Co-funded by the Erasmus+ Programme of the European Union

SeNVBe

8. IZVORI BUKE

Strengthening Educational Capacities by Building Competences and Cooperation in the Field of Noise and Vibration Engineering

www.senvibe.uns.ac.rs

2. Izvori buke

2.1 Izvori buke i njihove karakteristike

- Definicija izvora buke
- Mehanizmi generisanja
- Podela izvora buke
- Zvučna snaga
- Usmereni izvori buke

2.2 Tipovi izvora buke

- Tačkasti izvor buke
- Linijski izvor buke
- Površinski izvor buke

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

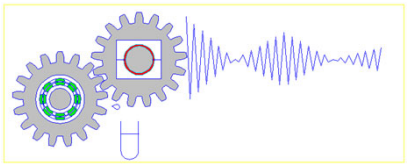
- Drumski saobraćaj
- Železnički saobraćaj
- Vazdušni saobraćaj
- Industrija
- Građevinske mašine
- Rekreativne aktivnosti i buka iz susedstva

2.4 Izvori buke iz radne sredine

- Ventilatori
- Elektromotori
- Pumpe
- Gasni kompresori

2.1 Izvori buke i njihove krakteristike

- **Izvor zvuka** - svako telo koje u elastičnoj sredini izvodi mehaničke oscilacije i dejstvom sile izaziva poremećaj sredine.
  - Zvučnici;
  - Mašine;
  - Motori različitih vrsta...



- Izvor zvuka može biti i uzgredna pojava nekih fizičkih procesa.
  - Električni luk;
  - Gorinici;
  - Grom...





- Izvor zvuka transformiše energiju iz neakustičkog domena u mehaničku energiju oscilovanja čestia.
- Pojam izvora zvuka može biti i relativan. Primer: dva susedne prostorije gde se u jednoj nalazi zvučnik a i u drugoj se čuje zvuk.
- **Izvor buke** – izvor zvuka koji generiše neželjeni zvuk.

3

Izvor zvuka može biti svako telo koje u elastičnoj sredini izvodi mehaničke oscilacije i na taj način dejstvom sile izaziva poremećaj ravnotežnog stanja čestica sredine, saopštavajući pri tome energiju zvuka česticama u neposrednoj okolini. Primeri izvora zvuka u obliku tela su: zvučnici, muzički uređaji, motori različitih vrsta, mašine i sl.

Izvor zvuka može biti i neki proces koji generiše zvučnu energiju. Zvuk se tada javlja kao uzgredna pojava određenim fizičkim procesima. Primeri takvih izvora su električni luk ili grom, gde zvuk nastaje u toku električnog pražnjenja u vazduhu, ali i zvuk koji nastaje u procesu sagorevanja goriva u gorionicima različitih namena.

Izvor zvuka stvara energiju zvuka na račun nekog drugog oblika energije iz neakustičkog domena, transformišući taj oblik energije u mehaničku energiju oscilovanja čestica elastične sredine. Transformacijom energije, energija izvora se prenosi na okolnu sredinu.

Pojam izvora zvuka može biti i relativan, posmatrano sa aspekta konkretnih okolnosti. Na primer, ako u nekoj prostoriji radi zvučnik emitujući zvuk tako da se to čuje i u susednoj prostoriji, sam zvučnik je izvor zvuka u prostoriji gde se nalazi. Međutim, u susednoj prostoriji izvor zvuka je površina zida koja zrači energiju u tu prostoriju, a ne sam zvučnik odakle je energija krenula.

Ukoliko izvor zvuka generiše neželjeni zvuk onda je reč o izvoru buke.



Mehanizmi nastajanja zvuka mogu biti različiti:

- Vibracije površina krutih tela;
- Prinudna pulsiranja vazdušne struje;
- Turbulencije u fluidima;
- Brza termička dejstva.

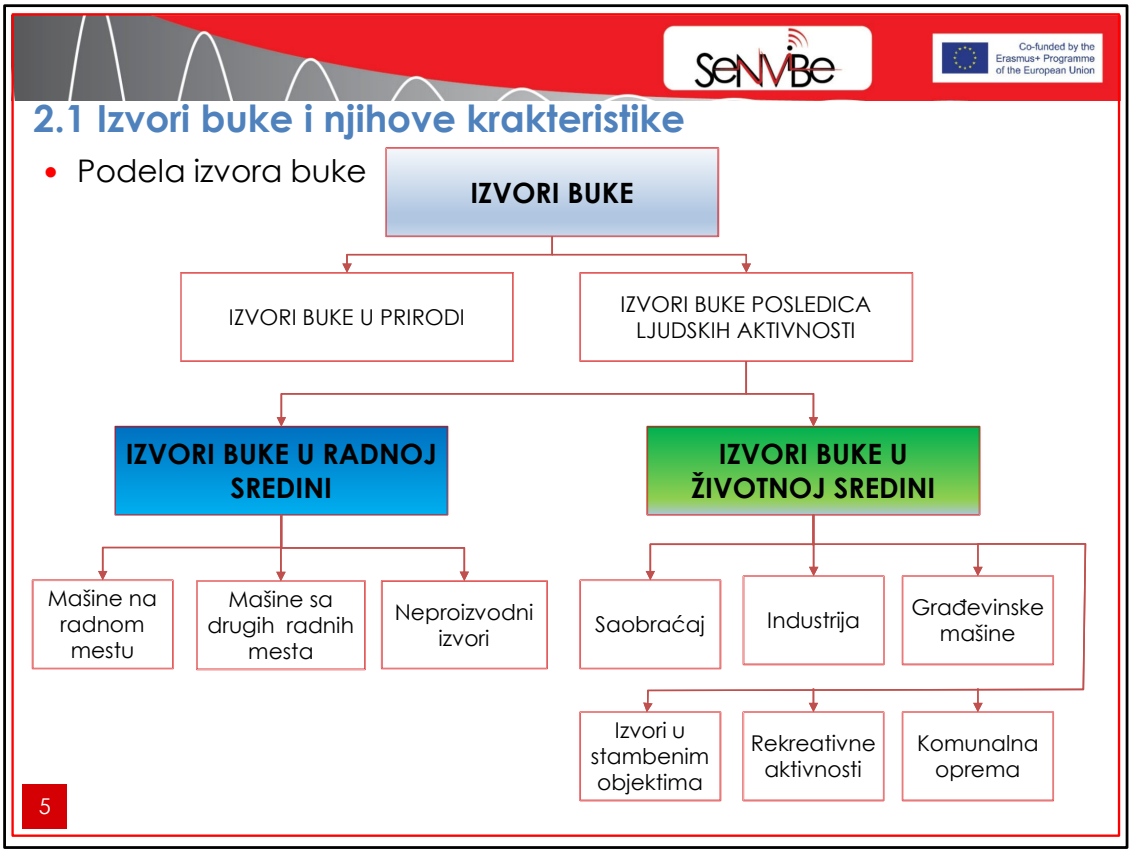
Nastajanje zvuka **vibracijama površina krutih tela** može se opisati klipom čije pomeranje izaziva poremećaje elastične sredine. Nastajanje i prostiranje poremećaja nastaje mehaničkim pomeranjem čestica elastične sredine, odnosno kompresijom i ekspanzijom, usled dovoljno brzog kretanja tvrde površine. Karakteristični primeri ove vrste izvora buke su kućišta mašina čiji zidovi generišu zvuk, kao i pregradni zid koji razdvaja dve prostorije.

Proces nastajanja zvuka **prinudnim pulsiranjem vazdušne struje** ima dva podprocesa: stvaranje struje fluida koji se nalazi u jednolikom kretanju i rad mehaničkog sistema koji dovoljno velikom brzinom na neki način fizički preseca tu struju. Na ovom principu generišu zvuk, između ostalih, zvučne sirene i ventilatori kod kojih jedna komponenta zvuka nastaje presecanjem struje vazduha lopaticama.

Turbulencije u fluidu mogu nastati fizičkim uticajem prepreka na ravnomerni tok fluida. Svako odstupanje od ravnomernosti proticanja koja pri tome nastaju predstavlja poremećaj koji se manifestuje oscilacijama čestica elastične sredine. Karakterističan predstavnik ove kategorije izvora je zvuk aviona koji nastaje usled turbulencije vazduha pri kretanju aviona.

Zvuk može nastati i lokalnim promenama temperature sredine, ako se ova **termička dejstva** izvode dovoljno brzo. Primeri ovakvog generisanja je zvuk koga stvara plamen raznih gorionika (uključujući pucketanje sveće koja gori), prasak varnice i slično.

Kod realnih izvora, koji se sreću u čovekovom okruženju, česte su kombinacije više mehanizama nastajanja zvuka. Taj slučaj se javlja u procesu rada raznih mašina i uređaja. Oni se ponašaju kao složeni izvori u čijem se radu mogu prepoznati karakteristike različitih mehanizama nastajanja zvuka. Zbog toga je talasni front koji nastaje na površinama realnih izvora veoma složen.



Izvori buke se mogu podeliti u dve grupe:

1. Izvori buke koji se nalaze i stvaraju buku u samoj prirodi od najbučnijih, počevši od grmljavine, zavijanja vetra i sl. pa do najtiših, jedva čujnih kao što je šum povetarca i šum lišća, šum vode; zvuk koji se stvara u prirodi iako može da bude veoma jak i neprijatan je veoma retko uzrok oštećenja zdravlja čoveka;
2. Izvori buke koji nastaju kao posledica ljudskih aktivnosti; zvuk koji nastaje kao proizvod ljudskih aktivnosti može veoma često da bude štetan po zdravlje čoveka.

Prema mestu u kojem izvori buke deluju i mestu gde čovek boravi izvori buke se mogu podeliti na izvore buke u radnoj sredini i izvore buke u životnoj sredini.

Pod izvorima buke u radnoj sredini podrazumeva se svaki zvuk stvoren radom mašine, opreme ili uređaja u proizvodnom procesu. Kako na radnom mestu može da postoji buka koja dopire i od izvora iz okoline postoje tri tipa izvora buke u radnoj sredini:

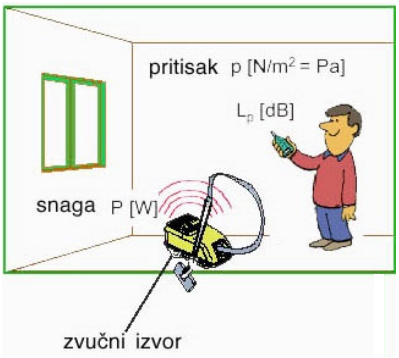
1. Izvori buke sa kojim radnik neposredno rukuje ili ih opslužuje;
2. Izvori buke sa kojim radnik ne rukuje niti ih opsulužuje;
3. Neproizovodni izvor buke (ventilacija i klimatizacija, saobraćaj van proizvodnog procesa.

Izvor buke u životnoj sredini je svaki emiter neželjenog ili štetnog zvuka koji emituje zvuk van radnog mesta: u stanovima, na ulici, u vozilima, na mestima za rekreaciju, u školama, bolnicama i sl. Na jedan deo izvora buke se primenjuje Zakon o zaštiti od buke u životnoj sredini ("Sl glasnik RS", br. 96/2021, https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_zastiti_od_buke_u_zivotnoj_sredini.html).

Izvori buke u životnoj sredini se najčešće dele na: saobraćaj (drumski, železnički i avionski), industrija, građevinske mašine, komunalna oprema, rekreativne aktivnosti i izvori buke u stambenim objektima.

2.1 Izvori buke i njihove krakteristike

- Izvor zvuka emituje određenu količinu energije zvuka u okruženje.
- **Zvučna snaga** [W] je osnovna mera energije koju izvor zvuka može da emituje.
- Emitovana količina energije ne zavisi od okruženja.
- Emitovana količina energije direktno zavisi **SAMO** od zvučne snage.
- Protok energije izaziva porast zvučnog pritiska.
- Porast zavisi od zvučne snage, rastojanja do izvora, količine aprosbovane i prenete energije, slabljenja pri prostoranju...
- **ZVUČNI PRITISAK – POSLEDICA.**
- **ZVUČNA SNAGA – UZROK.**



6

Izvor zvuka emituje određenu količinu energije zvuka u jedinici vremena u [J/s] u okruženje, tj. ima zvučnu snagu u vatima [W=J/s]. Zvučna snaga izvora ne zavisi od okruženja u kome se izvor zvuka nalazi i predstavlja osnovnu meru energije koju može emitovati izvor zvuka.

Protok energije zvuka od izvora izaziva porast zvučnog pritiska u prostoriji, koji se može meriti mikrofonom i koji neće zavisiti samo od zvučne snage izvora i rastojanja izvora i merne tačke, već i od količine apsorbovane energije zidovima, kao i od količine energije zvuka koja se prenese kroz zidove, prozore i vrata.

Izvor zvuka zrači energiju zvuka čija količina direktno zavisi od zvučne snage izvora i kao rezultat se javlja zvučni pritisak u okruženju. Dakle, zvučni pritisak je posledica, a zvučna snaga uzrok.

2.1 Izvori buke i njihove krakteristike

- Zvučna snaga je osobina izvora zvuka (buke).
- Definiše brzinu kojom se emituje energija zvuka.
- Izražava se u [W].
- Uobičajeni izvori – male vrednosti: 10 μW (normalni govor), 100 μW (pojačan govor).

$$P_a = \frac{dW}{dt} \qquad (2.1)$$

- Zvučni pritisak se **meri direktno** mikrofonom.
- Zvučnu snagu je moguće odrediti **indirektnim merenjem** zvučnog pritiska ili intenziteta zvuka na površini koja potpuno obuhvata izvor zvuka.



7

Zvučna snaga izvora je osobina izvora zvuka (buke) i definiše brzinu kojom se emituje energija zvuka, odnosno definiše energiju zvuka (W) koja u jedininici vremena prolazi kroz bilo koju površinu koja obuhvata izvor (2.1). Izražava se u [W] i za uobičajene izvore zvuka ima male vrednosti. Npr. zvučna snaga normalnog govora je oko 10 μW, a pojačnog govora je oko 100 μW.

Zvučni pritisak može da se meri direktno mikrofonom, dok se zvučna snaga može odrediti samo indirektnim merenjima zvučnog pritiska ili intenziteta zvuka na površini koja potpuno obuhvata izvor zvuka.

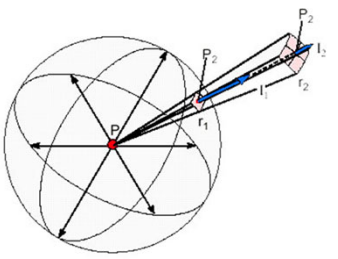
2.1 Izvori buke i njihove krakteristike

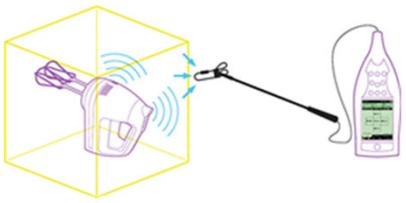
- Intenzitet zvuka određuje energiju zvuka koja se prenosi kroz određenu površinu.
- Ako površina potpuno obuhvata izvor zvuka, intenzitet zvuka određuje zvučnu snagu.

$$P_a = \oint_S \vec{I} \cdot d\vec{S} \qquad (2.2)$$

- Skalarni proizvod – normalna komponenta intenziteta zvuka.
- Procedura merenja:
  - Površina koja obuhvata izvor se deli na jednake segmente;
  - U centrima segmenata se meri normalna komponenta intenziteta zvuka sondom za intenzitet zvuka;
  - Proračun:

$$P_a = \sum_{i=1}^{N} I_{ni} \cdot \Delta S_i \qquad (2.3)$$





https://www.bksv.com/en/knowledge/applications/product-noise/sound-power/sound-intensity

8

Energija zvuka koja se prenosi kroz određenu površinu može se odrediti poznavajući intenzitet zvuka. Ukoliko površina potpuno obuhvata izvor zvuka, prostorno i vremenski usrednjena vrednost promenljivog intenziteta zvuka (I) po posmatranoj površini određuje zvučnu snagu izvora (2.2).

Skalarni proizvod vektora intenziteta zvuka i vektora površine ukazuje na potrebu uzimanja u obzir samo komponente intenziteta zvuka normalne na površinu koja potpuno obuhvata izvor zvuka.

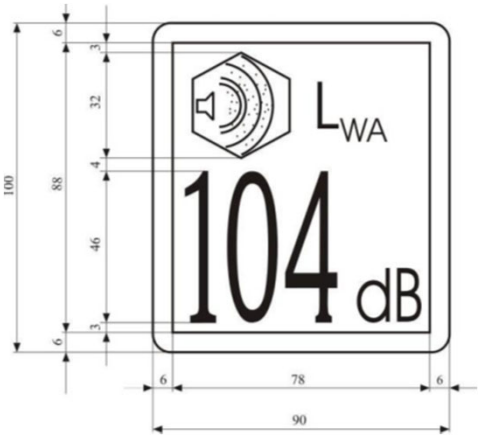
Procedura određivanja zvučne snage izvora zvuka se bazira na merenju normalne komponente intenziteta zvuka u diskretnim mernim tačkama, na površini koja potpuno obuhvata izvor. Površina koja potpuno obuhvata izvor, a koja ima oblik pravilne geometrijske figure po obliku najpribližnije posmatranom izvoru (najčešće sfera, polusfera ili paralelopiped) ili talasnom frontu, deli se na segmente jednakih površina i u centrima tih segmenata se meri normalna komponenta intenziteta zvuka sondom za inzenzitet zvuka, usmerenom ka izvoru zvuka. Zvučna snaga je tada određena jednačinom (2.3).

2.1 Izvori buke i njihove krakteristike

- Logaritamska mera zvučne snage – **nivo zvučne snage** [dB].

$$L_{P_a} = 10 \log \frac{P_a}{P_0} \ [\mathrm{dB}] \qquad (2.4)$$

  - P_0 – referentna zvučna snaga, 10^{-12} W.
- Obaveza deklarisanja vrednosti nivoa zvučne snage.
- Definisana forma **nalepnice**.
- Nivo zvučne snage se deklariše kao ukupna vrednost zvučne snage određena primenom A-ponderacione frekvencijske krive.
- Poznavanje zvučne snage omogućava izračunavanje zvučnog pritiska.
- Korišćenje oznake W za zvučnu snagu u izrazu za nivo.



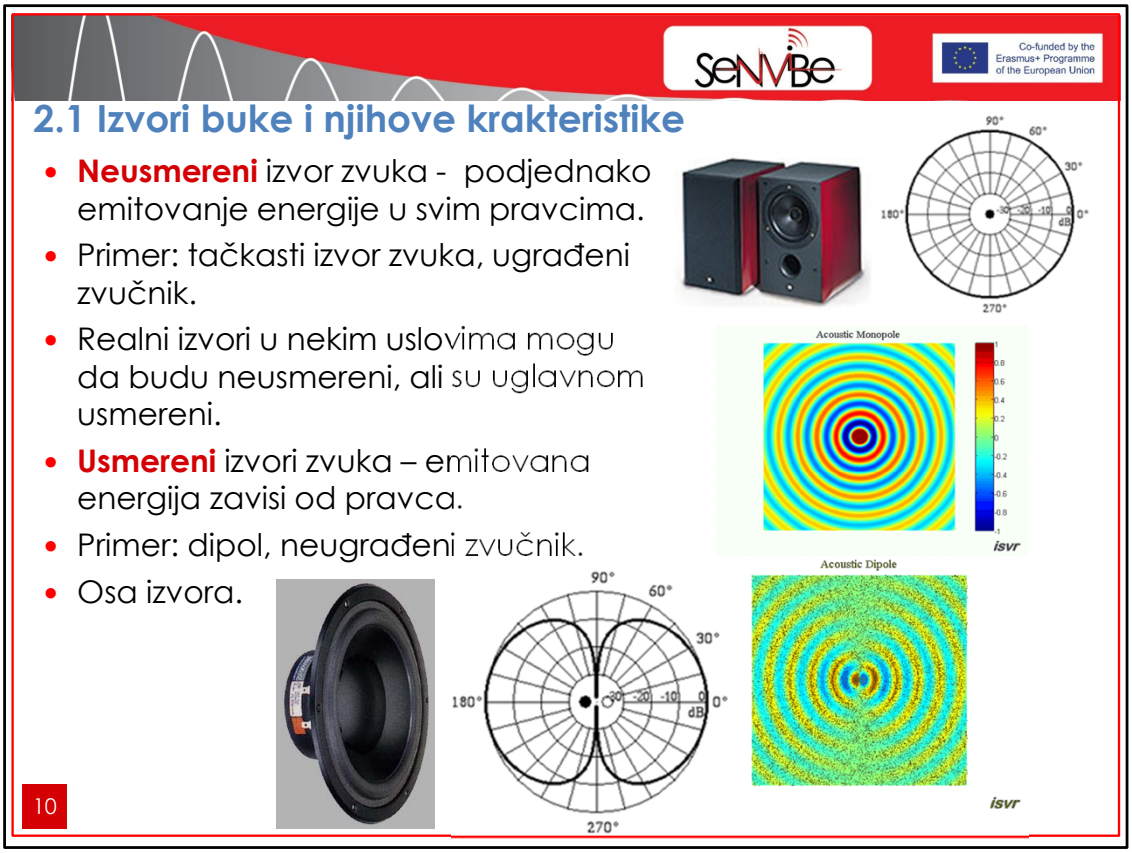
9

Iz istih razloga zbog kojih je uveden nivo zvuka kao mera jačine zvuka u zvučnom polju, i za zvučnu snagu postoje razlog da se uvede paralelna logaritamska mera. Tako je definisana veličina koja se naziva nivo zvučne snage koji je određen jednačinom (2.4), gde je referentna vrednost zvučne snage 10^{-12} W.

Mnogi propisi nameću obavezu proizvođačima i distributerima proizvoda koji emituju buku, naročito proizvoda namenjenih za domaćinstvo i opreme koja se koristi na otvorenom prostoru, da deklarišu vrednosti nivoa zvučne snage u tehničkim specifikacijama ili na nalepnici na samom proizvodu.

Za zvučnu snagu se često u oznaci veličine nivoa zvučne snage koristi oznaka W (inače oznaka za energiju zvuka) umesto P_a (zvučna snaga predstavlja energiju zvuka u jedinici vremena). Na slici sa slajda, oznaka A u indeksu oznake za nivo zvučne snage označava korišćenje A-ponderacione frekvencijske krive za određivanje nivoa zvučne snage.

Poznavanje zvučne snage omogućava izračunavanje zvučnog pritiska u bilo kojem okruženju u zavisnosti od tipa izvora.



Izvori zvuka koji emituju energiju u svim pravcima podjednako nazivaju se neusmereni izvori zvuka, kao što su npr. tačkasti izvori zvuka. Iako se u praksi mogu retko sresti, primer takvog izvora je zvučnik ugrađen u zvučničku kutiju.

Realni izvori, pod određenim uslovima i u određenom frekvencijskom opsegu, mogu podjednako da emituju energiju u svim pravcima, ali je za njih karakteristično uglavnom nejednako zračenje energije zvuka.

Takvi izvori kod njih količina izračene energije zavisi od posmatranog pravca se nazivaju usmereni izvori. Primer takvog izvora je zvučnik koji nije ugrađen u zvučničku kutiju.

Kod usmerenih izvora uglavnom postoji jedan pravac gde je zračenje izvora dominantno i taj pravac se naziva osa izvora zvuka. Osa se uglavnom poklapa sa fizički prepoznatljivim pravcem koji je karakteristika konstrukcije izvora. Npr., kod zvučnika se osa poklapa sa simetralom membrane.

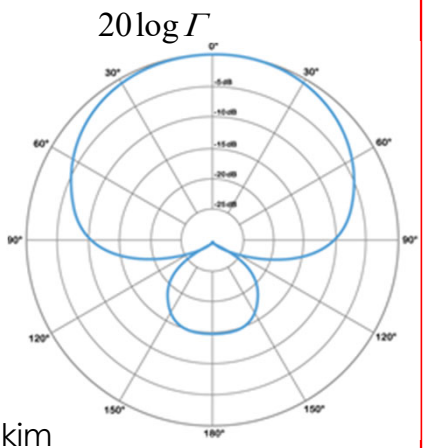
2.1 Izvori buke i njihove krakteristike

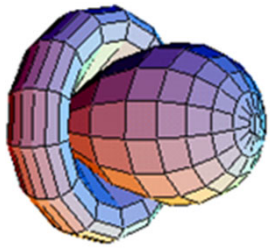
- Posledica usmerenosti – zvučni pritisak različit na površini talasnog fronta.
- **Faktor smera** definiše usmerenost izvora:

$$\Gamma(\theta) = \frac{p(\theta)}{p(\theta = 0^{\circ})} \qquad \textbf{(2.5)}$$

- Dijagram faktora smera - **karakteristika usmerenosti**.
- Najčešći logaritamski prikaz.
- Karakteristika usmerenosti – linija sa jednakim zvučnim pritiskom.
- Karakteritika usmerenosti – u opštem slučaju trodimenzionalni oblik.
- Za usmereni izvor zvučna snaga zavisi od smera:

$$P_a(\theta) = I_0 \oint_S \frac{I}{I_0} dS = I_0 \oint_S \Gamma(\theta) dS \qquad \textbf{(2.6)}$$





11

Posledica usmerenosti je pojava da zvučni pritisak ili intenzitet zvuka neće biti jednaki na površini talasnog fronta, već će zavisiti od pravca zračenja energije.

Osnovna veličina koje definiše usmerenost izvora zvuka se naziva faktor smera, Γ, koji se definiše kao odnos zvučnog pritiska koji izvor zvuka stvara pod nekim uglom i zvučnog pritiska u pravcu glavne ose, na istom rastojanju od izvora (2.5).

Vrednosti faktora smera se prikazuju na dijagramu faktora smera koji se naziva karakteristika usmerenosti izvora zvuka. Pošto se jačina zvuka najčešće iskazuje u dB, i dijagram faktora smera se najčešće prikazuje u logaritamskom obliku kao dijagram $20\log\Gamma$ u funkciji ugla zračenja.

Karakteristika usmerenosti izvora zvuka predstavlja liniju (posmatrano u prostoru površinu) na kojoj su zvučni pritisak ili intenzitet zvuka svuda jednaki.

Karakteristika usmerenosti izvora zvuka, u opštem slučaju, ima trodimenzionalni oblik, ali zbog teškoća u prikazivanju 3D karakteristika najčešće se daje prikaz karakteristika usmerenosti u horizontalnoj i vertikalnoj ravni.

Za usmereni izvor zvuka zvučna snaga neće biti ista u svim smerovima zračenja, već će zavisiti od smera i određuje se primenom jednačine (2.6).

2.1 Izvori buke i njihove krakteristike

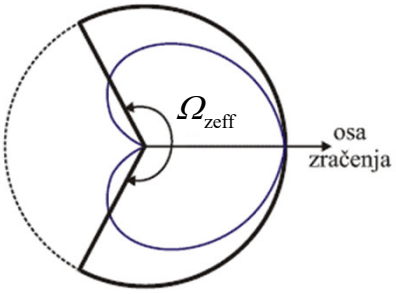
- Rešavanje praktičnih problema – potrebno **jednobrojno izražavanje**.
- Površina oko izvora u obliku sfere:

$$P_a(\theta) = I_{0^\circ} \int_o^{4\pi} \Gamma(\theta) dS = I_{0^\circ} \int_o^{4\pi} \Gamma(\theta) r^2 d\Omega = I_{0^\circ} r^2 \int_o^{4\pi} \Gamma(\theta) d\Omega \quad \textbf{(2.7)}$$

  - I_{0°- intenzitet zvuka u pravcu ose zračenja izvora zvuka

- Efektivni prostorni ugao zračenja:

$$\Omega_{zeff} = \int_o^{4\pi} \Gamma(\theta) d\Omega \ [\text{sr}] \quad \textbf{(2.8)}$$



- Zvučna snaga usmerenog izvora:

$$P_a = I_{0^\circ} r^2 \Omega_{zeff} \quad \textbf{(2.9)}$$

  - **Efektivni prostorni ugao zračenja** – prostorni ugao u kome bi neusmereni izvor zračio istu energiju kao usmereni izvor.
  - Neusmereni izvor zrači podjednako energiju u svim pravcima efektivnog prostornog ugla, kao i usmereni u pravcu glavne ose.

12

Pri rešavanju praktičnih problema, kao što je problem izračunavanja zvučnog pritiska u prostoriji gde je smešten izvor zvuka, postoji potreba za jednostavnijim izražavanjem usmerenosti izvora zvuka nekom od jednobrojnih veličina.

Ako se kao površina oko izvora zvuka u jednačini (2.6) postavi sfera poluprečnika r, onda se dobija (2.7), gde je I_0 intenzitet zvuka u pravcu ose zračenja izvora zvuka.

Izraz pod integralom je jednobrojna veličina koja se naziva efektivni prostorni ugao zračenja (2.8), veličina koja se izražava u sterradijanima. U tom slučaju se zvučna snaga usmerenog izvora može iskazati jednim brojem pomoću jednačine (2.9)

Efektivni prostorni ugao zračenja predstavlja prostorni ugao u kome bi neusmereni izvor zvuka zračio ukupnu energiju jednaku energiji koju usmereni izvor zvuka, faktora smera Γ, zrači u svim pravcima. Neusmereni izvor zvuka u efektivnom prostornom uglu zrači energiju podjednako u svim pravcima koje obuhvata taj efektivni prostorni ugao, kao i usmereni izvor zvuka u pravcu ose zračenja.

2.1 Izvori buke i njihove krakteristike

- Iz vrednosti efektivnog prostornog ugla nije očigledno kolika je njegova usmerenost.
- Uvodi se faktor usmerenosti čija je vrednost veća ili jednaka 1.

$$\gamma = \frac{4\pi}{\Omega_{\text{zeff}}} \qquad \textbf{(2.10)}$$

- Veća vrednost faktora usmerenosti – veća usmerenost.
- Logaritamski ekvivalent – indeks usmerenosti:

$$G = 10\log\gamma \ \ [\text{dB}] \qquad \textbf{(2.11)}$$

- Vrednosti veličina koje definišu usmerenost:

tip izvora	Γ	Ω_{zeff} [sr]	γ	G[dB]
neusmereni izvor	1	4π	1	0
usmereni izvor	$0 \div 1$	$0 \div 4\pi$	> 1	> 0

- Efektivni prostorni ugao zračenja se dodatno može smanjiti fizičkim ograničavanjem prostora u kome se emituje energija zvuka.

13

Efektivni prostorni ugao zračenja je veličina koja se izražava u steradijanima. Iz njegove vrednosti nije neposredno očigledno kolika je usmerenost nekog izvora. Zbog toga je uvedena još jedna veličina, definisana na linearnoj skali, koja se naziva faktor usmerenosti.

Vidi se da je za neusmereni izvor faktor usmerenosti jednak 1. Što je izvor usmereniji, to je vrednost faktora usmerenosti veća.

Faktor usmerenosti ima svoj logaritamski ekvivalent koji se naziva indeks usmerenosti. Za neusmerene izvore, faktor usmerenosti je 0 dB, a za usmerene ima vrednosti veće od 0 dB.

Efektivni prostorni ugao zračenja se dodatno može smanjiti fizičkim ograničavanjem prostora u kome se emituje energija zvuka. Tako, kada se izvor zvuka nalazi pored jedne refleksione površine efektivni prostorni ugao se smanjuje sa faktor 2.

Ako se nalazi pored dve refleksione površine (spoj dva zida) smanjuje se za faktor 4, a ako se nalazi pored tri refleksione ravni (na spoju tri zida, odnosno u uglu prostorije) za faktor 8.

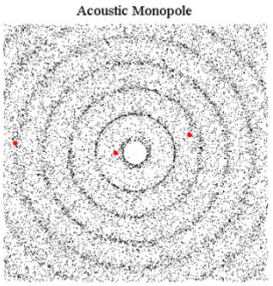
2.2 Tipovi izvora buke

- Nastajanje i prostiranje zvučnih talasa zavisi od tipa izvora zvuka (buke).
- Tri osnovna tipa izvora buke:
  - Tačkasti izvor buke;
  - Linijski izvor buke;
  - Površinski izvor buke.
- **Tačkasti izvor buke** – specijalni slučaj izvora sfernih talasa.
- Neusmereni izvor.
- Intenzitet zvuka na otvorenom prostoru:

$$I = \gamma \frac{P_a}{4\pi r^2} \left[\mathrm{W/m^2}\right] \quad \textbf{(2.12)}$$

- Intenzitet zvuka u zatvorenom prostoru:

$$I = \gamma \frac{P_a}{4\pi r^2} + \frac{4P_a}{A}(1-\bar{\alpha})\left[\mathrm{W/m^2}\right] \quad \textbf{(2.13)}$$



14

isvr

Nastajanje i prostiranje zvučnih talasa, kao i slabljenje nivoa buke usled divergencije zvučnih talasa, zavisi od tipa izvora zvuka (buke). Svi izvori buke koji se mogu sresti u životnoj i radnoj sredini mogu se modelirati korišćenjem tri osnovna tipa izvora buke:

1. Tačkasti izvor buke;
2. Linijski izvor buke;
3. Površinski izvor buke.

Tačkasti izvor buke je specijalni slučaj izvora sfernih zvučnih talasa kada su dimenzije izvora zuka koji generiše sferne talase znatno manje u odnosu na talasnu dužinu emitovanih talasa. Tačkasti izvori buke su neusmerni izvori buke i zvučni talasi se emituju sa podjednakom energijom u svim pravcima kao da dolaze iz jedne tačke.

Intenzitet zvuka na otvorenom prostoru na nekom rastojanju r od tačkastog izvora buke može se izračunati na osnovu jednačine (2.12).

Intenzitet zvuka u zatvorenom prostoru je jednak zbiru intenziteta zvuka koji je posledica dejstva direktnih talasa (prvi izraz u 2.13) i intenzitetu zvuka koji je posledica dejstva reflektovanih zvučnih talasa (drugi izraz u 2.13), gde je A – apsorpciona površina prostorije.

2.2 Tipovi izvora buke

- Tačkasti izvor na otvorenom prostoru:

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

$$\frac{I}{I_0} = \gamma \frac{P_a}{I_0} \frac{1}{4\pi} \frac{1}{r^2}$$

$$"I_0 = P_0" \Rightarrow \frac{I}{I_0} = \gamma \frac{P_a}{P_0} \frac{1}{4\pi} \frac{1}{r^2}$$

$$10\log\frac{I}{I_0} = 10\log\gamma + 10\log\frac{P_a}{P_0} + 10\log\frac{1}{4\pi} + 10\log\frac{1}{r^2}$$

$$L_I = L_W + G - 20\log r - 11 \text{ [dB]}$$

- Nivo intenziteta zvuka i nivo zvučnog pritiska na otvorenom prostoru imaju istu vrednost:

$$L_p = L_W + G - 20\log r - 11 \text{ [dB]} \quad \textbf{(2.14)}$$

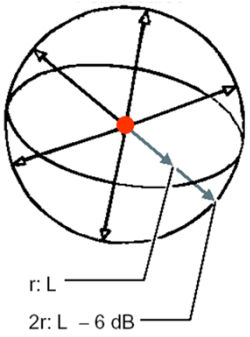
15

Polazeći od jednačine (2.12) može se izvesti jednačina za izračunavanje nivoa intenziteta zvuka na otvorenom prostoru. Kako na otvorenom prostoru nivo zvučnog pritiska i nivo intenziteta zvuka imaju istu vrednost dobija se jednačina (2.14).

2.2 Tipovi izvora buke

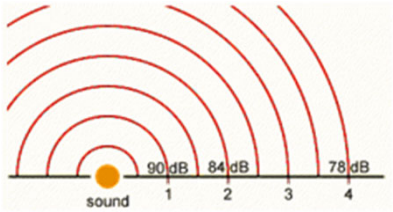
- Tačkasti izvor udaljen od reflektujućih površina.
- Indeks usmerenosti jednak nuli.
- Nivo zvučnog pritiska opada 6 dB sa dupliranjem rastojanja.

$$L_p = L_W - 20\log r - 11\ [\text{dB}] \quad \textbf{(2.15)}$$



- Tačkasti izvor iznad reflektujuće površine.
- Indeks usmerenosti 3 dB.
- Nivo zvučnog pritiska opada 6 dB sa dupliranjem rastojanja.

$$L_p = L_W - 20\log r - 8\ [\text{dB}] \quad \textbf{(2.16)}$$



16

Tačkasti izvor buke je neusmeren i ako se nalazi udaljen od reflektujućih površina indeks usmerenosti je jednak nuli, tako da je nivo zvučnog pritiska dat jednačinom (2.15). U ovom slučaju nivo zvučnog pritiska opada za 6 dB sa dupliranjem rastojanja od izvora buke. Emitovana zvučna energija se kod tačkastih izvora buke ravnomerno raspoređuje po površini sfere.

Tačkasti izvor buke se najčešće na otvorenom prostoru nalazi neposredno iznad zemlje ili neke druge reflektujuće podloge, tako da se efektivni prostorni ugao smanjuje sa 4π na 2π, pa je indeks usmerenosti takvog izvora 3 dB, što daje jednačinu za izračunavanje nivoa zvučnog pritiska uobičajneih izvora buke u životnoj sredini (2.16). Emitovana zvučna energija se u ovom slučaju ravnomerno raspoređuje po površini polusfere. I u ovom slučaju nivo zvučnog pritiska opada za 6 dB sa dupliranjem rastojanja od izvora buke.

2.2 Tipovi izvora buke

- Tačkasti izvor u zatvorenom prostoru:

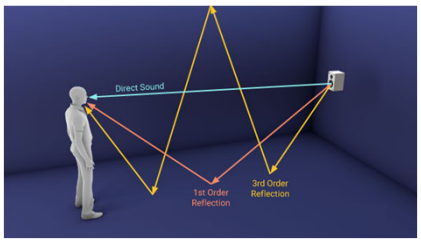
$$I = \gamma \frac{P_a}{4\pi r^2} + \frac{4P_a}{A}(1-\bar{\alpha}) = \frac{p^2}{\rho_0 c}$$

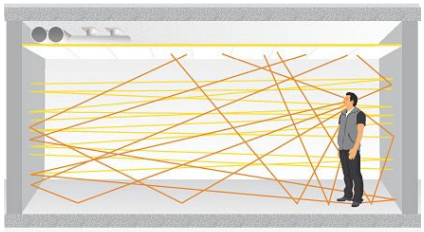
$$p^2 = \rho_0 c P_a \left(\frac{\gamma}{4\pi r^2} + \frac{4}{A}(1-\bar{\alpha}) \right)$$

$$\frac{p^2}{p_0^2} = \frac{\rho_0 c P_{a0}}{p_0^2} \frac{P_a}{P_{a0}} \left(\frac{\gamma}{4\pi r^2} + \frac{4}{B} \right), B = \frac{A}{1-\bar{\alpha}}$$

$$L_p = L_W + 10\log\left(\frac{\gamma}{4\pi r^2} + \frac{4}{B} \right) + 10\log\left(\frac{\rho_0 c P_{a0}}{p_0^2} \right)$$

0.1 dB





- Nivo zvučnog pritiska u zatvorenom prostoru:

$$L_p \approx L_W + 10\log\left(\frac{\gamma}{4\pi r^2} + \frac{4}{B} \right) \text{ [dB]} \quad \textbf{(2.17)}$$

- Granični radijus prostorije:

$$\gamma \frac{P_a}{4\pi r^2} = \frac{4P_a}{B} \Rightarrow r_g = \sqrt{\frac{\gamma B}{16\pi}} \quad \textbf{(2.17a)}$$

17

Polazeći od jednačine (2.13) se može izvesti jednačina za izračunavanje nivoa zvučnog pritiska u zatvorenom prostoru. Sa B je obeležena akustička konstanta prostorije koja zavisi od dimenzija prostorije i apsorpcionih karakteristika prostorije, odnosno od srednjeg koeficijenta apsorpcije.

Kako je poslednji izraz u jednačini za izračunavanje nivoa zvučnog pritiska relativno mali, on se može zanemariti, pa se dobija praktična jednačina za izračunavanje nivoa zvučnog pritiska u zatvorenom prostoru (2.17).

Na rastojanjima od izvora buke koja su manja od graničnog radijusa prostorije dominiraju direktni zvučni talas (direktno zvučno polje), a na većim rastojanjima od graničnog radijusa dominiraju reflektovani zvučni talasi (reverberaciono polje). Izjednačavanjem izraza za intenzitet direktnih i reflektovanih zvučnih talasa dobija se granični radijus prostoriije (2.17a).

2.2 Tipovi izvora buke

- Tačkasti izvor u zatvorenom prostoru pored jedne reflektujuće površine:

$$L_p \approx L_W + 10\log\left(\frac{2}{4\pi r^2}+\frac{4}{B}\right)\ [\mathrm{dB}] \qquad \textbf{(2.18)}$$

- Tačkasti izvor u zatvorenom prostoru pored dve reflektujuće površine:

$$L_p \approx L_W + 10\log\left(\frac{4}{4\pi r^2}+\frac{4}{B}\right)\ [\mathrm{dB}] \qquad \textbf{(2.19)}$$

- Tačkasti izvor u zatvorenom prostoru pored tri reflektujuće površine:

$$L_p \approx L_W + 10\log\left(\frac{8}{4\pi r^2}+\frac{4}{B}\right)\ [\mathrm{dB}] \qquad \textbf{(2.20)}$$







U radnoj sredini mašina, oprema i uređaji se najčešće nalaze na podu, kada se efektivni prostorni ugao smanjuje sa 4π na 2π, pa je faktor usmerenosti takvog izvora 2 (2.18).

Kada se izvor buke nalazi pored dve reflektujuće površine (poda i zida), efektivni prostorni ugao se smanjuje sa 4π na π, pa je faktor usmerenosti takvog izvora 4 (2.19).

Kada se izvor buke nalazi pored tri reflektujuće površine (poda i dva zida), efektivni prostorni ugao se smanjuje sa 4π na π/2, pa je faktor usmerenosti takvog izvora 8 (2.20).

2.2 Tipovi izvora buke

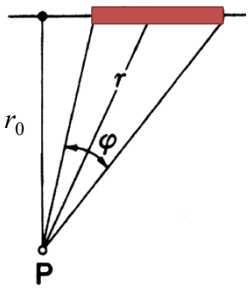
- **Linijski izvor buke** – poprečne dimenzije male, uzdužne velike u poređenu sa rastpjanjem od izvora.
- Emituje **cilindrične** talase.
- Energija se ravnomerno raspoređuje po površini cilindra (najčešće polucilindra).
- Intenzitet zvuka na rastojanju r od ose izvora beskonačne dužine:

$$I = \frac{P_{aL}}{2\pi r_0}\left[\mathrm{W/m^2}\right] \quad \textbf{(2.21)}$$

  - P_{aL} - zvučna snaga po jedinici dužine.
- Intenzitet zvuka na rastojanju r od izvora dužine d:

$$I = \frac{P_{aL}}{2\pi r_0}\,\frac{\varphi}{d}\left[\mathrm{W/m^2}\right] \quad \textbf{(2.22)}$$

  - φ - ugao pod kojim se vidi izvor zvuka iz prijemne tačke.



19

Ako su poprečne dimenzije izvora buke male, a uzdužne dimenzije velike u poređenju sa rastojanjem do prijemnika, takav izvor buke se naziva linijski.

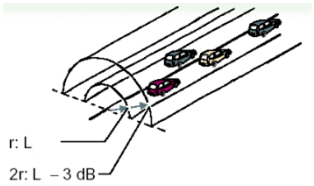
Emitovana zvučna energija se ravnomerno raspoređuje po površini cilindra poluprečnika r_0 (ili polucilindra – za najčešći slučaj lokacije izvora pored neke reflektujuće ravni), tako da je nivo buke isti za sve tačke na istom rastojanju od linije izvora. Linijski izvor buke je neusmereni izvor.

Ako je poznata zvučna snaga linijskog izvora po jedinici dužine izvora, za beskonačni linijski izvor buke intenzitet zvuka se može izračunati primenom jednačine (2.21), a za linijski izvor konačne dužine d jednačinom (2.22).

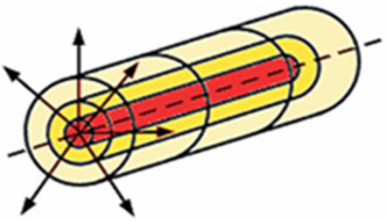
U obe jednačine se pretpostavlja da se linijski izvor zvuka nalazi iznad ili pored refleksione ravni. Za slučaj kada se linijski izvor zvuka ne nalazi pored refleskionih ravni u jednačinama (2.21) i (2.22) 2 treba zameniti sa 4.

2.2 Tipovi izvora buke

- Nivo buke se smanjuje za 3 dB sa dupliranjem rastojanja od ose izvora.
- Dva tipa linijskih izvora:
  - Diskretan niz tačkastih izvora;
    - Veliki broj tačkastih izvora buke iste zvučne snage (niz vozila);
  - Kontinualni linijski izvor;
    - Jedan izvor velike dužine sa poznatom zvučnom snagom po jedinci dužine;
    - Konačan broj tačkastih izvora buke iste zvučne snage (niz vozila) na malom rastojanju.









20

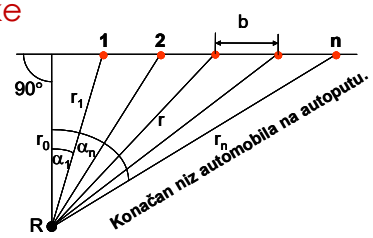
Kod linijskog izvora buke nivo buke se smanjuje 3 dB sa dupliranjem rastojanja od izvora buke.

Postoje dva tipa linijskih izvora buke:

- Diskretan niz tačkastih izvora buke - veliki broj tačkastih izvora buke (npr. niz vozila) iste zvučne snage koji se nalaze na međusobnom rastonju b. Linijski izvor buke se karakteriše zvučnom snagom jednog izvora buke;
- Kontinualni linijski izvor buke - Jedan izvor velike dužine (cev kroz koju protiče turbulentni fluid, lokomotova, ili veoma gust niz vozila) koji se karakteriše zvučnom snagom po jednici dužine ili konačan broj tačkastih izvora buke koji se nalaze na veoma malom međusobnom rastojanju.

2.2 Tipovi izvora buke

- Konačan broj diskretnih tačkastih izvora buke
  - Zvučna snaga svakog izvora L_W;
  - Nalaze se pored reflektujuće ravni;
  - Međusobno rastojanje b;
  - Nivo zvučnog pritiska u R:



$$L_p = L_W + 10\log\left(\frac{\alpha_n - \alpha_1}{r_0 b}\right) - 8 + \Delta L \quad \textbf{(2.23)}$$

  - ΔL – korekcioni član koji se u može zanemariti ako su ispunjeni uslovi:
    - Broj tačkastih izvora buke jednak ili veći od 3;
    - Zadovoljen uslov: $\frac{r_0}{b\cos\alpha_1} \geq \frac{1}{\pi}$
    - Inače ima vrednost:

$$\Delta L = 10\log\left\{\frac{b}{r_0}\frac{\cos^2\alpha_1}{\alpha_n - \alpha_1}\sum_{m=1}^{n}\frac{1}{1+(m-1)\frac{b}{r_0}\cos\alpha_1\left[(m-1)\frac{b}{r_0}\cos\alpha_1 + \sin\alpha_1\right]}\right\}$$

21

Konačan broj diskretnih tačkastih izvora buke, iste zvučne snage L_w, koji se nalaze pored (ili iznad) reflektujuće ravni, na međusobnom rastojanju b, formira linijski izvor buke koji u proračunskoj tački R, na normalnom rastojanju r_0 od linije izvora buke, stvara nivo zvučnog pritiska dat jednačinom (2.23), gde su uglovi α_1 i α_n uglovi pod kojim se sa pozicije prijemnika vidi prvi i zadnji tačkasti izvor buke u nizu.

Korekcioni član čija je vrednost data izrazom na slajdu u većini praktičnih slučajeva se može zanemariti, odnosno ako su ispunjena navedena dva uslova.

Prvi uslov je praktično uvek ispunjen, jer ako postoje samo dva izvora, nivo buke se jednostavno može izračunati energijskim sabiranjem nivoa koji generišu pojedinačni izvori buke.

Drugi uslov definiše kada se diskretan niz izvora može posmatrati kao kontinualni linijski izvor. Ako uslov nije ispunjen, mesto prijema zvuka je toliko blizu najbližem izvoru buke da se nivo buke može izračunati posmatrajući samo zračenje najbližeg izvora.

2.2 Tipovi izvora buke

- Beskonačan broj diskretnih tačkastih izvora buke
  - Zvučna snaga svakog izvora L_W;
  - Nalaze se pored reflektujuće ravni;
  - Međusobno rastojanje b;
  - Razlika uglova teži π.
  - Nivo zvučnog pritiska u R:

$$L_p = L_W + 10\log\left(\frac{\alpha_n - \alpha_1}{r_0 b}\right) - 8,$$

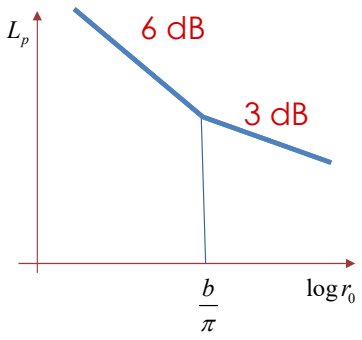
$$L_p = L_W + 10\log(\alpha_n - \alpha_1) + 10\log\left(\frac{1}{r_0 b}\right) - 8,$$

$$L_p = L_W + 10\log(\pi) - 10\log(r_0 b) - 8$$

$$L_p = L_W - 10\log(r_0 b) - 3 \quad \textbf{(2.24)}$$

$$r_0 \geq \frac{b}{\pi}$$

  - Primenjuje se kada je ispunjen uslov:
  - Nivo zvučnog pritiska opada 3dB sa dupliranjem rastojanja.
  - Ako uslov nije ispunjen (tačka R blizu izvora) uzima se dejstvo samo jednog izvora i primenjuje se (2.16).
  - Nivo zvučnog pritiska opada 6dB sa dupliranjem rastojanja.



22

Beskonačan broj diskretnih tačkastih izvora buke, iste zvučne snage L_w, koji se nalaze pored (ili iznad) reflektujuće ravni, na međusobnom rastojanju b, formira linijski izvor buke koji u proračunskoj tački R, na normalnom rastojanju r_0 od linije izvora buke, stvara nivo zvučnog pritiska dat jednačinom (2.24). U ovom slučaju razlika uglova pod kojim se vidi prvi i zadnji izvor buke u nizu teži π.

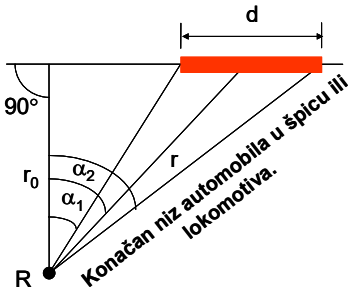
Jednačina (2.24) se može primenjivati za izračunavanje nivoa buke na rastojanjima od linije izvora buke, gde je ispunjen uslov dat na slajdu. U ovoj oblasti nivo buke opada 3 dB sa dupliranjem rastojanja i posmatra se kao linijski izvor buke.

Kada je pozicija prijemnika veoma blizu linije izvora (odnosno jednom od izvora), na rastojanjima gde je nije ispunjen dat uslov uzima se u obzir samo dejstvo jednog izvora buke, pa se nivo buke računa primenom izraza koji važi za tačkasti izvor buke (2.16). U ovoj oblasti nivo buke opada 6 dB sa dupliranjem rastojanja.

2.2 Tipovi izvora buke

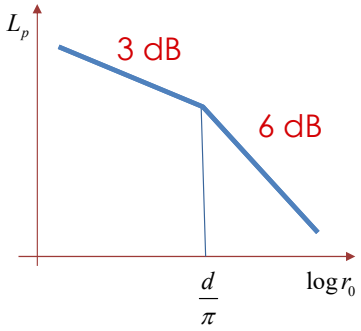
- Kontinualni linijski izvor konačne dužine
  - Zvučna snaga po jedinici dužine L_{WL} [dB/m];
  - Nalazi se pored reflektujuće ravni;
  - Dužina izvora d;
  - Nivo zvučnog pritiska u R:

$$L_p = L_{WL} + 10\log\left(\frac{\alpha_2 - \alpha_1}{r_0 d}\right) - 8 \qquad \textbf{(2.25)}$$



- Za tačke blizu linijskom izvoru:
  - Razlika uglova teži π.
  - Nivo buke opada za 3 dB sa dupliranjem rastojanja;
  - Nivo zvučnog pritiska:

$$L_p = L_{WL} - 10\log r_0 d - 3 \qquad \textbf{(2.26)}$$



23

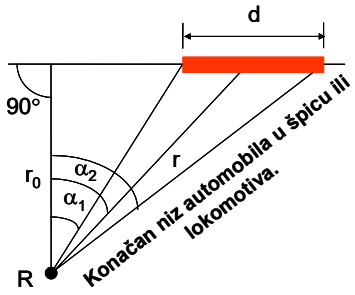
Konačan broj tačkastih izvora buke koji se nalaze pored (ili iznad) reflektujuće ravni na veoma malom međusobnom rastojanju, formiraju kontinualni linijski izvor konačne dužine d. Za takvu vrstu izvora, ili za pojedinačni linijski izvor konačne dužine (npr. lokomotiva ili cev kroz koju protiče turbulentni fluid), nivo zvučnog pritiska se računa primenom jednčine (2.25), gde su uglovi α_1 i α_2 uglovi pod kojim se vidi sa pozicije prijemnika linijski izvor buke.

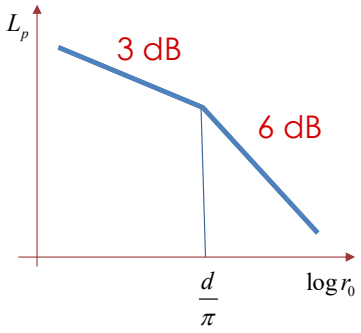
Za proračun veoma blizu linijskom izvoru buke, razlika uglova teži π, pa se jednačina (2.25) transformiše u (2.26).

2.2 Tipovi izvora buke

- Na velikim rastojanjima
  - Ispunjen je uslov $\alpha_2 - \alpha_1 \approx \frac{d}{r_0}\cos\alpha \approx \frac{d}{r_0}$
  - Nivo buke opada 6 dB sa dupliranjem rastojanja – tačkasti izvor buke;
  - Nivo zvučnog pritiska u R:

$$L_p = L_{WL}d - 20\log r_0 - 8 \quad \textbf{(2.27)}$$





24

Na veoma velikim rastojanjima od linijskog izvora je ispunjen uslov prikazan na slajdu, linijski izvor se može tretirati kao tačkasti pa se jednačina za izračunavanje nivoa buke (2.25) transformiše u (2.27), gde se kao zvučna snaga uzima ukupna zvučna snaga linijskog izvora, koja se računa kao zvučna snaga po jednici dužine pomnožena sa dužinom linijskog izvora. U ovoj oblasti nivo buke opada 6 dB sa dupliranjem rastojanja.

2.2 Tipovi izvora buke

- Beskonačni kontinualni linijski izvor:
  - Beskonačan broj tačkastih izvora iste snage;
  - Malo međusobno rastojanje;
  - Razlika uglova teži π.
  - Nivo buke opada za 3 dB sa dupliranjem rastojanja;
  - Nivo zvučnog pritiska:

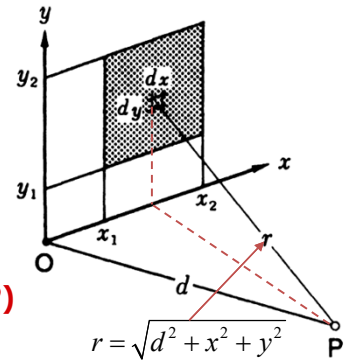
$$L_p = L_{WL} - 10\log r_0 - 8 \quad \textbf{(2.28)}$$

25

Beskonačan broj tačkastih izvora buke koji se nalaze pored (ili iznad) reflektujuće ravni, na veoma malom međusobnom rastojanju, formiraju kontinualni linijski izvor beskonačne dužine za koji je ispunjen uslov da razlika uglova teži π. Za takvu vrstu izvora, ili za pojedinačni linijski izvor beskonačne dužine, jednačina (2.25) se transformiše u jednačinu (2.28). Nivoa buke opada 3 dB sa dupliranjem rastojanja.

2.2 Tipovi izvora buke

- **Površinski izvor buke*** – emitovanje zvučnih talasa sa površina kao npr. prozor, zid...
- Beskonačni broj tačkastih izvora buke.
- Prostorni ugao 2π.
- Zvučna snaga po površini P_{aS} [W/m^2].
- Intenzitet zvuka na normalnom rastojanju d:



$$I = \int_{x_1}^{x_2}\int_{y_1}^{y_2} \frac{P_{aS}}{2\pi r^2}\mathrm{d}x\mathrm{d}y = \frac{P_{aS}}{2\pi}\int_{x_1}^{x_2}\int_{y_1}^{y_2} \frac{\mathrm{d}x\mathrm{d}y}{d^2+x^2+y^2} \quad \textbf{(2.29)}$$

$$r = \sqrt{d^2+x^2+y^2}$$

- Koordinatni početak u uglu površinskog izvora buke:
- Normalizovana (2.29) za jednično rastojanje d:

$$I = \frac{P_{aS}}{2\pi}\int_0^{a/d}\int_0^{y/d} \frac{\mathrm{d}X\mathrm{d}Y}{1+X^2+Y^2} = \frac{P_{aS}}{2\pi}\sum \quad \textbf{(2.30)} \qquad X = \frac{x}{d};\ Y = \frac{y}{d}$$

26 **Izvor*** – Z. Maekawa, J.H. Rindel and P. Lord, Environemetnal and Architectrual Acoustics, Spon Press, 2011.

Kada se zvuk emituje sa ravnih površina, kao npr. prozor ili zid, tada je reč o površinskim izvorima buke koji se mogu predstaviti preko skupa beskonačnog broja tačkastih izvora buke. Kako je emitovanje zvuka samo sa jedne strane izvora buke, efektivni prostorni ugao je 2π.

Površinski izvor buke se karakteriše sa zvučnom snagom po površini sa jedinicom [W/m^2].

Intenzitet zvuka koji potiče od površinskog izvora dimenzija axb, u prijemnoj tački R koja se nalazi na normalnom rastojanju d od ravni površinskog izvora buke se može izračunati dvostrukim integralom (2.29), gde je r izračunato na osnovu geometrije sa slike.

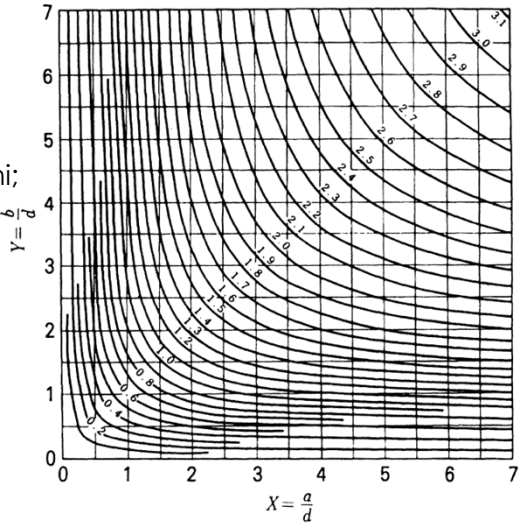
Ukoliko se koordinatni početak postavi u levom donjem uglu površinskog izvora buke, i ukoliko se sve veličine rastojanja normalzuju na jedinično rastojanje d, dobija se izraz (2.30), gde ∑ predstavalja rezultat numeričke integracije.

2.2 Tipovi izvora buke

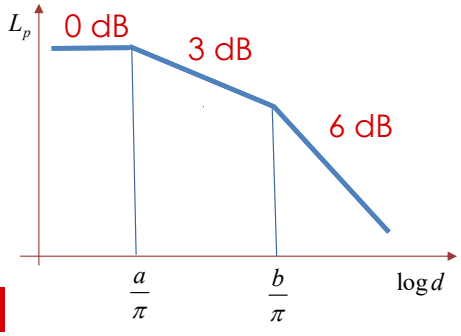
- Nivo zvučnog pritiska površinskog izvora buke:

$$L_p = L_{WS} + 10\log\Sigma - 8 \qquad \textbf{(2.31)}$$

  - L_{WS} – nivo zvučne snage po površini;
  - Σ se određuje sa grafika



- Opadanje nivoa buke:



$a < b$

27

Nivo zvučnog pritiska površinskog izvora buke, dimenzija axb, u prijemnoj tački R koja se nalazi na normalnom rastojanju d od ravni površinskog izvora buke može se izračunati jednačinom (2.31) koja je dobijena transformacijom jednačine (2.30).

Lws je nivo zvučne snage po površini izvora buke, a Σ je rezultat numeričke integracije koji se određuje sa grafika na osnovu poznatih dimenzija izvora i normalnog rastojanja od ravni površinskog izvora.

Ako je logaritamsko normalno rastojanje d manje ili jednako a/π, nema slabljenja, ako se nalazi u opsegu $a/\pi<d<b/\pi$ slabljenje je 3 dB sa dupliranjem rastojanja (linijski izvor buke, a za normalna rastojanja d veća ili jednaka b/π slabljenje je 6 dB sa dupliranjem rastojanja (tačkasti izvor buke).

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- **Drumski saobraćaj** je najrasprostranjeni izvor buke.
- Primarni uzrok ometanja ljudskih aktivnosti.
- Uključuje sledeće izvore:
  - Putničke automobile;
  - Teretne automobile;
  - Autobuse;
  - Motorcikle.



- Buka drumskog saobraćaja sa konstantnom brzinom zavisi od:
  - Brzine vozila;
  - Broja i strukture vozila;
  - Prirode površine;
  - Topografije terena;
  - Meteoroloških uslova.
- Promenljiva buke u oblastima sa promenljivom brzinom.



28

Drumski saobraćaj je najrasprostranjeniji izvor buke u svim zemljama i primarni je uzrok ometanja ljudskih aktivnosti. Drumski saobraćaj uključuje sledeće izvore: putničke i teretne automobile, motocikle i autobuse.

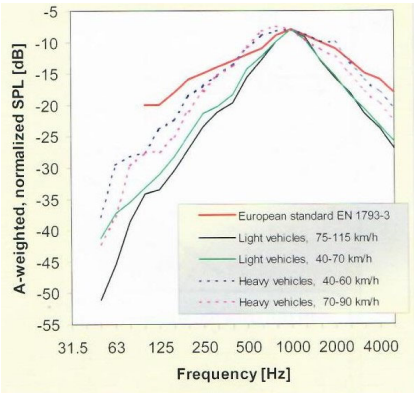
Buka koju proizvodi drumski saobraćaj pri kretanju vozila konstantnom brzinom zavisi od:

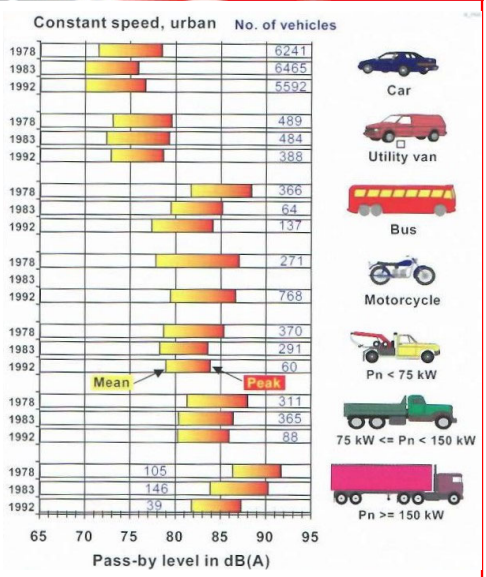
- Brzine vozila;
- Broja i strukture vozila (strukture saobraćajnog toka);
- Prirode kolovozne površine;
- Topografije okolnog terena;
- Meteoroloških uslova.

Buka je promenljiva u oblastima gde kretanje saobraćaja uključuje promene brzine i snage, npr. u zoni semafora, raskrsnica, uspona ili nizbrdica.

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- Različite kategorije vozila generiše različite nivoe buke.
- Razlikuju se i spektri generisane buke.
- Kamioni i autobusi imaju slične karakteristike.





Prevozno sredstvo	**Spoljašnji nivo buke L_A [dB]**
Automobili	72÷75
Autobus	82÷87
Kamion	82÷89

29 **Izvor grafika** – U. Sandberg, J. A. Ejsmont, „Tyre/road noise reference book, Informex, 2002

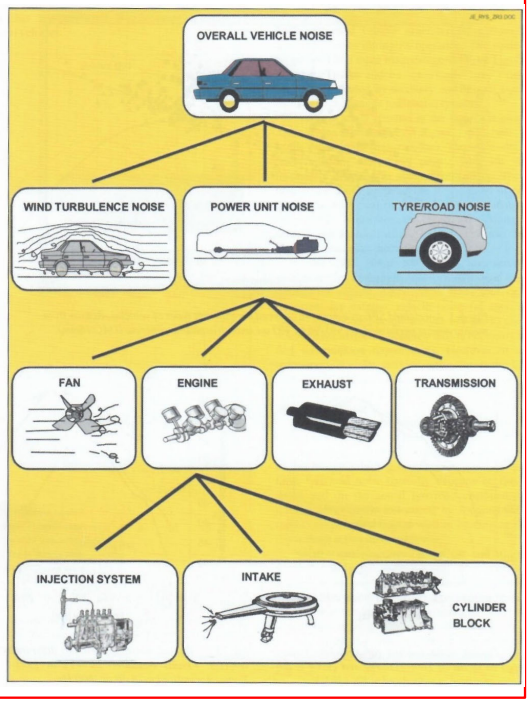
Putnička i teretna vozila se razlikuju po vrednostima nivoa buke koji generišu (vidi tabelu), ali i po spektralnim sadržajima generisane buke, dok autobusi i kamioni imaju slične karakteristike buke.

Na slici desno na slajdu prikazani su nivoi buke koje emituju različite kategorije vozila pri kontantnoj brzini koji su dobijeni merenjem 1978, 1983 i 1992. na određenom broju vozila prikazanom na desnoj strani slike. Levi deo opsega nivoa buke za svaku kategoriju vozila pokazuje srednje vrednosti nivoa buke, dok desni deo prikazuje maksimalne nivoe. Jasno se uočava da je za autobuse i teška teretna vozila postignuto značajno smanjenje nivoa buke u ispitivanom periodu, dok su nešto manja smanjenja postignuta za putnička vozila. Opseg nivoa buke je prikazan i u tabeli. U tabeli su date uobičajene vrednosti za nivoa buke koje generišu različiti tipovi drumskih vozila.

Na slici levo prikazani su tipični spektri buke za različite tipove vozila. Vrednosti su normalizovane na 1000 Hz. Razlikuju se spektri za putnička i teretna vozila – putnička vozila imaju izraženiji pik na 1000 Hz.

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- Glavni izvori buke kod vozila se mogu svrstati u tri kategorije:
  - Pogonska jedinica;
  - Turbulencija;
  - Kontakt pneumatik/podloga.
- Pogonska jedinica:
  - Ventilator;
  - Izduvni sistem;
  - Prenosni sistem;
  - Motor;
    - Sistem ubrizgavanja;
    - Usisni sistem;
    - Cilindri bloka.



30 **Izvor slike** – U. Sandberg, J. A. Ejsmont, „Tyre/road noise reference book, Informex, 2002

Glavni izvori buke kod vozila drumskog saobraćaja su pogonska jedinica, turbulencija i kontakt površine puta sa pneumaticima.

Na slicu su prikazani izvori buke kod putničkih vozila, ali su i kod teretnih vozila i autobusa slični izvori buke. Kod teretnih vozila i autobusa mogu se pojaviti i dodatni izvori buke koji potiču od dodatne i specijalne opreme uključujući pneumatske sisteme.

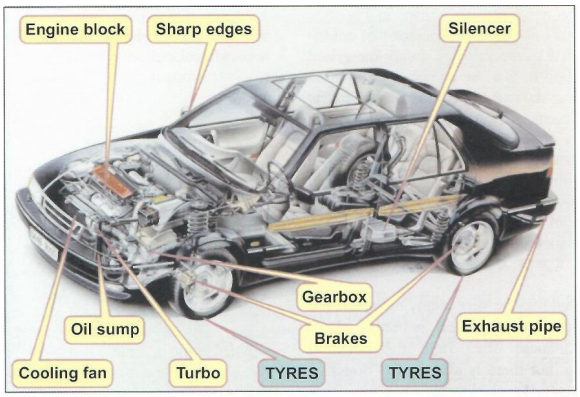
Prva grupa izvora buke je pogonska jedinica koja obuhvata ventilator za hlađenje, izduvni sistem, sistem prenosa i sam motor. Kod motora se mogu identifikovati sistem ubrizgavanja, usisni sistem i cilindri bloka kao izvori buke. Buka pogonske jedinice je zavisna od opterećenja motora i rotacione brzine motora. Ova grupa izvora buke je najočiglednija.

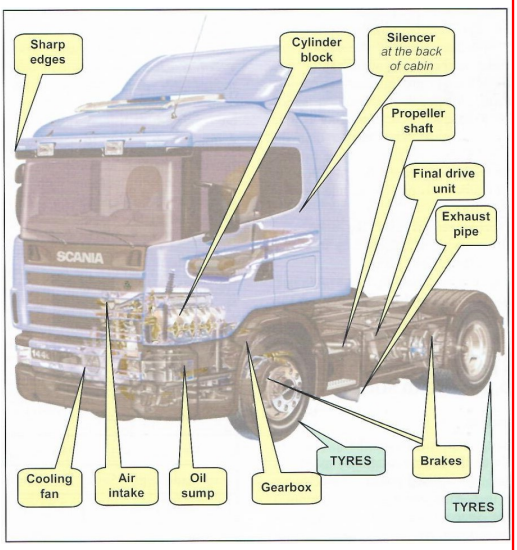
Druga grupa izvora su aerodinamički izvori koji su povezani sa turbulentnim protokom vazduha oko delova vozila. Turbulentni izvori buke nisu značajni za spoljašnju buku, naročito za brzine ispod 120 km/h ali imaju značajan uticaj na buku u unutrašnjosti vozila.

Treća grupa izvora buke je povezana sa kontaktom pneumatika i kolovozne podloge, odnosno posledica je kotrljanja pneumatika po podlozi puta. Buka kontakta pneumatika i podloge je zavisna od brzine vozila, vrste pneumatika i kolovozne podloge.

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- Položaji izvora buke vozila





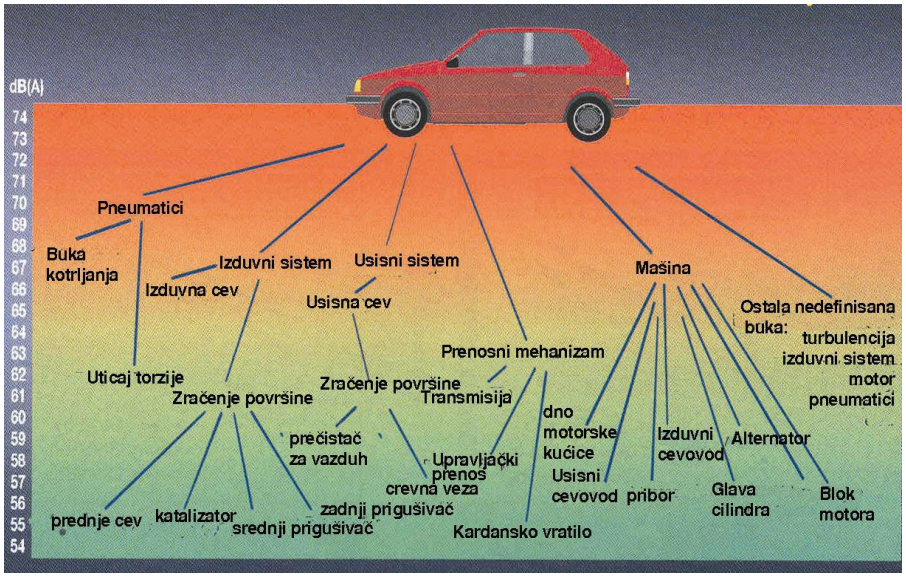
31 **Izvor slika** – U. Sandberg, J. A. Ejsmont, „Tyre/road noise reference book, Informex, 2002

Na slikama su prikazani uobičajeni položaji izvora buke kod putničkih i teretnih vozila. Položaji izvora buke mogu da variraju za različite modele vozila. Npr. položaj motora može da budi i u zadnjem delu vozila.

Pored ovih uobičajenih izvora buke, vozila mogu da budu opremljena i sa drugim izvorima buke kao što su: sirene, alarmni sistemi i sistemi za reprodukciju muzike. Svi ovi izvoru buke mogu da doprinesu značajnom povećanju nivoa buke, naročito u urbanim naseljima.

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- Doprinos pojedinih izvora buke ukupnom nivou buke



32 **Izvor slike** – U. Sandberg, J. A. Ejsmont, „Tyre/road noise reference book, Informex, 2002

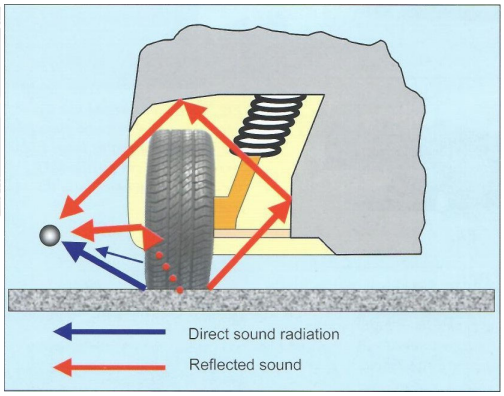
Na slici je ilustrovan doprinos svih mehanizama generisanja buke ukupnom nivou buke koji stvara putničko vozilo koje zadovoljava trenutne standarde za dozvoljeni nivo buke putničkih automobila od 74 dB na rastojanju 15 m od izvora, pri testiranju vozila koje se kreće konstntnom brzinom. Jasno su rangirani izvori buke i jasno je ukazano na činjenicu da je kod putničkih vozila devedesetih godina dominantan izvor buke kontakt pneumatik/podloga. Sam kontakt pneumatik/podloga generiše nivo buke od 70 dB, dok ostali izvori buke generišu nivoe buke za 3 dB niže (izduvni i usisni sistem) pa i manje.

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- Prelazna brzina

Tip vozila	Konstantna brzina	Ubrzanje
Putnička vozila (1985-1995)	30-35 km/h	45-50 km/h
Putnička vozila (1996-)	15-25 km/h	30-45 km/h
Teretna vozila (1985-1995)	40-50 km/h	50-55 km/h
Teretna vozila (1996-)	30-35 km/h	45-50 km/h





Izvor slike i podataka – U. Sandberg, J. A. Ejsmont, „Tyre/road noise reference book, Informex, 2002

33

Opšte je poznata činjenica da pogonska buka dominira na nižim brzinama, dok na višim brzinama dominira buka kontakta pneumatika i podloge puta, kao i da postoji određena "prelazna brzina" gde su doprinosi oba mehanizma generisanja buke isti. Kako je poslednjih decenija dosta postignuto u delu smanjenja buke pogonske jedinice, to je prelazna brzina iznad koje dominira buka pneumatika sve manja, tako da za putničke automobile iznosi 15-25 km/h, a za kamione 40-50 km/h, pri kretanju konstantnom brzinom. Pri ubrzanom kretanju prelazne brzine imaju vrednosti 30-45 km/h za putnička vozila, a za teretna vozila 45-50 km/h.

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- **Železnički saobraćaj** je drugi dominatni izvor buke.
- Uključuje sledeće izvore:
  - Putnički saobraćaj;
  - Teretni saobraćaj.
- Buka železničkog saobraćaja je manje ometajuća.
  - Uvodi se bonus (3-6 dB, SRPS ISO 1996-1:2019)
- Glavni izvor buke:
  - Interakcija točkova sa šinama;
  - Pogonski sistem;
  - Aerodinamička buka;
  - Dodatna oprema (ventilacija, sirene).
- Buka železničkog saobraćaja zavisi od:
  - Brzine voza;
  - Tipa lokomotive, vagona i šina;
  - Osnove na kojoj su postavljene šine;
  - Krutosti točkova i šina.



34

Železnički saobraćaj je drugi dominantni izvor buke u životnoj sredini. Obuhvata putnički i teretni saobraćaj i u poslednje vreme je u stalnom razvoju što dovodi do većeg obima saobraćaja, bržih i težih vozova i povećanog uznemiravanja bukom.

Generalno buka železničkog saobraćaja je manje ometajuća od drumskog i avionskog saobraćaja, tako da neke zemlje uvode bonuse pri ocenu buke železničkog saobraćaja. SRPS IS0 1996-1:2019 preporučuje oduzimanje 3-6 dB od izmerenih/proračunatih nivoa buke železničkog saobraćaja pri proračunu merodavnih nivoa buke.

Glavni izvori buke kod prevoznih sredstava u železničkom saobraćaju su:

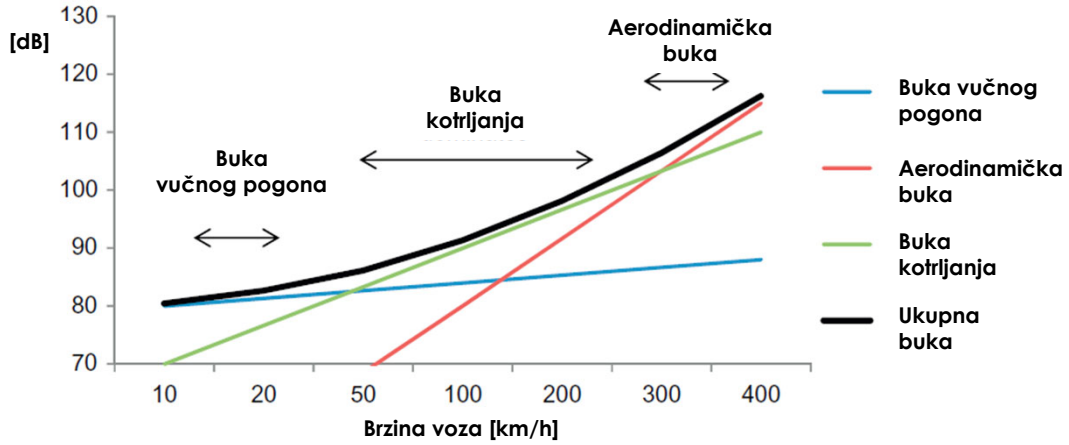
- Interakcija točkova vagona i lokomotive sa šinama (buka kotrljanja);
- Pogonski sistem;
- Aerodinamička buka kod vozova koji se kreću velikim brzinama;
- Dodatna oprema (ventilacija i sirene); sirena koja se koristi kao znak upozorenja može da bude značajan izvor buke jer generiše nivo buke 85 - 90 dB na rastojanju od 30 m

Buka koju generiše železnički saobraćaj zavisi od:

- Brzine voza;
- Tipa lokomotive, vagona i šina;
- Osnove na kojoj su postavljene šine;
- Krutosti točkova i šina.

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- Dodatna buka:
  - Na železničkim stanicama;
  - Blizu tunela, na mostovima i nadvožnjacima (povećanje do 20 dB).
- Doprinos različitih mehanizama generisanja buke:



35 **Izvor grafika** – E. Murphy, E.A Kong, „Environmental noise pollution – Noise mapping, public health, and policy", Elsevier, 2014

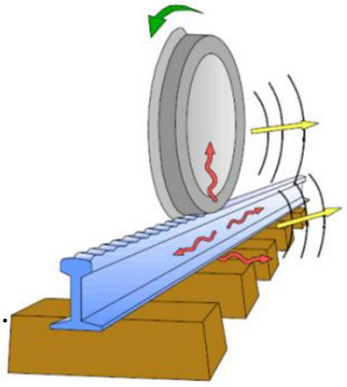
Dodatna buka se generiše na železničkim stanicama - startovanje lokomotive, pištaljka šefa stanice, razglasni sistem, kao i manevrisanje lokomotiva na ranžirnim stanicama. Dodatno povećanje buke može nastati i u oblastima blizu tunela, u dolinama, ili u oblastima sa karakteristikama terena koje pomažu generisanje vibracija.

Nivo buke se pri kretanju voza preko mostova ili nadvožnjaka može povećati i do 20 dB kao posledica emitovanja zvuka usled vibriranja strukture mosta.

Buka železničkog saobraćaja je kombinacija doprinosa sva tri glavna mehanizma generisanja buke. Svaki mehanizam je zavistan od brzine voza i na slici je prikazana ta zavisnost. Pri niskim brzinama dominira buka vučnog pogona (pogonska buka motora), na brzinama između 30 i 200 km/h dominira buka kotrljanja a iznad ovih brzina (brzi vozovi – „Soko") dominira aerodinamička buka.

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- Buka kotrljanja – dominatan izvor buke.
- Mehanizmi generisanja buke:
  - Vibriranje točkova i šina pri kretanju;
  - Trenje zbog hrapavosti točkova i šina;
  - Udar točkova na spojeve šina;
  - Klizni kontakt prirubnica točkova i šina.
- Buka je širokopojasna na ravnim deonicama.
- Buka je tonalna pri kretanju na krivinama.
  - Visoki nivoi buke na visokim frekvencijama;
  - Uzrok – klizanje točkova po šinama;
  - Spoljni točkovi prelaze veći put – moraju da skliznu.
  - Novi tipovi vozova imaju fleksibilne ose koje se adaptiraju krivinama.



https://www.slideserve.com/xantara/railway-noise



36

Dominantan mehanizam generisanja buke za tipične brzine vozova je interakcija točkova voza i šina (buka kotrljanja). Pri kretanju voza vibriraju i točak i šine i na taj način generišu buku. Vibracije su posledica vertikalnih dinamičkih sila koje se javljaju zbog hrapavosti površine točka i šina. Kao posledica hrapavosti površina točkova i šina javlja se buka i zbog njihovog međusobnog trenja. Udar točkova na spoj šina koje nisu zavarene stvara takođe buku. Škripanje prirubnice može nastati kao rezultat kliznog kontakta prirubnica točkova i čeličnih šina.

Prilikom kretanja voza na ravnim deonicama generiše se buka koja ima karakter širokopojasne buke, dakle nema istaknutih tonalnih komponenata.

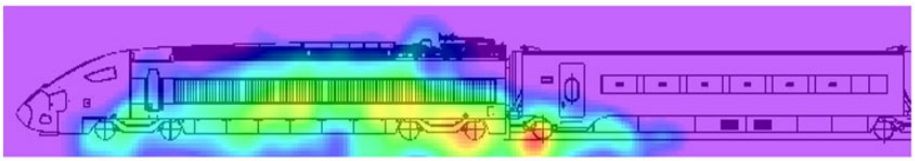
Kada se voz kreće po krivinama čiji je prečnik manji od 100 m, koje su karakteristične za gradske sredine, generišu se veliki nivoi buke na visokim frekvencijama, koji se opažaju kao škripa ili pisak. Generisana buke je tonalna, sa jasno izraženom komponentom na visokim frekvencijama. Uzrok za ovakvu pojavu je klizanje metalnih točkova po metalnim šinama, zbog konstrukcije samih vagona, gde su točkovi fiksirani sa paralenim osama. Spoljni točkovi na krivinama prelaze veći put u odnosu na unutrašnje, tako da moraju da skliznu, pri čemu se generiše buka. Noviji tipovi šinskih vozila su konstruisani sa fleksibilnim osama koje mogu da se adaptiraju krivinama. Na taj način se smanjuje buka.

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- Buka vučnog pogona – posledica mehaničkih procesa:
  - Buka ventilatora;
  - Buka sistema za hlađenje motora;
  - Buka motora i menjača;
  - Buka izduvnih gasova (kod dizel vozova).
- Električni vozovi imaju manju pogonsku buku.
- Problem agregat kada se nalazi na krovu voza.



- Aerodinamička buka – posledica brzog kretanja vozova i turbulenice vazduha
- Dominantna za brzine veće od 200 km/h.



800 Hz

37

https://www.ni.com/en-rs/innovations/case-studies/19/visualizing-noise-sources-on-ktx-high-speed-trains-with-labview.html

Mehanički procesi neophodni za pogon voza i njegovo pokretanje rezultuju značajnom bukom motora (buka vučnog pogona). Buka motora uključuje: buku izduvnih gasova (kod dizel motora), buku ventilatora i sistema za hlađenje vučnog motora, buku koja nastaje kao posledica vibracija motora i menjača i sl. Kada neelektrifikovani vozovi rade u praznom hodu, ubrzavaju i kada rade pri brzinama ispod 60 km/h, buka motora je generalno dominantan mehanizam generisanja buke.

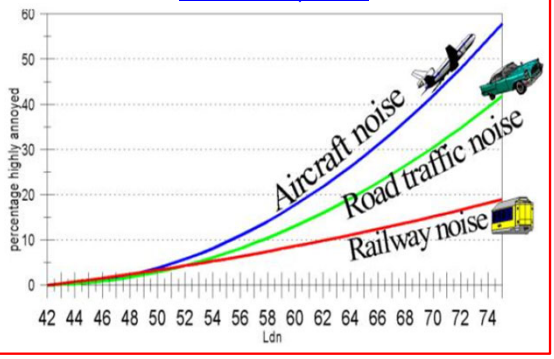
Električni vozovi su znatno tiši od vozova na dizel pogon. Međutim, u slučaju lakih šinskih vozila i tramvaja, električni agregati se ponekad nalaze na krovu voza. Buka agregata koja se emituje na ovoj visini praktično nije zaštićena i prostire se direktno do stambenih objekata u neposrednoj blizini.

Savremeni brzi vozovi se kreću tako velikom brzinom da njihovo kretanje kroz vazduh izaziva značajnu aerodinamičku buku. Nepravilnosti na lokomotivi (npr. izbočeni predmeti, šupljine i sl.) izazivaju turbulenciju vazduha tako da voz gura vazduh u stranu. Ova turbulencija stvara poremećaje pritiska koji rezultiraju bukom (slično kao kod trupa aviona). Postaje značajan izvor buke pri veoma velikim brzinama, obično većim od 200 km/h.

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- **Vazdušni saobraćaj** utiče na manji deo populacije u odnosu na drumski i železnički saobražaj.
- Buka vazdušnog saobraćaja je najviše ometajuća.
- Povećani broj operacija generiše značajan nivo buke.
- Uzletanje aviona generiše značajnu buku uz generisanje i vibracija.
- Sletanje vazduhoplova na nižim nadmorskim visinama generiše buku u širem okruženju.
- Buka vazduhoplova zavisi od:
  - Broja vazduhoplova;
  - Koridora sletanja i uzletanja;
  - Odnosa broja uzletanja i sletanja;
  - Atmosferskih uslova.

https://www.slideserve.com/xantara/railway-noise



38

Vazdušni saobraćaj koji obuhvata sve vrste letilica generalno generiše buku koja utiče na manji deo populacije u odnosu na drumski i železnički saobraćaj. Međutim, posvećuje im se sve veća pažnja jer se buka vazduhoplova smatra najviše ometajućom bukom, naročito u blizini samih aerodroma.

Iako su vazduhoplovi sve tiši, sve veći broj operacija sletanja i uzletanja vazduhoplova generiše značajan nivo buke u blizini komercijalnih i vojnih aerodroma. Uzletanje aviona generiše intenzivnu buku uz značajno generisanje vibracija, dok sletanje aviona, pri letu na malim nadmorskim visinama, dovodi do generisanja značajnog nivoa buke u širokom okruženju.

Buka koja nastaje usled operacija sletanja i uzletanja vazduhoplova zavisi od:

- Broja vazduhoplova;
- Koridora sletanja i uzletanja;
- Odnosa broja uzletanja i sletanja;
- Atmosferskih uslova.



Glavni mehanizmi generisanja buke kod konvencionalnih vazduhoplova su:

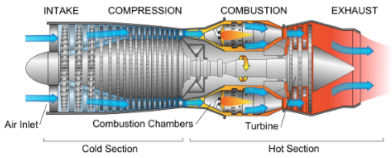
- Pogonski sistem;
- Aerodinamička buka.

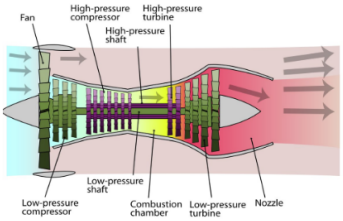
Vazduhoplov se može pokretati propelerom ili mlaznim motorom.

Avioni sa propelerskim sistemom generišu buku koja je kombinacija buke izduvnog sistema i propelerskog sistema, sa komponentama propelerske buke koje su dominantne. Propelerska buka ima dominantnu komponentu na frekvenciji koja odgovara umnošku rotacione brzine lopatica propelera i broja lopatica. Buka koja se generiše je tonalna.

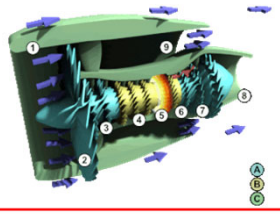
2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- Mlazni avioni koriste dva tipa motora:
  - Turbomlazni motori;
  - Turboventilatorski motori.
- Turbomlazni avioni:
  - Interakcija izduvnih gasova velike brzine sa atmosferom – rezultujuća turbulencija generiše niskofrekvencijsku buku;
  - Vibracije oklopa motora;
  - Buka usisnog sistema sa kompresorom.
- Turboventilatorski avioni:
  - Ventilator koji generiše protok vazduha male brzine;
  - Okružuje mlazni izduvni sistem sa velikim brzinama – smanjuje se turbulencija;
  - Buka ventilatora – problem pri sletanju i rulanju.





https://www.century-of-flight.net/turbojet-vs-turbofan-explained/



https://en.wikipedia.org/

40

Kod mlaznih aviona se koriste dva tipa mlaznih motora:

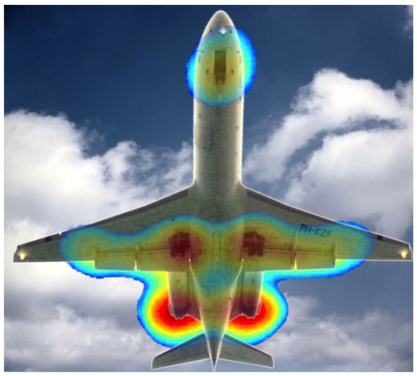
- Turbomlazni motori;
- Turboventilatorski motori.

Buka kod turbomlaznog motora nastaje prvenstveno interakcijom izduvnih gasova velike brzine sa relativno mirnom atmosferom kroz koju avion prolazi. Kako se gasovi mešaju, rezultujuća turbulencija stvara velike fluktuacije pritiska koje dovode do generisanja niskofrekvencijske buke koja se opaža kao tutnjava.

Ovaj mehanizam je kod modernih aviona sa turboventilatorskim motorima značajno redukovan korišćenjem ventilatora za generisanje protoka vazduha malih brzina, koji okružuje mlazni izduvni sistem sa velikim brzinama mlaza i na taj način smanjuje turbulenciju mlaza, odnosno buku. Međutim, sam ventilator može biti značajan izvor buke, naročito pri sletanju i "rulanju" aviona po pisti.

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- Aerodinamička buka:
  - Turbulencija oko trupa aviona, oklopa motora, krila, zakrilaca, stajnog trapa;
  - Dominantna u fazi letenja na frekvencijama iznad 600 Hz.
- Buka visokofrekvencijska pri dolasku – kompresorska sekcija generiše visoko frekvencije.
- Buka niskofrekvencijska pri odlasku – izduvni sistem generiše niske frekvencije.
- Dodatna buka:
  - Mali avioni;
  - Helikopteri (buka tonalna sa nižom frekvencijom nego kod aviona).



Uzletanje	
Preletanje	
Sletanje	

41

Aerodinamička buka je posledica turbulencije vazduha oko trupa aviona, oklopa motora, krila, zakrilaca, kontrolonih površina, stajnog trapa aviona i sl. Aerodinamička buka je dominantna samo na frekvencijama iznad 600 Hz i to u fazi letenja. U fazi sletanja i uzletanja je dominantna buka pogonskog sistema.

U toku preleta, avion pri dolasku generiše dominantne visokofrekvencijske komponente buke, a pri odlasku niskofrekvencijske. Razlog leži u činjenici da kompresorska sekcija, koja se nalazi ispred mlaznog motora, emituje visokofrekvencijske komponente, dok se izduvni sistem nalazi iza motora i emituje niskofrekvencijske komponente.

Dodatno povećanje buke na aerodromima mogu izazvati mali avioni i helikopteri koji se koriste za privatne, poslovne ili trenažne svrhe. Kod helikoptera se, pored buke pogonskog sistema koja nije izražena kao kod aviona, javlja i komponenta koja potiče od rotorskog sistema (elise) koja ima karakteristike niskofrekvencijske buke. Frekvencija rotorskog sistema helikoptera je niža od frekvencije propelerskog sistema kod aviona, jer su lopatice rotora mnogo veće, a brzine rotora manje.

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- **Industrijska buka** – buka mašina i opreme u industrijskim postrojenjima.
- Generiše se buka u radnoj sredini ali i u okruženju.
- Generisana buka zavisna od pogonskih parametara.
- Mašlne: motori, kompresori, kotlovi, pumpe, generatori...
- Mehanizmi generisanja buke:
  - Mehanički (zupčasti i kaišni prenos, ležajevi, ventilatori...);
  - Aerodinamički (protoko fluida);
  - Magnetni (magnetostrikcijia i periodične sile između rotora i statora).





42

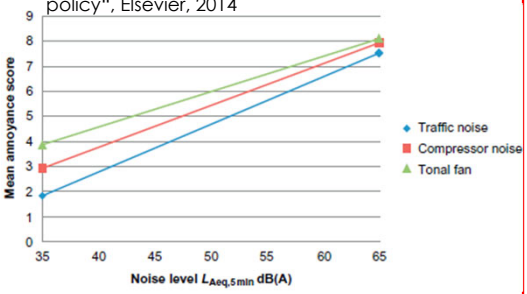
Mašine i mašinska oprema koja se koristi u industriji spadaju u grupa stacionarnih izvora buke koji generišu buku na radnom mestu, ali takođe mogu generisati značajne nivoe buke i u okruženju fabričke hale, na otvorenom prostoru. Generisana buka je uglavnom zavisna od snage mašine i drugih pogonskih karakteristika.

Mašinska oprema uključuje mašine koje se koriste u industrijske svrhe, kao što su: motori, kompresori, kotlovi, pumpe, transformatori, generatori, kule za hlađenje i ventilaciona oprema. Mehanizmi generisanja buke se po svojoj prirodi mogu podeliti u tri grupe: mehanički (zupčasti prenos, ležajevi, kaišni prenos, ventilatori i druge rotacione komponente), aerodinamički (protok fluida - gasa ili neke tečnosti) i magnetni (magnetostrikcija i periodične sile između statora i rotora).

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- Industrijska buka je više ometajuća zbog tonalnih i impulsnih komponenti.
- Mehanički mehanizmi generišu komponente u srednjefrekvencijskom i visokofrekvencijskom opsegu, ali mogu imati i tonalne komponte.

Izvor – E. Murphy, E.A Kong, „Environmental noise pollution – Noise mapping, public health, and policy“, Elsevier, 2014



- Aerodinamička buka nastaje kao posledica kretanja fluida – javlja se turbulencija koja generiše širokopojasnu buku.
- Mogu se javiti i tonalne komponete – rad rotirajućih sistema sa lopaticama.



- Magnetni izvori buke se javljaju kod električnih motora, generatora, transformatora .
- Buku generišu jako magnetne sile i magnetostrikcija.



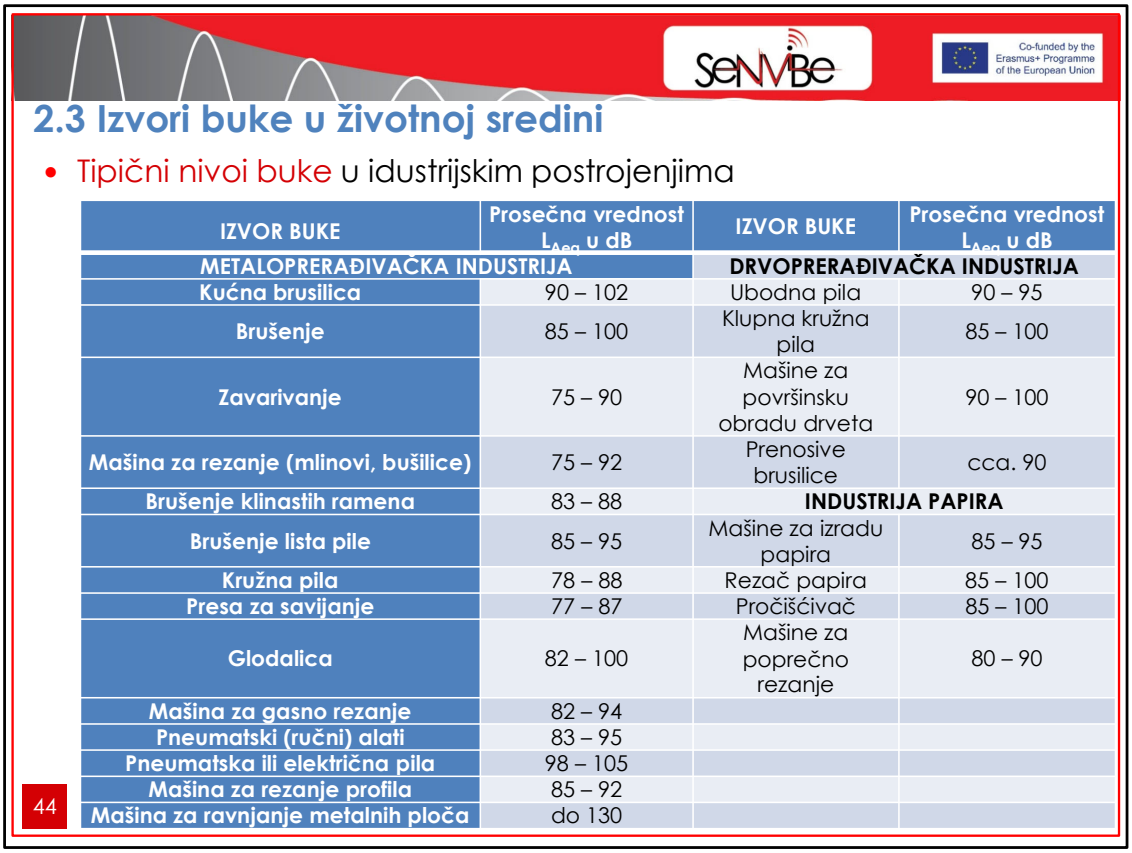
43

Idustrijska buke je više ometajuća od saobraćajne buke sa istim ekvivalentnim nivoom zvučnog pritiska (vidi grafik na slajdu). Veći nivo ometanja industrijskom bukom potiče od prisutva tonalnih komponetni u spektrima industijske buke, kao i zbog impulsnog karaktera buke.

Mehanički mehanizmi generišu veoma visoke nivoe buke sa komponentama u srednjefrekvencijskom i visokofrekvencijskom opsegu, ali generisana buka može biti i tonalnog karaktera sa komponentama na frekvencijama koje su proporcionalne rotacionoj brzini mašinskih komponenata.

Aerodinamička buka nastaje kao posledica kretanja fluida (obično vazduha) kroz mašinu i oko mašine. Buka je značajnog nivoa ako se fluid kreće kroz puteve sa različitim ograničenjima ili kroz puteve sa preprekama (npr. oštrim krivinama), pri čemu se javlja turbulencija koja generiše širokopojasnu buku. Pored toga, javljaju se i tonalne komponente kao posledica rada rotirajućih sistema sa lopaticama. Tako, turbinske mašine imaju sistem stacionarnih lopatica koje se nalaze pored rotacionih, s ciljem da povećaju efikasnost protoka fluida. Interakcija protoka fluida sa rotacionih lopatica i stacionarnog sistema lopatica generiše tonalne komponente buke koje su karakteristika sistema.

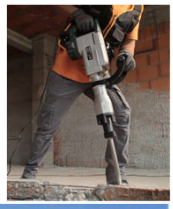
Magnetni izvori buke postoje kod električnih motora, generatora, transformatora i svetlosnih uređaja. Magnetne sile se kod električnih motora javljaju zbog mehaničkih i elektromagnetskih osobina rotora i statora. Kod generatora, jake magnetne sile mogu deformisati stator, izazivajući vibracije i generisanje buke. Pojava magnetostrikcije (promene dimenzija usled magnetizacije materijala) kod fluoroscentnih lampi i transformatora može generisati karakterističnu buku zujanja. Kako transformatori koriste struju frekvencije 50 Hz, namagnetisane ploče transformatora vibriraju istom frekvencijom, tako da se javljaju komponente zvuka na toj frekvenciji i na njenim umnošcima (tzv. harmonici).



U tabeli su prikazani tipični nivoi buke za pojedine radne procese za određene vrste industrija.

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- **Građevinske mašine** koje se koriste na gradilištima generišu značajne nivoe buke.
- Gradilišta su uglavnom veoma blizu objekata osetljivih na buku.
- Karakteristike buke se menjaju tokom vremena (rušenje, iskopavanje, pobijanje šipova, izgradnja...).
- Buka je promenljiva i u toku dana.
- Generisana buke je privremena i povremena.
- Pri ocenjivanju buke uzeti u obzir trajanje buke.
- Podela građevinskih mašina:
  - Pokretne mašine;
    - Kamioni;
    - Dozeri;
    - Bageri, rovokopači;
  - Stacionarne mašine;
    - Kranovi;
    - Kompresori;
    - Pneumatski čekići.







45

Korišćenje građevinskih mašina za gradnju komercijalnih ili stambenih objekata, ili za različite vrste iskopavanja u gradskim sredinama, može izazvati značajnu emisiju buke. Dodatni problem je da su gradilišta uglavnom veoma blizu objekata koji su osetljvi na buku (stambeni objekti, škole, bolnice...).

Karakteristike buke su promenljive u fazi realizacije projekta. Uglavnom se počinje sa rušenjem, nastavlja sa iskopavanjem i pobijanjem šipova što generiše impulsnu buku, pa tek na kraju dolaze kontinuirani građevinski radovi. Buka može da budu značajno promenljiva i u toku dana.

Građevinske mašine spadaju u grupu privremenih ili povremenih izvora buke, čije je korišćenje vremenski ograničeno. Pri ocenjivanju uticaja buke ovih izvora na životnu sredinu mora se uzeti u obzir ograničeno trajanje buke koju oni generišu.

Građevinske mašine se kao izvori buke mogu podeliti u dve grupe: pokretni izvori (kamioni, dozeri, bageri, rovokopači, utovarivači i sl.) i stacionarni izvori (kranovi, kompresori, malj nabijač, pneumatski čekić za razbijanje i sečenje betona i slična električna oprema).

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- Buka građevinskih mašina:
  - Kontinualna buka (mašine za iskopavanje i manipulaciju...);
    - Buka izduvnog sistema;
    - Buka usisnog sistema;
    - Ventilatori;
    - Prenosni sistemi;
  - Impulsna (malj nabijač, čekići za bušenje i razbijanje...);
    - Udarni procesi;
    - Procesi bušenja.
- Uticaj gradilišta na životnu sredinu:
  - Lokacija gradilišta u odnosu na okolinu;
  - Vreme i trajanje operacija;
  - Postojeće stanje buke;
  - Karakteristike buke (impulsna, kontinualna...).



46

Buka koju proizvode građevinske mašine može biti kontinualnog i impulsnog tipa.

Izvori kontinualne buke uključuju opremu na motorni pogon za različite vrste iskopavanja, opremu za manipulaciju materijalom i stacionarnu opremu. Buka izduvnih sistema kod ove vrste opreme je dominantan izvor buke, ali se ne može zanemariti ni buka koja potiče od usisnih sistema, ventilatora za hlađenje i prenosnih sistema.

Izvori impulsne ili udarne buke uključuju opremu tipa malja nabijača, čekića za bušenje i razbijanje betona i različitih vrsta električnih uređaja za npr. ukucavanje eksera, pritezanje udarom i sl. Glavni mehanizam generisanja buke kod konvencijalnih maljeva nabijača potiče od udara čekića o stub koji se nabija. Kod čekića za bušenje i razbijanje glavni mehanizmi su udarni procesi i procesi bušenja.

Uticaj gradilišta na životnu sredinu zavisi od mnogo faktora:

- Lokacije gradilišta u odnosu na okolinu;
- Vremena odvijanja operacije i trajanja operacija;
- Postojećeg stanje buke;
- Karakteristika buke (impulsna, kontinualna...).

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- Tipični nivoi buke građevinskih mašina

Izvor buke	Maksimalni nivo buke
Bušenje zemlje burgijama	94 dB (na 3 m)
Rovokopač	87÷99 dB (na 10 m)
Rovokopač, ler gas	74 dB (na 10 m)
Mikser za beton	77÷85 dB (na 3 m)
Motorna testera	89÷95 dB (na 3 m)
Kružna testera za beton	91 dB (na 10 m)
Kompresor	91 dB (na 1 m)
Utovarivač	79÷93 dB (na 15 m)
Udarni čekić sa pokretnom rukom	100 dB (na 1 m)
Razbijač betona	86 dB (na 10 m)
Parni valjak	87 dB (na 10 m)
Mašina za asfaltiranje	84 dB (na 10 m)





47

U tabeli su prikazani tipični nivoi buke građevinskih mašina i radova.



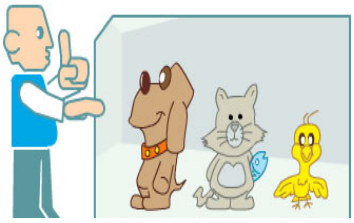
Izvori buke u domaćinstvu i rekreativne aktivnosti su dodatni izvori buke u životnoj sredini.

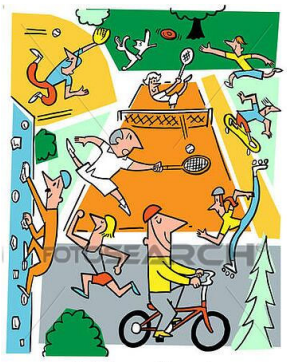
Buka u stambenim objektima može biti posledica rada različitih sistema namenjenih za zajedničko korišćenje (pumpe za grejanje, ventilacioni sistemi, vodovodni sistemi, liftovi), kao i glasnog razgovora, muzike, žurki i drugih aktivnosti u neposrednom susedstvu (kosačice, trimeri, motorne testere, usisivači, mašine za pranje i ostali aparati za kućnu upotrebu). Buka koja potiče iz susedstva ne podleže Zakonu o zaštiti od buke u životnoj sredini već je regulisana Zakonom o javnom redu i miru, odlukama jedinica lokalne samouprave i odlukama o kućnom redu u stambenim objektima namenjenim za zajedničko stanovanje.

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- Rekreativne aktivnosti:
  - Aktivnosti u slobodnom vremenu (trke motora, vožnja kartinga, dečijih motora i automobila, motornih čamaca, vozila za kretanje po snegu, rekreativni sport);
  - Sportska i muzička dešavanja, koncerti na otvorenom, vatrometi i različite festivalske aktivnosti;
  - Buka ljudi na događajima – širokopojasna (500-2000 Hz);
  - Lovačke aktivnosti;
  - Diskotetke i koncerti u zatvorenom prostoru.







mardep0111s www.fotosearch.com

49

Odvijanje aktivnosti u slobodnom vremenu, namenjenih zabavi grupe ljudi ili pojedinaca (trke motora, vožnja kartinga, dečijih motora i automobila, motornih čamaca, vozila za kretanje po snegu, rekreativni sport), može značajno da doprinese povećanju nivoa buke u prethodno mirnim zonama.

Značajan doprinos generisanju buke mogu dati i sportska i muzička dešavanja, koncerti na otvorenom, vatrometi i različite festivalske aktivnosti. Pored izvora buke koji se koriste pri odvijanju navedenih aktivnosti, značajnu buku generišu i ljudi koji prisustvuju određenim događanjima. Buka koju generišu ljudi je uglavnom širokopojasna sa značajnim nivoima u opsegu od 500 - 2000 Hz.

Lovačke aktivnosti (pucnjevi, lavež pasa) mogu dovesti do značajnog uznemiravanja neposrednog okruženja bukom, ali mogu dovesti i do oštećenja sluha samih lovaca zbog veoma visokih nivoa buke koji se generišu pri pucanju (130 - 170 dB).

Diskoteke ili koncerti u zatvorenim prostorima generišu veoma visoke nivoe buke koji mogu dovesti do uznemiravanja građana, ako prostor u kome se odvijaju nije akustički obrađen. Prateći problem je ponašanje posetilaca pri dolasku i odlasku (korišćenje automobila, galama).

2.3 Izvori buke u životnoj sredini

- Tipični nivoi buke:

Izvor buke	L_{max} [dB]
Aparat za smanjenje vlage	58÷60 dB (na 1.5 m)
Blender	76÷81 dB (na 1 m)
Mašina za mlevenje otpadaka	76÷78 dB (na 1 m)
Mikrotalasna pećnica	56÷58 dB (na 1 m)
Slavina sa punim mlazom	71÷73 dB (na 1 m)
Ručni usisivač	82÷87 dB (na 1 m)
Usisivač	78÷85 dB (na 1.5 m)
Paročistač	84÷92 dB (na 1.5 m)
Fen za kosu	77÷86 dB (na 1 m)
Kosačica - ručna	81÷86 dB (na 1.5 m)
Kosačica sa sedištem	88÷93 dB (na 1.5 m)

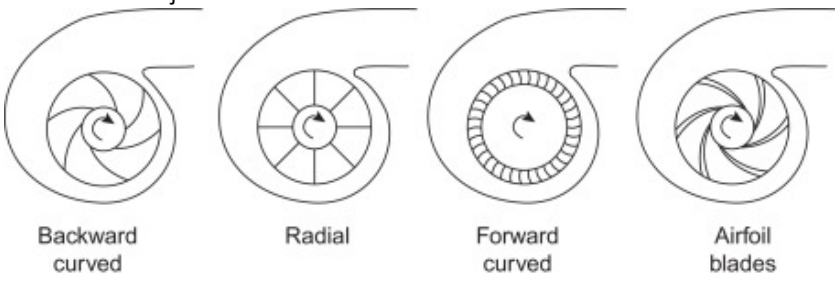
Događaj	Broj ljudi	L_{eq} [dB]	L_{max} [dB]	Trajanje
Dečija igrališta	100 ÷ 500	68÷77	101	10÷30 min
Košarkaška utakmica	12 600	89	107	2.5 h
Hokejaška utakmica	17 400	90	113	3 h
Rvanje	7 000	89	111	2.5 h
Fudbalska utakmica	65 000	88	111	3 h
Rok koncert	19 000	100	130	3 h

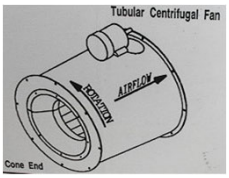
50

Na slajdu su prikazani tipični nivoi buke za izvore buke u domaćinstvu, kao i za određene vrste događaja na otvorenom prostoru.

2.4 Izvori buke iz radne sredine*

- **Ventilatori** - centrifugalni:
  - Centrifugalni ventilatori sa zakrivljenim lopaticama unazad u obliku ravnih ploča;
  - Centrifugalni ventilatori sa radijalnim lopaticama u obliku ravnih ploča;
  - Centrifugalni ventilatori sa plitkim lopaticama zakrivljenim unazad;
  - Centrifugalni ventilatori sa lopaticama u obliku krila aviona zakrivljenim unazad;
  - Cevni centrifugalni ventilatori u cevnom kućištu sa lopatacama zakrivljenim unazad ili u obliku krila aviona.





https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/centrifugal-fan

51

Izvor* – R. F. Barron, Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker, 2003.

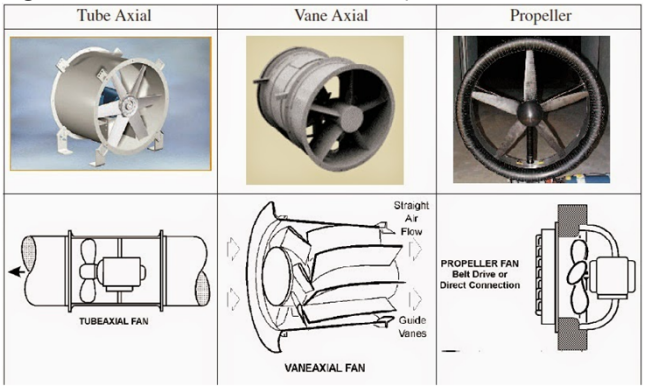
Ventilatori se mogu izvoditi u više različitih oblika kao centrifugalni i aksijalni:

Tipovi centrifugalnih ventilatora:

- Centrifugalni ventilatori sa zakrivljenim lopaticama unazad u obliku ravnih ploča uniformne debljine. Prednja ivica usmerena suprotno od smera rotacije ventilatora;
- Centrifugalni ventilatori sa radijalnim lopaticama u obliku ravnih ploča uniformne debljine orijentisane duž radijalnog pravca kaveza;
- Centrifugalni ventilatori sa plitkim lopaticama zakrivljenim unazad tako da su i prednja i zadnja ivica usmerene u smeru rotacije;
- Centrifugalni ventilatori sa lopaticama u obliku krila aviona zakrivljenim unazad; prednja ivica usmerena napred, zadnja unazad u odnosu na smer rotacije;
- Cevni centrifugalni ventilatori se nalaze u cevnom kućištu tako da je i ulazni i izlazni tok aksijalni. Lopatice su ili u obliku krila aviona ili zakrivljene unazad.

2.4 Izvori buke iz radne sredine*

- **Ventilatori** - aksijalni:
  - Cevni aksijalni ventilator sa lopaticama u obliku krila aviona;
  - Aksijalni ventilator sa dodatnim lopaticama za ispravljanje protoka ima lopatice u obliku krila aviona;
  - Ventilatori sa propelerima imaju lopatice koje su šire od lopatica kod aksijalnog ventilatora sa dodatnim lopaticama; montiran u prstenu.



52

Izvor* – R. F. Barron, Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker, 2003.

Tipovi aksijalnih ventilatora:

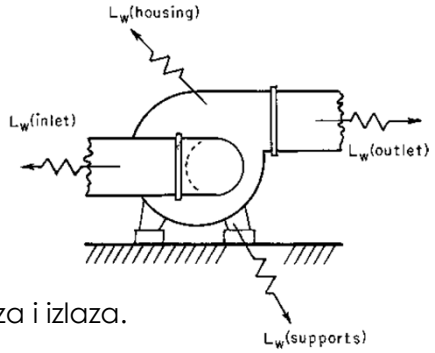
- Cevni aksijalni ventilator imaju lopatice u obliku krila aviona i nemaju lopatice za ispravljanje protoka;
- Aksijalni ventilator sa dodatnim lopaticama za ispravljanje protoka imaju lopatice u obliku krila aviona. Lopatice za ispravljanje protoka se nalaze u prostoru između kučišta i unutrašnjeg cilindra;
- Ventilatori sa propelerima imaju lopatice koje su šire od lopatica kod aksijalnog ventilatora sa dodatnim lopaticama. Monitiran je u prstenu bez dodatne cevi.

2.4 Izvori buke iz radne sredine *

- Putevi emitovanja zvuka:
  - Zvuk koji se emituje direktno iz izlaza i/ili otvora ventilatora;
  - Zvuk koji se emituje kroz kućište ventilatora;
  - Zvuk izazvan vibracijama koje se prenose preko nosača (zanemarljiv).
- Ako je L_W – zvučna snaga samog ventilatora:

$$L_W(\text{ulaz}) = L_W(\text{izlaz}) = L_W - 3 \quad (2.32)$$

$$L_W(\text{kućište}) = L_W - R \quad (2.33)$$



  - R - izolaciona moć materijala kućišta.
- Buka samog ventilatora:
  - Širokopojasna buka – vrtlog oko lopatica ventilatora;
  - Tonalna buka – prolaz lopatice pored ulaza i izlaza.

53 **Izvor*** – R. F. Barron, Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker, 2003.

Postoji nekoliko puteva kroz koje se može emitovati buka iz ventilatora, uključujući:

- Zvuk koji se emituje direktno iz izlaza i/ili otvora ventilatora, ako na ulazu i/ili izlazu nema priključenog kanala;
- Zvuk koji se emituje kroz kućište ventilatora;
- Zvuk izazvan vibracijama koje se prenose od ventilatora preko nosača ventilatora do susedne strukture.

Ovi putevi su ilustrovani na slici. Buku koja nastaje useld vibracija koje se prenose na nosače je moguće smanjiti pravilnim oslanjanjem.

Ako je L_W zvučna snaga samog ventilatora, onda se zvučne snage na ulazu i izlazu i zvučna snaga koju emituje kućište može izračunati prikazanim jednačinama na slajdu, gde je R izolaciona moć materijala kućišta.

Buka koju generiše sam ventilator potiče od dve komponente:

- Širokopojasna buka koja se generiše usled nastajanja vrtloga oko lopatica ventilatora;
- Tonalna buka (buka lopatica) koja se generiše usled prolaza lopatice pored ulaza i izlaza kućišta ventilatora.

2.4 Izvori buke iz radne sredine *

- Oktavni spektar zvučne snage ventilatora:

$$L_W = L_W(\mathrm{B}) + 10\log\frac{Q}{Q_0} + 20\log\frac{P}{P_0} + B_\mathrm{T} \qquad \textbf{(2.34)}$$

  - $L_{W(\mathrm{B})}$- osnovni nivo zvučne snage ventilatora (vidi tabelu);
  - Q – protok ventilatora [dm^3/s];
  - Q_0 – referentni protok ventilatora (0.47195 dm^3/s);
  - P – porast pritiska kroz ventilator [Pa];
  - P_0 – referentni porast pritiska kroz ventilator (248.8 Pa);
  - B_T – tonalna komponenta: jednaka nuli osim u oktavi gde leži frekvencija lopatice (vidi tabelu):

$$f_\mathrm{B} = n_\mathrm{r} N_\mathrm{b}$$

    - n_r – rotaciona brzina ventilatora
    - N_b – broj lopatica

Fan type	Blade tone, B_T, dB	Octave band center frequency, Hz							
		63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
Centrifugal fans:									
Airfoil blade	3	35	35	34	32	31	26	18	10
BCB	3	35	35	34	32	31	26	18	10
Radial blade	5–8	48	45	45	43	38	33	30	29
FCB	2	40	38	38	34	28	24	21	15
Tubular	4–6	46	43	43	38	37	32	28	25
Vaneaxial	6–8	42	39	41	42	40	37	35	25
Tubeaxial	6–8	44	42	46	44	42	40	37	30
Propellor	5–7	51	48	49	47	45	45	43	31

54

Izvor* – R. F. Barron, Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker, 2003.

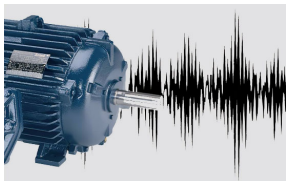
Oktavni spektar zvučne snage ventilatora se može izračunati primenom jednačine (2.34).

Osnovni nivo zvučne snage ventilatora za različite tipove ventilatora se određuje iz date tabele.

Tonalna komponenta u oktavi gde leži frekvencijia ventilatora se u zavisnosti od tipa ventilatora određuje iz date tabele.

2.4 Izvori buke iz radne sredine *

- **Elektromotori** – pojedinačno ne generišu značajnu buku ali zajednički rad elektromotora može biti značajan.
- Mehanizmi generisanja buke:
  - Buka ventilatora za hlađenje motora – kombinacija tonalne i širokopojasne buke;
  - Buka rotorskih proreza – tonalna (frekvencija rotacije x broj proreza);
  - Buka interakcije magnetomotorne sile rotora i proreza na statoru;
  - Buka usled promene magnetnog fluksa – tonalna (dvostruka vrednost frekvencije napajanja);
  - Buka usled dinamičke neuravnoteženosti;
  - Buka ležajeva.





55

Izvor* – R. F. Barron, Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker, 2003.

Elektromotroi kada rade pojedinačno ne generišu značajnu buku, ali veliki broj motora može biti prisutan u nekom okruženju kada zajedničko dejtvo može biti značajno.

Buka koju generišu elektromotori potiče od nekoliko fizičkih procesa:

- Buka koju generiše ventilator za hlađenje motora (vidi ventilatore). Buka je kombinacija tonalne i širokopojasne buke;
- Buka rotorskih proreza koju generišu otvoreni prorezi na rotoru motora. Buka je tonalna sa frekvencijom koje je jednaka proizovodu rotacione frekvencijie i broja proreza na motoru;
- Buka uzorokovana interakcijom magnetomotorne sile rotora i proreza na statoru;
- Buka usled promene magnetnog fluksa. Promene dimenzija kao posledica promenljivog magnetnog fluksa u motoru proizvodi buku iz rotora sa frekvencijom koja je jednaka dvostrukoj frekvenciju napajanja;
- Buka usled dinamičke neuravnoteženosti;
- Buka ležajeva.

2.4 Izvori buke iz radne sredine *

- **Elektromotori** – vrste:
  - Motor sa otvorima (ODP) – hladi se protokom vazduha oko motora i električnih provodnika;
  - Potpuno zatvoreni motor (TEFC) – hladi se unutrašnjim ventilatorom.
- A – ponderisani nivo zvučne snage:

$$L_{WA} = 65 \text{ dB} \quad \text{za } P_E < 7[\text{hp}]$$
$$L_{WA} = 20\log(P_E) + 15\log(n_r) - 3 \quad \text{za } P_E \geq 7[\text{hp}] \qquad (2.35)$$



$$L_{WA} = 78 \text{ dB} \quad \text{za } P_E < 5[\text{hp}]$$
$$L_{WA} = 20\log(P_E) + 15\log(n_r) + 13 \quad \text{za } P_E \geq 5[\text{hp}] \qquad (2.36)$$



- P_E – električna snaga elektromotora u konjskim snagama [hp];
- n_r – rotaciona brzina, broj obrtaja u minuti.

1 hp jednako je 745,7 W

56

Izvor* – R. F. Barron, Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker, 2003.

Postoje dva osnovna tipa elektromotora koji se razlikuju po tipu hlađenja. Kod motora sa otvorima, motor se hladi protokom vazduha oko motora i električnih provodnika. Kod potpuno zatvorenih motora, motor se hladi pomoću unutrašnjeg ventilatora.

A-ponderisani nivo zvučne snage elektromotora se može izračunati jednačinom (2.35) za ODP motore i jednačinom (2.36) za TEFC motore, gde se električna snaga elektromotora izražava u konjskim snagama, a rotaciona brzina u broju obrtaja u minuti.

2.4 Izvori buke iz radne sredine *

- A – ponderisani nivo zvučne snage - korekcija:

Električna snaga [hp]	Korekcija [dB]
1 ÷ 250	1.1
251 ÷ 300	1.2
301 ÷ 400	1.3
401 ÷ 450	1.5
451 i više	1.7

- Koverzija u oktavne nivoe:

$$L_W(f) = L_{WA} - CF_1(f) \quad \textbf{(2.37)}$$

$CF_1(f)$	Octave band center frequency, Hz							
Motor Size	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
1 to 250 hp	16	12	8	4	4	8	12	16
300 to 400 hp	21	15	9	3	3	8	15	22
450 hp and above	19	13	7	3	3	8	14	22

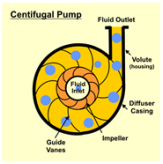
57

Izvor* – R. F. Barron, Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker, 2003.

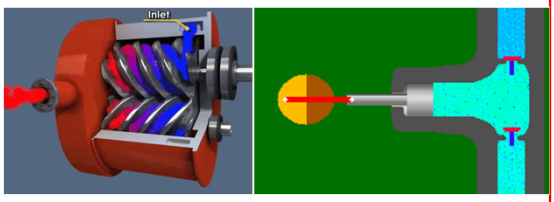
Vrednosti dobijene jednačinama (2.34) i (2.35) se dodatno koriguju u zavisnosti od električne snage elektromotora (vidi tabelu na slajdu).

Tako dobijene vrednosti se mogu konvertovati u oktavne vrednosti za centralne frekvencije od 63 Hz do 8000 Hz pomoću jednačine (2.37) gde su vrednosti faktora za konverziju date u tabeli na slajdu.

2.4 Izvori buke iz radne sredine *



- **Pumpe** – ne generišu značajnu buku ako rade pri nominalnoj brzini i kapacitetu.
- Izvori buke:
  - Hidraulični (kavitacija, fluktuacija pritiska);
  - Mehanički (udar čvrstih predmeta, dinamička neuravnoteženost).
- Putevi prenošenja:
  - Vazdušni;
  - Strukturni (zanemarljiv).
- A – ponderisani nivo zvučne snage:



$$L_{WA} = K_0 + 10\log(P_E) \quad \textbf{(2.38)}$$

Tip pumpe	K_0
Centrifugalna	98
Zavojna	103
Klipna	108

	Octave band center frequency, Hz							
	63	125	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000
CF_2, dB	10	9	9	8	6	9	12	17

$$L_W(f) = L_{WA} - CF_2(f) \quad \textbf{(2.39)}$$

58

Izvor* – R. F. Barron, Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker, 2003.

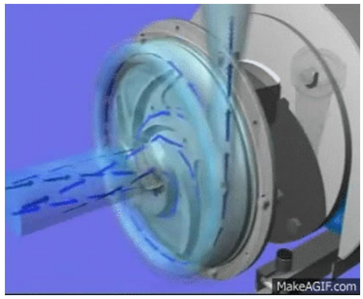
Pumpe generalno nisu jaki izvori buke kada pumpe rade pri svojoj nominalnoj brzini i kapacitetu. Buku pumpe generišu hidraulični i mehanički izvori. Neki od izvora buke u pumpama uključuju kavitaciju, fluktuacije pritiska tečnosti, udar čvrstih površina i dinamičku neuravnoteženost rotora. Hidraulički izvori su obično važniji generatori buke, osim ako ne postoji mehanički problem u pumpi, kao što je neuravnoteženost rotora. Buka koja se stvara kod pumpi može se preneti vazduhom.

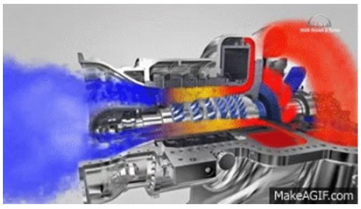
A-ponderisani nvio zvučne snage pumpi sa nominalnom rotacionom brzinom većom ili jednakom od 1600 obrtaja u minuti se može izračunati jednačinom (2.38) gde se vrednosti konstante određuju u zavisnosti od tipa pumpe (vidi tabelu). Ako je nominalna brzina manja od 1600 obrtaja u minuti vrednosti u tabeli treba umanjiti za 5 dB.

Tako dobijene vrednosti se mogu konvertovati u oktavne vrednosti za centralne frekvencije od 63 Hz do 8000 Hz pomoću jednačine (2.39) gde su vrednosti faktora za konverziju date u tabeli na slajdu.

2.4 Izvori buke iz radne sredine *

- **Gasni kompresori** – generišu značajnu buku.
- Buka nije primarni kirterijum pri projektovanju.
- Tipovi kompresora:
  - Centrifugalni kompresor;
  - Aksijalni kompresor.
- Buka je širokopojasna sa maksimalnom vrednošću na frekvenciji:





$$f_m = 1000\frac{U_t}{U_0} \quad \textbf{(centrifugalni)} \quad \textbf{(2.40)}$$

$$f_m = 2N_b n_r \quad \textbf{(aksijalni)} \quad \textbf{(2.41)}$$

- U_t – brzina vrha lopatice;
- U_0 – referentna brzina vrha lopativce (243/8 m/s);
- N_b – broj lopatica;
- N_r – rotaciona brzina kompresora.

$$U_t = \pi D n_r \quad \textbf{(2.42)}$$

59

Izvor* – R. F. Barron, Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker, 2003.

Mnogi gasni kompresori generišu značajnu buku jer buka nije primarni kriterijum pri projektovanju.

Postoje dve vrste rotacionih kompresora: centrifugalni i aksijalni. Prinsip rada je prikazan na animacijama.

Buka koju generišu rotacioni kompresori je širokopojasna sa maksimalnom vrednošću na frekvenciji koja je određena jednačinom (2.40) za centrifugalne kompresore, a jednačinom (2.41) za aksijalne kompresore.

Brzina vrha lopatice se određuje jednačinom (2.42) gde je D – prečnik lopatica.

2.4 Izvori buke iz radne sredine *

- A – ponderisani nivo zvučne snage:

$$L_{WA} = 20\log\left(\frac{P_E}{P_{E0}}\right) + 50\log\left(\frac{U_t}{U_0}\right) + 81 \quad \textbf{(2.43)} \quad \textbf{(centrifugalni)}$$

$$L_{WA} = 20\log\left(\frac{P_E}{P_{E0}}\right) + 76 \quad \textbf{(2.44)} \quad \textbf{(aksijalni)}$$

- Nivo zvučne snage po oktavama:

$$L_W(f) = L_{WA} - CF_3(f) \quad \textbf{(2.45)}$$

Frequency, Hz	CF_3, dB	Frequency, dB	CF_3, dB
$f_m/32$	36	f_m	4
$f_m/16$	25	$2f_m$	8
$f_m/8^a$	18	$4f_m$	14
$f_m/4$	12	$8f_m$	21
$f_m/2$	7		

60

Izvor* – R. F. Barron, Industrial Noise Control and Acoustics, Marcel Dekker, 2003.

A-ponderisani nivo zvučne snage za centrifugalne kompresore određuje se jednačinom (2.43), a za aksijalne kompresore jednačinom (2.44).

Oktavni nivo zvučne snage se određuje jednačinom (2.45), a faktor konverzije iz tabele dat je na slajdu. Date frekvencije u tabeli odnose se na oktavne opsege koje uključuju te frekvencije.

Pitanja za proveru znanja (1)

1. Šta je izvor zvuka (buke) i koji su mehanizmi generisanja buke?
2. Podela izvora buke?
3. Šta je zvučna snaga i kakav je odnos sa zvučnim pritiskom?
4. Kako se meri zvučna snaga?
5. Koja je razlika između usmerenih i neusmerenih izvora?
6. Šta je to karakteristika usmerenosti?
7. Koje veličine se koriste za jednobrojno izražavanje usmerenosti?
8. Vrste tipova izvora buke i njihove osnovne karakteristike?
9. Kako se računa nivo zvučnog pritiska na otvorenom prostoru za tačkaste izvore buke?
10. Kako se računa nivo zvučnog pritiska u zatvorenom prostoru za tačkaste izvore buke?
11. Kako se računa nivo zvučnog pritiska za diskretan niz tačkastih izvora buke?

61

Pitanja za proveru znanja (2)

12. Kako se računa nivo zvučnog pritiska za linijski izvor buke?
13. Kako se računa nivo zvučnog pritiska za površinski izvor buke?
14. Od čega zavisi buka drumskog saobraćaja i koji su glavni izvori buke kod putničkih i teretnih automobila?
15. Šta je to prelazna brzina?
16. Od čega zavisi buka železničkog saobraćaja i koji su glavni izvori buke kod vozova?
17. Kakav je doprinos različitih mehanizama generisanja buke kod železničkog saobraćaja u zavisnosti od brziine?
18. Od čega zavisi buka vazdušnog saobraćaja i koji su glavni izvori buke kod vazduhoplova ?
19. Koja je razlika između mlaznih, turbomlaznih i aviona sa propelerima?
20. Koji su osnovni mehanizmi generisanja izvora industrijske buke?
21. Buka građevinskih mašina – karakteristike buke?

62

Pitanja za proveru znanja (3)

22. Kakav je uticaj buke iz susedstva i rekreativnih aktivnosti?
23. Koji su mehanizmi generisanja buke kod ventilatora i kako se izračunava zvučna snaga za različite puteve prenošenja?
24. Karakteristike buke samog ventialatora i kako se izračunava oktavni spektar zvučne snage?
25. Koji su mehanizmi generisanja buke kod elektromotora i kako se izračunava A-ponderisni i oktavni nivo zvučne snage za različite tipove elektromotora?
26. Koji su mehanizmi generisanja buke kod pumpi i kako se izračunava A-ponderisni i oktavni nivo zvučne snage?
27. Kako se izračunava A-ponderisni i oktavni nivo zvučne snage gasnih kompresora?

Na kraju nastavne jedinice studenti treba da (1):

- ✓ Znaju razliku između izvora zvuka i izvora buke.
- ✓ Poznaju mehanizme generisnja buke.
- ✓ Razumeju princip podele izvora buke.
- ✓ Znaju šta je zvučna snaga i po čemu se razlikuje od zvučnog pritiska.
- ✓ Razumeju princip merenja zvučne snage.
- ✓ Znaju za obavezu deklarisanja zvučne snage izvora buke.
- ✓ Razumeju da je zvučna snaga osnovni podatak potreban za proračun zvučnog pritiska.
- ✓ Razumeju razliku između usmerenih i neusmerenih izvora buke.
- ✓ Znaju šta je faktor smera i karakteristika usmerenosti.
- ✓ Znaju da tumače karakteristiku usmerenosti.
- ✓ Poznaju veličine za jednobrojno izražavanje usmerenosti izvora i umeju da objasne njihovu razliku.

64

Na kraju nastavne jedinice studenti treba da (2):

- ✓ Umeju da objasne kako se fizičkim ograničavanjem smanjuje efektivni prostorni ugao zračenja.
- ✓ Znaju da postoje tri tipa izvora buke, koju vrstu talasa emituju i kako opada nivo zvučnog pritiska sa rastojanjem.
- ✓ Znaju izraze za intenzitet zvuka tačkastog izvora na otvorenom i u zatvorenom prostoru.
- ✓ Znaju da izvedu izraz za nivo zvučnog pritiska na otvorenom prostoru za različite položaje tačkastih izvora u odnosu na reflektujuće površine.
- ✓ Znaju da izvedu izraz za nivo zvučnog pritiska u zatvorenom prostoru za različite položaje tačkastih izvora u odnosu na reflektujuće površine.
- ✓ Znaju izraze za intenzitet zvuka beskonačnog i konačnog linijskog izvora na otvorenom prostoru.

65

Na kraju nastavne jedinice studenti treba da (3):

- ✓ Znaju da sračunaju nivo zvučnog pritiska na određenom rastojanju od linije beskonačnog i konačnog niza tačkastih izvora buke.
- ✓ Znaju da skiciraju opadanje nivoa zvučnog pritiska za slučaj beskonačnog niza tačkastih izvora buke.
- ✓ Znaju da sračunaju nivo zvučnog pritiska na određenom rastojanju od linije beskonačnog i konačnog linijskog izvora buke.
- ✓ Znaju da skiciraju opadanje nivoa zvučnog pritiska za slučaj konačnog linijskog izvora buke.
- ✓ Znaju da sračunaju nivo zvučnog pritiska na određenom rastojanju od površinskog izvora buke.
- ✓ Umeju da primenjuju grafik za određivanje vrednosti $\sum$.
- ✓ Znaju da skiciraju opadanje nivoa zvučnog pritiska za slučaj konačnog površinskog izvora buke.
- ✓ Umeju da objasne glavne mehanizme generisanja buke kod drumskog saobraćaja kao i faktore od kojih zavisi nivo buke.

66

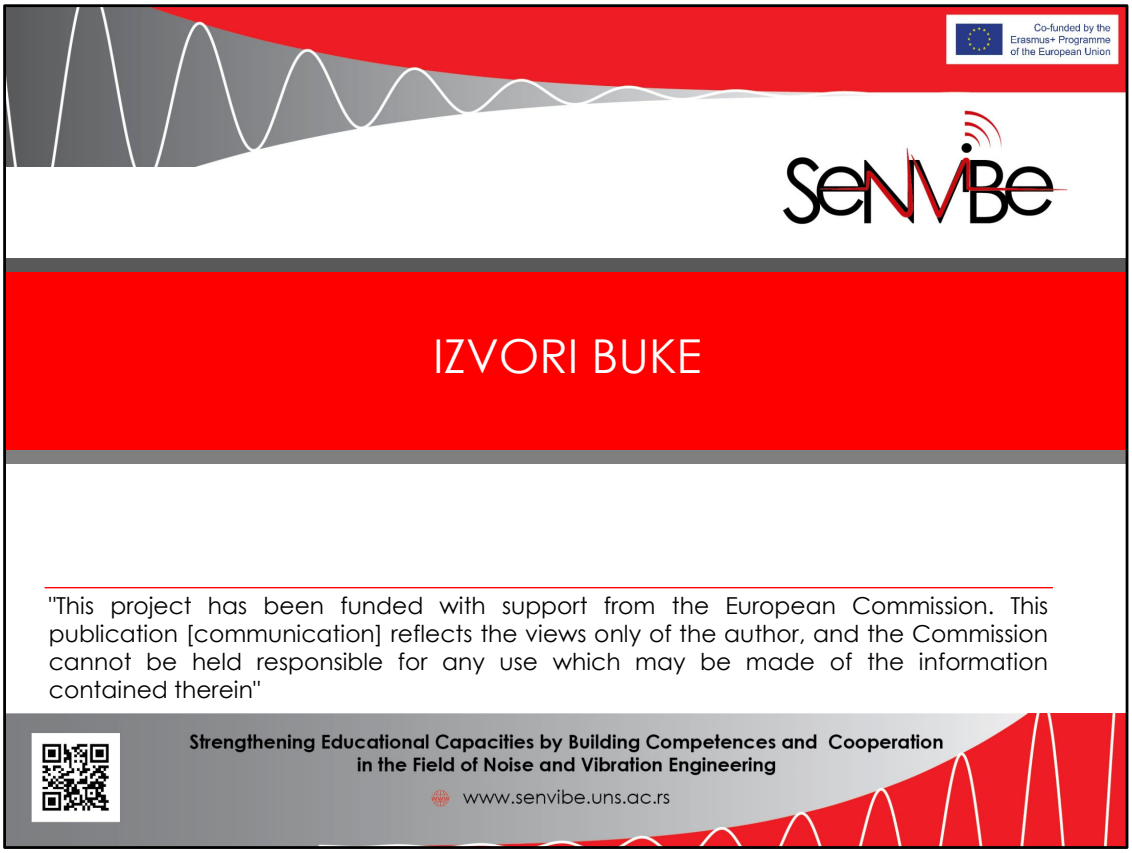
Na kraju nastavne jedinice studenti treba da (4):

- ✓ Razumeju pojam prelazne brzine kod putničkih automobila i kamiona.
- ✓ Umeju da objasne glavne mehanizme generisanja buke kod železničkog saobraćaja kao i faktore od kojih zavisi nivo buke.
- ✓ Umeju da skiciraju doprinos različitih mehanizama generisanja buke kod železničkog saobraćaja u zavisnosti od brzine.
- ✓ Umeju da objasne glavne mehanizme generisanja buke kod vazdušnog saobraćaja kao i faktore od kojih zavisi nivo buke.
- ✓ Razumeju različite mehanizme generisanja buke kod različitih tipova aviona.
- ✓ Umeju da objasne stepen ometanja bukom od različitih izvora buke.
- ✓ Razumeju različite mehanizme generisanja buke kod izvora industrijske buke.
- ✓ Razumeju uticaj građevinskih mašina, izvora iz susedstva i rekreativne aktivnosti na buku u životnoj sredini.

67

Na kraju nastavne jedinice studenti treba da (5):

- ✓ Poznaju puteve emitovanja zvuka kod ventilatora.
- ✓ Znaju da izračunaju zvučnu snagu za svaki put prenošenja.
- ✓ Poznaju karakter buke samog ventilatora i znaju da izračunaju oktavni nivo zvučne snage samog ventilatora.
- ✓ Poznaju mehanizme generisanja buke kod elekromotora.
- ✓ Znaju da izračunaju A-ponderisani i oktavni nivo zvučne snage elektromotora za različite tipove.
- ✓ Znaju da izračunaju A-ponderisani i oktavni nivo zvučne snage pumpi za različite tipove.
- ✓ Znaju da izračunaju A-ponderisani i oktavni nivo zvučne snage gasnih kompresora za različite tipove.


Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union
SeNVBe
IZVORI BUKE
"This project has been funded with support from the European Commission. This publication [communication] reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein"
Strengthening Educational Capacities by Building Competences and Cooperation in the Field of Noise and Vibration Engineering
www.senvibe.uns.ac.rs