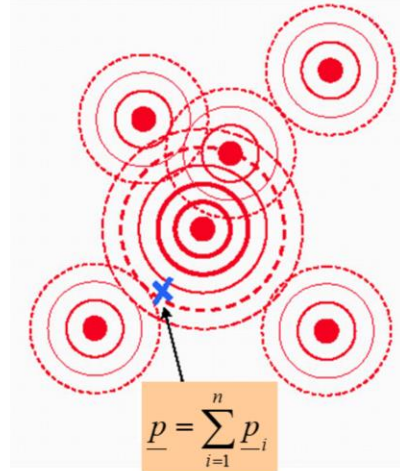
♦ Zvučni talasi u fazi

$$\varphi = 0, 2\pi, \dots \Rightarrow p = p_1 + p_2$$

♦ Zvučni talasi u protivfazi

$$\varphi = \pi, 3\pi, \dots \Rightarrow p = |p_1 - p_2|$$

Više tačkastih izvora zvuka:



BUKA I VIBRACIJE

Zajedničko dejstvo nezavisnih izvora zvuka

Primer:

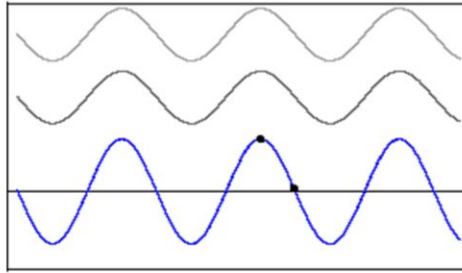
$$p_1(r, t) = A_p \cos(\omega t - kr)$$

$$p_2(r, t) = A_p \cos(\omega t - kr + \phi)$$



$$p(r, t) = A_p \cos(\omega t - kr) + A_p \cos(\omega t - kr + \phi)$$

$$p(r, t) = 2A_p \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \cos\left(\omega t - kr + \frac{\phi}{2}\right)$$



BUKA I VIBRACIJE

Primer: Dva talasa koja se prostiru u istom pravcu fazno pomena za ϕ , iste amplitude, frekvencije i talasne dužine.

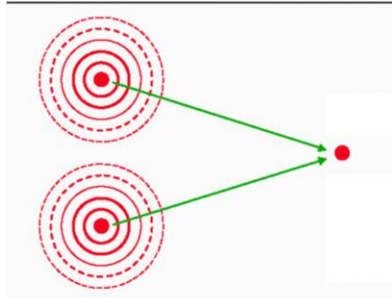
Kada su talasi u fazi, amplituda je dvostruko veća, a kada su u protivfazi, amplituda je nula.

Uočljive su promene rezultujuće amplitude u zavisnosti od trenutne fazne razlike.

Zajedničko dejstvo nezavisnih izvora zvuka

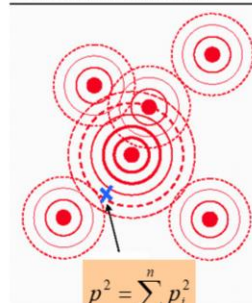
Određivanje rezultujućeg zvučnog pritiska kada izvori emituju složen zvuk

Dva tačkasta zvučna izvora



$$E = E_1 + E_2 = \frac{p_1^2}{\rho c^2} + \frac{p_2^2}{\rho c^2} \Rightarrow$$
$$p^2 = p_1^2 + p_2^2$$
$$I = I_1 + I_2$$

Više tačkastih zvučnih izvora



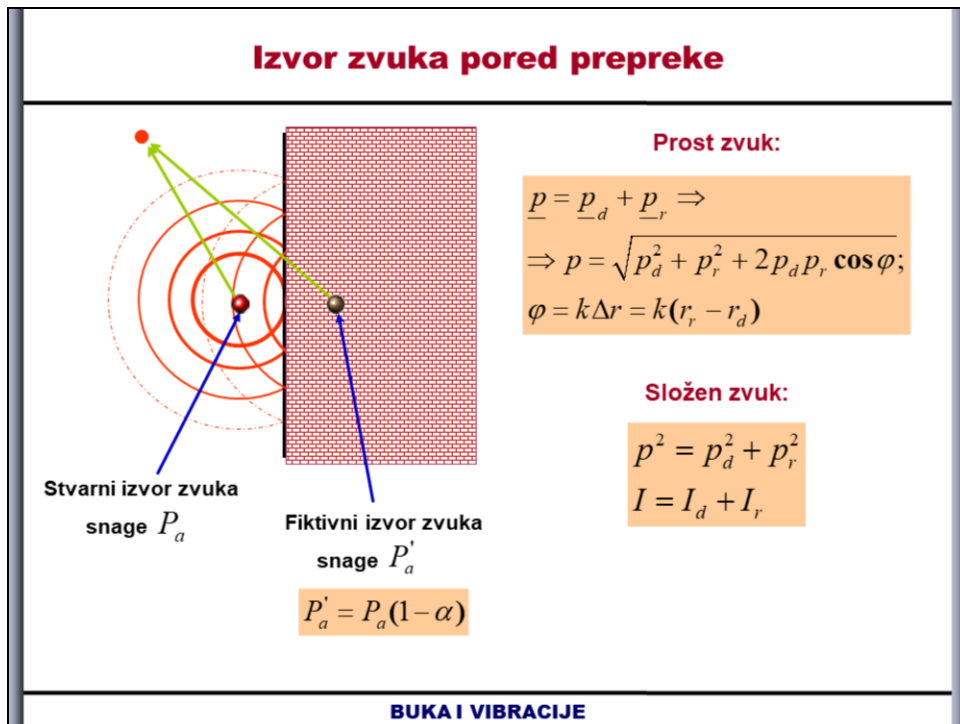
$$p^2 = \sum_{i=1}^n p_i^2$$
$$I = \sum_{i=1}^n I_i$$

BUKA I VIBRACIJE

Komponente složenog zvuka imaju različite, jednako verovatne fazne stavove na mestu prijema, pa nije potrebno voditi računa o faznim stavovima talasa na mestu prijema.

Primer su nezavisni izvori zvuka različitog spektra, udaljeni izvori istog zvuka ali širokog spektra, izvori u zatvorenom prostoru itd.

Ukupna gustina energije zvuka jednaka je zbiru gustina energije pojedinih izvora.



Kada se izvor zvuka nalazi pored prepreke, javljaju se dva talasa koja se prostiru u suprotnim smerovima: **progresivni** i **reflektovani**.

Oba talasa imaju istu frekvenciju. Fazna razlika talasa je posledica različito pređenih puteva. Amplituda zavisi od reflektujućih osobina prepreke.

Efekat reflektovanih talasa se modeluje postavljanjem virtuelnog izvora zvuka metodom *lika u ogledalu* (sa suprotne strane prepreke, na istom rastojanju od prepreke kao i stvarni izvor). Snaga virtuelnog izvora zvuka zavisi od reflektujućih (apsorpcionih) osobina prepreke: izraz 1.

Postupak za određivanje rezultujućeg zvučnog pritiska zavisi od toga da li izvori zvuka emituju prost ili složen zvuk.

Pitanja za proveru znanja



1. Definirati tačkasti izvor zvuka.
2. Koja veličina definiše usmerenost zračenja zvuka i kako se određuje?
3. Šta predstavlja prostorni ugao zračenja zvuka i od čega zavisi?
4. Kako se određuje vrednost rezultujućeg zvučnog pritiska na poziciji prijemnika u slučaju zajedničkog dejstva nezavisnih izvora zvuka koji emituju prost zvuk?
5. Kako se određuje vrednost rezultujućeg zvučnog pritiska na poziciji prijemnika u slučaju zajedničkog dejstva nezavisnih izvora zvuka koji emituju složen zvuk?
6. Kako se određuje vrednost rezultujućeg zvučnog pritiska na poziciji prijemnika u slučaju kada se izvor zvuka nalazi pored prepreke?

BUKA I VIBRACIJE