

Buka

1.1 Uvod

Buka je, naročito poslednjih decenija, jedan od osnovnih uzroka ometanja mnogih aktivnosti i kompleksnog oštećenja zdravlja čoveka, ponajviše u industrijski razvijenim zemljama. Sve veća prerada dobara, sve brojnije i brže saobraćajne veze i sve veća primena pomoćnih uređaja u komunalnoj sredini, omogućavaju udobniji način života, ali istovremeno dovode i do svoje negacije, ometanja čovekovih aktivnosti i ugrožavanja njegovog zdravlja. Borba protiv buke i njenog štetnog dejstva deo su napora koji se čine na poboljšanju uslova života i zaštite životne i radne sredine. U tom cilju preduzimaju se mnoge ekonomski opravdane mere kojima bi se ometajuće dejstvo buke smanjilo i rizik oštećenja čovekovog zdravlja sveo na prihvatljivu meru.

Buka predstavlja neprijatan, nepoželjan ili ometajući zvuk u okruženju. To znači da svaka zvučna pojava (larma, šum, galama, lupa, govor, i sl.) koja ometa rad ili odmor - predstavlja buku. Da bismo neki zvuk smatrali bukom on mora da bude dovoljno jak, da ga izdvajamo od ostalih zvukova i dobro čujemo. Međutim, pod određenim uslovima, i relativno tihi zvuci mogu da predstavljaju buku (razgovor ili čak šapat gledalaca tokom predstave u pozorišnoj sali).

Ovde je značajno da se uvodi kategorija neželjenog zvuka da bi se merila njegova štetnost, što dalje znači da je samo neki zvuk buka. Status zvuka koji dobija oznaku buke ne zavisi od apsolutne vrednosti njegovog nivoa, nego od činjenice da li on nekog ometa. Relativno tiha muzika koja dolazi iz susedne prostorije, može se smatrati bukom. Iz istih razloga ne može se reći da je buka zvuk enormno visokog nivoa kakav se može čuti u diskotekama ili na rok koncertima. Šta više, publika plaća da bi ga slušala.

Pored štetnog dejstva na zdravlje čoveka buka posredno utiče i na rezultate rada. Efikasnost proizvodnje i kvalitet rada direktno zavise od buke. Buka deluje na čoveka i kada se odmara, što se odražava na redovne aktivnosti.

Buku kao nepoželjan zvuk je potrebno potisnuti u cilju smanjenja ugroženosti ljudi izloženih njenom dejstvu. Ovo važi bez obzira da li se radi o objektivno visokim intenzitetima buke, koji direktno mogu uticati na fizičko zdravlje pojedinaca, ili o buci kao ometajućem faktoru koji ugrožava kvalitet života, komunikaciju, produktivnost na radnom mestu, i slično.

Prvi deo ovoga poglavlja bavi se definisanjem različitih tipova buke i opisom njenih izvora. Zatim su definisani deskriptori buke i načini njihovog merenja.

U drugom delu poglavlja govori se o štetnim dejstvima buke na čoveka i definišu objektivni kriterijumi za procenu ovih dejstava. Na kraju su objašnjeni načini širenja buke i načini odbrane od njenog štetnog delovanja.

1.2 Podela buke

Prema poreklu buku možemo podeliti na buku prirodnih izvora (šum vode, cvrkut ptica, grmljavina, zavijanje vetra, buka vodopada, vulkana i seizmičkih pojava i sl.) i buku svega onoga što je čovek stvorio (buka saobraćaja, industrijskih postrojenja, kućnih aparata, ventilacije, eksplozija, glasne muzike itd.).

Međutim, buka prirodnih izvora nije uzrok oštećenja zdravlja većih populacija, niti je za urbanu sredinu, na koju uglavnom mislimo kada govorimo o buci, ova vrsta buke značajna.

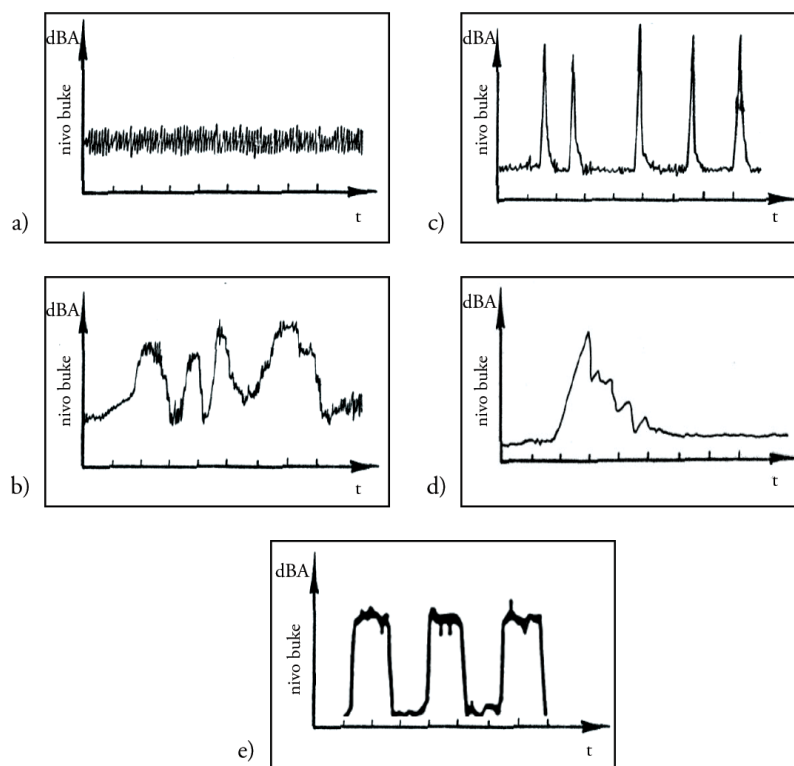
Kada se govori o buci u urbanoj sredini (svuda gde čovek živi i radi; stambene prostorije i radno okruženje, kao i spoljašnji prostori, poput ulica, trgova i zelenih površina) delimo je prema mestu u kojem deluje, pa razlikujemo buku u radnoj sredini i buku u životnoj sredini (koja se često naziva i komunalna buka).

Pod bukom u radnoj sredini podrazumeva se svaki zvuk stvoren radom mašine, aparata ili uređaja u proizvodnji. Tu razlikujemo buku oruđa na radnom mestu, buku oruđa sa drugih radnih mesta i buku neproizvodnih izvora (uređaji za ventilaciju i klimatizaciju, drugi pogoni, saobraćaj i sl.).

Buka u životnoj sredini predstavlja svaki zvuk koji se javlja van radnog mesta (u stanovima, na ulici u vozilima, na mestima za rekreaciju, u školama, bolnicama itd.). Očigledno je da se ovde radi o veoma različitim vrstama buke, kao što su: saobraćajna buka, industrijska buka, ulična buka raznog porekla (građevinske mašine, ozvučenja u baštama restorana, istovar i utovar raznih predmeta i sl.), buka u domaćinstvima (od kućnih uređaja i instalacija, iz susednih stanova itd.).

Prema trajanju buku delimo na kontinualnu (trajnu) buku, diskontinualnu buku (sa prekidima) i pojedinačne zvukove ili šumove.

Zavisno od toga kako se menja jačina buke u vremenu razlikujemo: buku stalne jačine (nepromenljiva, ujednačena) i promenljivu buku, slika 4.1. Promenljiva buka može biti kontinualno promenljiva, isprekidana, impulsna, i izolovani impulsi buke.

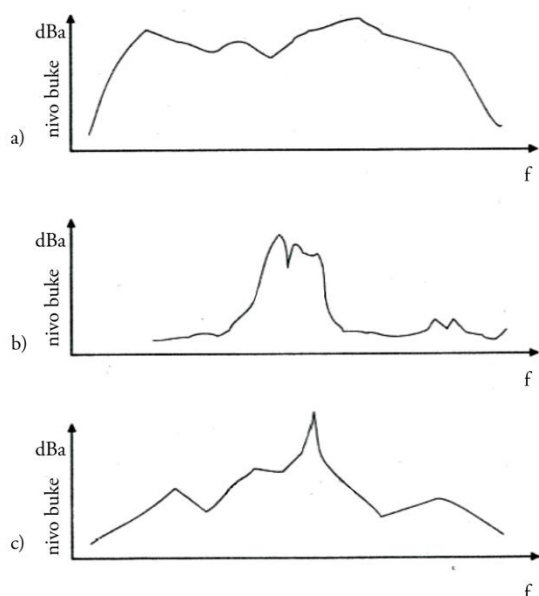


Slika 4.1 – Različite vrste buke prema načinu njenog menjanja u vremenu: a) buka stalne jačine, b) promenljiva kontinualna buka, c) impulsna buka, d) izolovani impulsi buke e) isprekidana buka.

Stepen ometanja bukom veoma zavisi od toga kako se menja njen nivo u vremenu. Subjektivno najmanje ometa buka stalne jačine, dok buka promenljive jačine i impulsna buka imaju veći štetan uticaj na čoveka. Zbog toga se pri merenju i valorizaciji štetnosti uvode posebni postupci kako bi uticaj buke mogao biti ispravno ocenjen.

Prema vrsti spektra, slika 4.2, razlikujemo: širokopoljasnu buku (ima komponente u širokom opsegu frekvencija), uskopopoljasnu buku (u čijem spektru dominiraju komponente u užem opsegu frekvencija - recimo opsegu jedne oktave), tonalnu buku (sadrži jedan ili više istaknutih tonova) i buku sa karakterističnom akustičkom informacijom (sadrži muziku ili glas).

Kada je reč o spektru buke veoma je važno znati koje frekvencije su najzastupljenije. Naime, nije svejedno da li neka buka ima izražene visoke, srednje ili niske frekvencije. Ukupni nivo buke može biti isti ali su uvek štetnije visoke frekvencije, o čemu treba voditi računa kada se u praksi procenjuje njen uticaj.



*Slika 4.2 – Podela buke prema obliku njenog spektra:
 a) širokopoljasna buka,
 b) uskopopoljasna buka,
 c) tonalna buka*

1.3 Izvori buke

Buka u određenom prostoru može biti izazvana izvorima izvan tog prostora (spoljašnja) ili izvorima koji se nalaze u samom prostoru (unutrašnja). Zavisno od sredine u kojoj je generisana, buka može biti vazдушna i strukturna (nastala u čvrstim materijalima).

Tabela 4.1 – Važniji izvori vazdušne i strukturne buke u zgradama i spoljašnjoj sredini

	Vazдушna buka	Strukturna buka
Spoljašnja buka	drumski saobraćaj, vazdušni saobraćaj, železnički saobraćaj, industrijska buka	šinski saobraćaj, industrijska buka

Unutrašnja buka	glasani govori i vika, muzika, uređaji u domaćinstvu, kućni ljubimci	koraci, pomeranje nameštaja, lupa vratima, mašinska postrojenja, liftovi
-----------------	--	--

U tabeli 4.1 navedeni su neki važniji izvori vazdušne i strukturne buke u zgradama i spoljašnjoj sredini. Koji od njih će biti dominantan zavisi od različitih okolnosti, kao na primer urbanizovanosti i naseljenosti lokacije, blizine saobraćajnih čvorišta, većih saobraćajnica, pruga, aerodroma ili industrijskih postrojenja i slično, ali i intenziteta buke generisane u susednim domaćinstvima i zgradama.

Pored nabrojanih izvora i čovek je u mnogim slučajevima značajan uzročnik nastale buke. Recimo i najmanji pokreti, kašalj, šaputanje i sl. su radnje koje u pozorišnoj ili koncertnoj dvorani mogu svojim zvukom maskirati najtiše deonice neke predstave ili koncerta. Svakodnevne čovekove aktivnosti koje prati govor, pevanje ili vika, ili korišćenje različitih elektroakustičkih uređaja, mogu biti značajna smetnja drugim ljudima u njegovoj okolini. Čovek je takođe uzročnik izuzetno visokih nivoa buke koji se stvaraju u prostorima za zabavu (disko klubovi, kafići, kafane, splavovi) čije delovanje ometa ili ugrožava značajan broj ljudi u njihovom bližem i daljem okruženju.

1.4 Deskriptori buke

Nivo buke i ekvivalentni nivo buke

Osnovni podatak o buci do kojeg se najlakše dolazi je ukupni nivo buke L koji se određuje na osnovu zvučnog pritiska, kao što se određuje i nivo kod bilo kog drugog zvuka, jednačina (1.12). Za numeričko izražavanje nivoa buke, kao i za zvuk uopšte, koriste se decibeli (dB).

Međutim, u najvećem broju slučajeva, nivo buke se menja u vremenu, pa se umesto njega koristi pogodnija, vremenski ponderisana veličina, koja se naziva *ekvivalentni nivo buke* ili što je isto ekvivalentni nivo zvuka L_{eq} . Ekvivalentni nivo buke L_{eq} je onaj obračunati konstantni (prosečni) nivo buke, slika 4.3, koji u određenom vremenskom intervalu ima istu zvučnu energiju kao posmatrana, vremenski promenljiva buka.

Takođe, ekvivalentni nivo buke predstavlja nivo buke koji bi svojim dejstvom na čoveka izazvao iste efekte kao i njegov ekvivalent – vremenski promenljiva buka.

Najopštija definicija ekvivalentnog nivoa zvuka, data je izrazom:

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \quad (4.1)$$

gde je: $t_2 - t_1$ – vremenski interval u kojem se obračunava L_{eq} , $p(t)$ – trenutna vrednost zvučnog pritiska i p_0 - referentni zvučni pritisak.

Ekvivalentni nivo buke se u praksi može izračunati na nekoliko načina. Najjednostavnije je ako posedujemo integracioni merač nivoa zvuka, koji na bazi definicije date jednačinom (4.1) izračunava traženu vrednost.

Drugi način je *metodom uzorkovanja*, na osnovu diskretnih vrednosti dobijenih uzorkovanjem promenljivog nivoa buke definisanom brzinom. U ovom slučaju L_{eq} se dobija iz izraza:

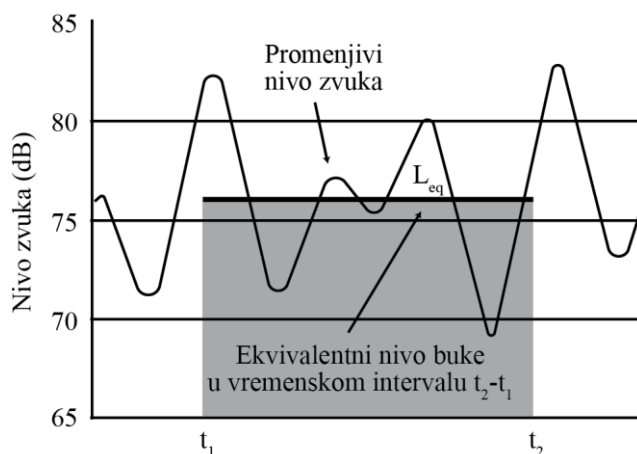
$$L_{eq} = 10 \log \sum_{i=1}^n \frac{1}{n} (10^{L_i/10}) , \quad (4.2)$$

gde je n - broj slučajnih uzoraka i L_i - vrednost nivoa zvuka i -tog uzorka.

Treći način je *metodom klasiranja*, pri čemu je dinamički opseg nivoa promenljive buke potrebno podeliti na n jednakih klasa, definisane širine, pa potom odrediti procenat vremena merenja t_i u kome je nivo zvuka u granicama i -te klase ($i = 1, \dots, n$). Ovaj način omogućava računsko određivanje ekvivalentnog nivoa buke, ukoliko se raspolaže rezultatima statističke analize promenljive buke u vremenskom domenu. U tu svrhu koristi se relacija:

$$L_{eq} = 10 \log \sum_{i=1}^n \frac{1}{100} (t_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_i}) , \quad (4.3)$$

gde je t_i procenat vremena merenja u kome se nivo zvuka nalazi u granicama i -te klase, L_i – srednja vrednost nivoa zvuka i -te klase.



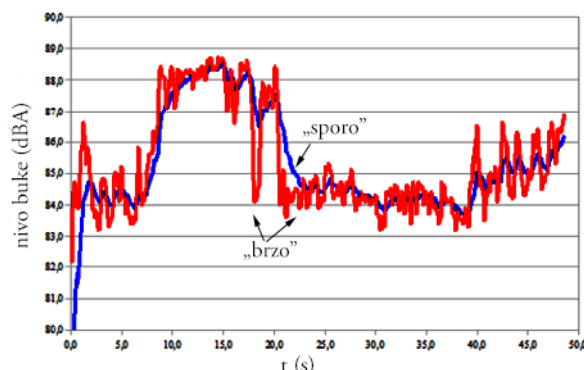
Slika 4.3 – Ekvivalentni nivo buke L_{eq}

Vremenska ponderacija podrazumeva merenje ekvivalentnog nivoa buke u određenim vremenskim intervalima, to jest vremenskim „prozorima“. Najčešće je to 1 s, kada ponderaciju označavamo kao „sporo“ (*slow*), ili 125 ms, kao „brzo“ (*fast*), slika 4.4. Za detekciju vršnih vrednosti buke koriste se i kraći vremenski intervali, kao što je „peak“ (35 ms).

Da bi se fluktuacije nivoa buke tokom dužeg vremenskog perioda usrednjile, za određivanje ekvivalentnog nivoa buke koriste se i daleko duži vremenski intervali: od 15 minuta do delova dana (dan, večer, noć i slično), celog dnevnog ciklusa od 24 h, pa čak i čitave godine.

Frekvencijska ponderacija nivoa buke vrši se zbog prilagođavanja dobijenih vrednosti ekvivalentnog nivoa zvučnog pritiska subjektivnom utisku jačine zvuka. Iako je rad čula sluha u svakom pogledu veoma složen, za praktične potrebe ta ponderacija se svodi na jednostavnu frekvencijsku korekciju koja je po svojoj prirodi bliska frekvencijskoj karakteristici slušanja. Kako je već rečeno u poglavlju 3, korekcija se izvodi pomoću filtera čije amplitudne karakteristike približno oponašaju izvrnute ekvifonske linije od 40 fona, 70 fona i 100 fona. Ti filteri se konvencijom nazivaju „A“, „B“ i „C“, filteri, respektivno, slika 3.18, pa se tako dobijeni podaci o nivou zvuka izražavaju u jedinicama koje se nazivaju dBA (čita se „decibeli a“),

dBb i dBC. Ipak, odomaćeno je u akustici da se nivo buke najčešće izražava u dBA. U slučajevima buke visokih intenziteta koristi se C-ponderacija kao bolji reprezent subjektivnog doživljaja takvog zvuka. Retko kada se koristi B ponderacija.



Slika 4.4 – Primer uticaja „spore” i „brze” ponderacije kod merenja buke

Frekvencijski ponderisani ekvivalentni nivo buke se može takođe izračunati prema izrazima (4.1) – (4.3), samo što umesto vrednosti trenutnog zvučnog pritiska p i nivoa zvuka L_i moramo uzeti frekvencijski ponderisane vrednosti (p_{Ai} i L_{Ai}). Drugim rečima, moramo uzeti vrednosti nakon prolaska originalnog signala kroz odgovarajući filter. Koje ponderacije su primenjene u konkretnom slučaju, naznačava se u indeksu oznake za datu veličinu odgovarajućim slovima. Na primer, oznake $p_A(t)$ i L_A predstavljaju A frekvencijski ponderisanu trenutnu vrednost zvučnog pritiska i nivoa zvuka, respektivno. Vremenska ponderacija *fast* se označava slovom F, dok se za ponderaciju *slow* koristi slovo S. Tako se formiraju oznake kao što je L_{AF} , koja označava da je korišćena A frekvencijska i *fast* vremenska ponderacija.

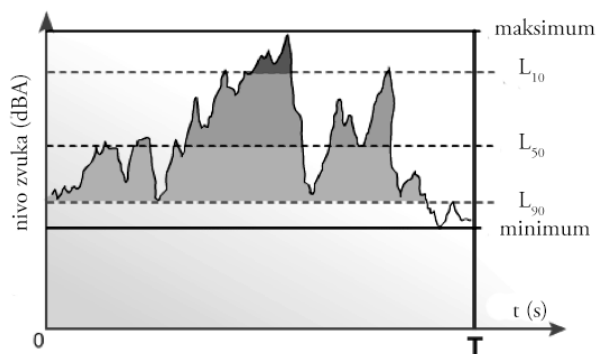
U novije vreme, za frekvencijski neponderisan signal (nije primenjena frekvencijska ponderacija) sve češće se sreće oznaka Z. Tako se oznaka L_{ZS} odnosi na frekvencijski neponderisan nivo zvuka, sa vremenskom ponderacijom *slow*.

Statistički parametri buke

Buka u opštem slučaju ima manje ili više izražene varijacije nivoa u vremenu. Zbog toga su pored standardno korišćenih dugovremenskih ekvivalentnih nivoa zvučnog pritiska (L_{eq}) uvedeni i dodatni deskriptori, takođe zasnovani na vremenski i frekvencijski ponderisanom nivou zvučnog pritiska, slika 4.5.

To su:

- maksimalni nivo zvučnog pritiska (L_{max}),
- minimalni nivo zvučnog pritiska (L_{min}),
- standardna devijacija nivoa zvuka tokom dužeg vremenskog intervala (σ),
- kvantili, odnosno nivoi zvuka premašeni u N % vremena (L_N), gde je N obično 5, 10, 50, 90 ili 95,
- kombinacije prethodnih parametara, na primer razlike $L_{10} - L_{90}$, $L_5 - L_{eq}$ i slično.



Slika 4.5 - Šematski prikaz značenja statističkih parametara buke [23]

Indikatori buke u životnoj sredini

Buku u životnoj sredini izražavamo preko osnovnih i dodatnih indikatora. Osnovni indikatori buke opisuju ometanje bukom za određeni vremenski period. Tako imamo indikatore buke za period od 24 časa (L_{den}), za period dana (L_d), večeri (L_e) i noći (L_n). L_{den} se još naziva i ukupni indikator buke. Osnovne indikatore buke moguće je dobiti računski ili merenjem, kako je definisano u [11], [16] i [20]. Koriste se za procenu, predviđanje ili utvrđivanje stanja buke, izradu strateških karata buke i planiranje mera zaštite. Na osnovu poznatih vrednosti osnovnih indikatora buke moguće je, recimo, oceniti procenat stanovništva ugroženog bukom u toku dana (koristi se L_d), ili procenat stanovništva koji može biti uznemiren bukom tokom noći (koristi se L_n).

Dodatni indikatori buke su merodavni nivo buke $L_{RAeq, T}$ i nivo izloženosti buci $L_{AE, T}$, a koriste se za monitoring i pojedinačna merenja buke.

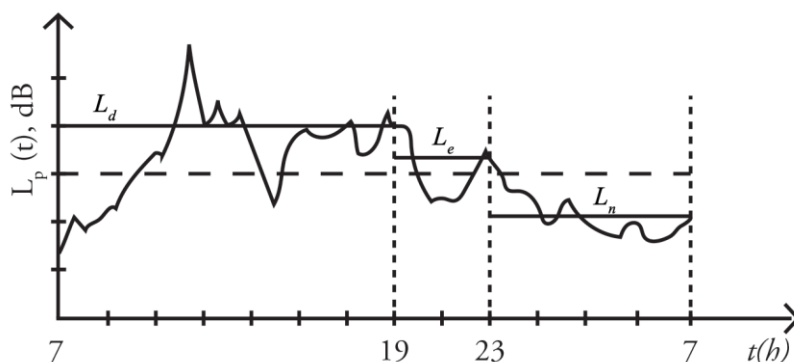
Ukupni indikator buke

Ukupni indikator buke se definiše kao [11], [20]:

$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} (12 \cdot 10^{L_d/10} + 4 \cdot 12 \cdot 10^{(L_e+5)/10} + 8 \cdot 10^{(L_n+10)/10}), [\text{dBA}]$$

(4.4)

gde su: L_d , L_e i L_n , A-ponderisani dugovremenski prosečni nivoi zvuka koji se određuju za sve dnevne, večernje i noćne periode u toku jedne godine, respektivno, slika 4.7. Kao što se iz izraza (4.4) vidi, za večernju i noćnu buku su uvedeni korekcionni faktori od 5 dB i 10 dB, respektivno.



Slika 4.6. Princip određivanje ukupnog indikatora buke L_{den} polazeći od dnevnog L_d večernjeg L_e i noćnog L_n nivoa buke.

Ova korekcija proizilazi iz činjenice da postoji veća osetljivost stanovništva na buku tokom večeri i noći u odnosu na period dana, o čemu će više reći biti u narednom odeljku.

Ovako definisana vrednost L_{den} korelisana je sa procentom stanovništva za koji se očekuje da će biti ugrožen bukom kojoj je izložen.

A - ponderisani dugovremenski prosečni nivo buke za odgovarajuće periode dana određuje se prema jednačini:

$$\overline{L_{Aeq,T}} = 10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N 10^{0,1(L_{Aeq,T})_i} \right), [\text{dBA}] \quad (4.5)$$

gde je:

N - broj dana u godini (365);

$L_{Aeq,T}$ - A-ponderisani ekvivalentni nivo određen za odgovarajući referentni vremenski interval;

T - trajanje referentnog vremenskog intervala (za dan 12 časova, za večer 4 časa i za noć 8 časova).

Merodavni nivo buke

Merodavni nivo buke $L_{RAeq,T}$, izražen u dBA, je ekvivalentni A-ponderisani nivo tokom određenog vremenskog intervala T , kome se dodaju korekcije zbog karaktera buke u frekvencijskom i vremenskom domenu.

Merodavni nivo buke je dat izrazom [11], [20]:

$$L_{RAeq,T} = L_{Aeq} + \sum_{i=1}^n K_i, [\text{dBA}] \quad (4.6)$$

gde je L_{Aeq} – A ponderisani ekvivalentni nivo buke, a K_i korekcionni faktor.

Korekcionni faktor K_i (u dB) izražava korekcije za impulsni karakter buke, za tonalni karakter buke, za trajanje buke, za period dana itd. Iznosi ovih korekcija se određuju na različite načine prema pojedinim nacionalnim i međunarodnim standardima. Vrednosti korekcionnog faktora K_i , koje se najčešće sreću u standardima i propisima iz ove oblasti date su u tabeli 4.2.

Tabela 4.2 – Vrednosti korekcionnog faktora K_i za buku različitih karakteristika

Osnovi korekcije		K_i
Tip izvora buke	Drumski saobraćaj	0
	Avionski saobraćaj	3 do 6
	Železnički saobraćaj	-3 do -6
	Industrijska buka	0
Karakter buke	Impulsna buka	5
	Izrazito impulsna buka	12
	Buka sa prisustvom tonova	3 do 6
Doba dana	Veče	5
	Noć	10

U većini zemalja Evropske unije merodavni nivo buke - $L_{RAeq,T}$ se koristi za ocenu industrijske buke, a ekvivalentni nivo buke - L_{Aeq} za ocenu buke drumskog i železničkog saobraćaja. U našem nacionalnom zakonodavstvu definisano je korišćenje merodavnog nivoa buke za ocenu nivoa buke svih izvora u radnoj i životnoj sredini.

Nivo izloženosti buci

Nivo izloženosti buci je nivo buke pojedinačnog događaja za određeni vremenski interval i određuje se prema sledećoj jednačini [11], [20]:

$$L_{AE} = 10 \log \left[\frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right], [\text{dBA}], \quad (4.7)$$

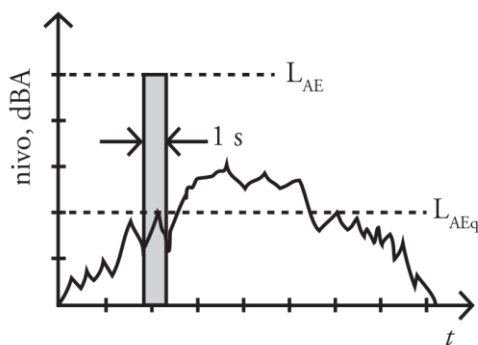
gde je:

$p_A(t)$ - trenutna vrednost A-ponderisanog zvučnog pritiska;

$t_2 - t_1$ - posmatrani vremenski interval dovoljno dug da obuhvati sve značajne pojave buke u datom slučaju;

p_0 - referentni zvučni pritisak (20 μPa);

t_0 - referentno vreme (1s).



Slika 4.7 – Šematski prikaz značenja nivoa izloženosti buci

Kao što se iz jednačine (4.7) i sa slike (4.7) može zaključiti, nivo izloženosti buci L_{AE} predstavlja onaj konstantni nivo zvuka čija je energija u jednoj sekundi, jednaka energiji originalnog zvučnog događaja.

Parametri za procenu rizika usled izlaganja buci na radnim mestima

Fizički parametri koji se koriste u postupku procene rizika usled izlaganja buci na radnom mestu su:

- nivo dnevne izloženosti buci ($L_{EX,8h}$) i
- vršna vrednost zvučnog pritiska (p_{peak}).

Nivo dnevne izloženosti buci

Nivo dnevne izloženosti buci predstavlja vremenski normalizovan srednji nivo izloženosti buci za osmočasovno radno vreme, izražen u dBA, ili [20]:

$$L_{EX, 8h} = L_{Aeq, T_e} + 10 \log(T_e/T_0), [\text{dBA}] \quad (4.8)$$

gde je T_e efektivno, a T_0 referentno trajanje (8 sati) radnog dana. L_{Aeq, T_e} je ekvivalentni A-ponderisani nivo zvučnog pritiska, za period T_e u kojem je izvršeno njegovo usrednjavanje. Vreme merenja ili izračunavanja T_e treba da bude odabrano tako da daje rezultate reprezentativne za čitav period posmatranja.

Ako je na primer, radnik izložen buci od 100 dBA za vreme od 2 h a buci od 70 dBA ostatak radnog vremena do 8 sati, slika 4.8, onda je njegov nivo dnevne izloženosti buci:

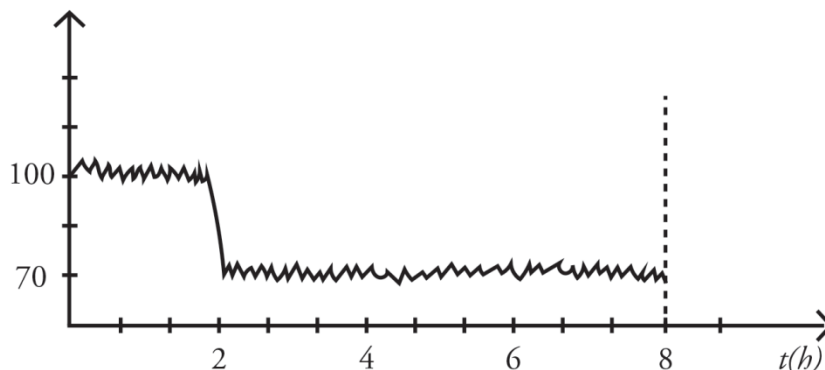
$$L_{EX, 8h} = L_{Aeq, 8h} = 10 \log\left(\frac{2}{8} 10^{\frac{100}{10}} + \frac{6}{8} 10^{\frac{70}{10}}\right) = 94 \text{ dBA}.$$

Ako efektivno trajanje radnog dana T_e ne prelazi 8 sati onda je brojno $L_{EX, 8h}$ jednako L_{Aeq, T_e} [20]. Za kontinualnu nepromenljivu buku, umesto L_{Aeq} može se koristiti A ponderisani nivo pritiska (L_{pA}).

Na radnim mestima na kojima se obavljaju poslovi pri kojima dnevna izloženost buci značajno varira od jednog do drugog radnog dana, rizik od uticaja buke se procenjuje na bazi nivoa nedeljne izloženosti buci $\bar{L}_{EX, 8h}$. Pod ovim nivoom se podrazumeva vremenski normalizovan prosek dnevnih izloženosti buci za radnu nedelju od pet osmočasovnih radnih dana:

$$\bar{L}_{EX, 8h} = 10 \log\left[\frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 10^{0,1(L_{EX, 8h})_i}\right] [\text{dBA}] \quad (4.9)$$

gde je $(L_{EX, 8h})_i$ - nivo izloženosti buci za i-ti dan.



Slika 4.8 – Izračunavanje ekvivalentnog nivoa buke

Vršna vrednost zvučnog pritiska

Vršna vrednost zvučnog pritiska (p_{peak}) predstavlja najvišu vrednost „C“ frekvencijski ponderisanog trenutnog zvučnog pritiska izraženu u dBC.

1.5 Merenje buke

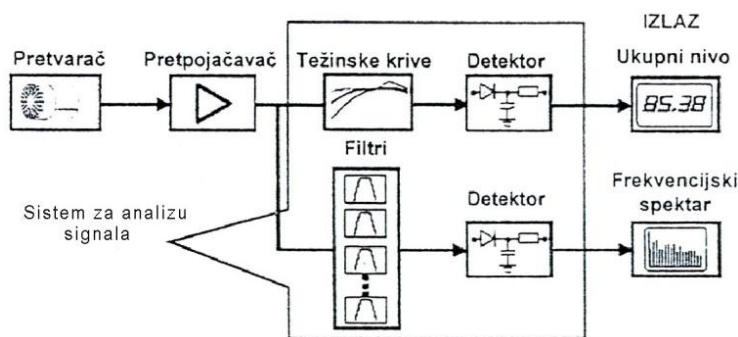
Za procenu štetnog dejstva buke i preduzimanje određenih mera zaštite u konkretnim uslovima, potrebno je merenjem utvrditi određene parametre buke. Pri ovome se sve više teži iznalaženju veze

između subjektivnih procena ometajućeg dejstva buke i njenih objektivnih parametara, kako bi se jednostavnim postupcima objektivnog merenja moglo što tačnije odmah ustanoviti i štetno dejstvo buke. Danas se za dobar deo pojedinačnih vrsta buke zna kakve će efekte izazvati i do kakvih će štetnih posledica dovesti.

Za poznavanje buke kao fizičkog stanja sredine potrebno je meriti nivo buke, uključujući i njegove vremenske promene, kao i spektar buke. Sve ove veličine mere se instrumentima posebnih karakteristika koji se izrađuju sa manjom ili većom tačnošću merenja, za kratkotrajna ili permanentna merenja, za teren ili istraživačku laboratoriju. Merenja se uvek izvode prema važećim pravilima i međunarodnim i nacionalnim propisima. Pri tome se nastoji da uslovi pod kojima se mere parametri buke budu ujednačeni i dovoljno poznati kako bi i rezultati bili međusobno uporedivi.

Instrumenti za merenje buke

Danas su u upotrebi veoma različiti instrumenti koji se koriste za merenje parametara buke u vremenskom i frekvencijskom domenu. Iako po prirodi merni lanac može biti analogni, digitalni, ili zasnovan na određenom softverskom paketu, on se uvek sastoji od nekoliko osnovnih delova prikazanih na slici 4.9.



Slika 4.9 – Merni lanac za merenje i analizu buke

Pretvarač pretvara zvučne oscilacije izazvane dejstvom zvučnih talasa u električne signale. Pojačavač pojačava električni signal relativno male amplitude koji se dobija na izlazu pretvarača. Sistem težinskih krivih ima zadatak da ponderiše signal u frekvencijskom domenu čime se dobija trenutni nivo signala sa određenom (A, B, C ili linearna) ponderacijom.

Filtiri su namenjeni za analizu signala u frekvencijskom domenu. Kao rezultat ove analize dobija se frekvencijski spektar analiziranog signala. Detektor služi za izračunavanje efektivne vrednosti signala, dok se rezultati merenja i analize buke mogu prikazati na displeju samog instrumenta ili na nekom drugom uređaju kao što je štampač, ploter ili monitor računara.

U zavisnosti od strukture sistema za analizu signala, instrumenti za merenje buke se mogu podeliti u tri grupe: instrumenti za merenje ukupnog nivoa buke (sistem za analizu signala sadrži težinske krive i detektor signala), instrumente za frekvencijsku analizu buke (sistem za analizu signala sadrži skup filtara i detektor signala) i instrumente koji su kombinacija ova dva tipa.

Merenje spektra buke

Pošto je buka kompleksna zvučna pojava, često je potrebno pri analizi njenog ometajućeg i štetnog dejstva poznavati raspored i jačinu komponenata od kojih je sastavljena. Razlaganje buke na komponente ostvaruje se filtriranjem pomoću filtera propusnika opsega frekvencija. Tako dobijene vrednosti postaju merilo nivoa komponenata buke koje se nalaze u odabranom opsegu.

Analiza se može izvršiti filterima propusnicima opsega frekvencija bilo koje širine. Međutim, da bi rezultati bili ujednačeni merenja se uglavnom izvode pomoću oktavnih ili trećinsko – okavnih filtera.

1.6 Štetna dejstva buke

Buka deluje kao ometajući faktor pri radu čime direktno utiče na rezultate rada. Rad u prisustvu buke zahteva povećanu koncentraciju, usled čega dolazi do bržeg zamaranja, smanjenja kvaliteta rada i pojave grešaka. Pored toga, buka ometa komunikaciju među zaposlenima i može da predstavlja ozbiljnu smetnju prilikom sporazumevanja, davanja neophodnih komandi i uputstava.

Ometanje tokom odmora je takođe vid štetnog delovanja buke na čoveka.

Dejstvo buke na čovečki organizam je kumulativno. Tokom vremena ometanje bukom raste, što znači da se promene u organizmu superponiraju i povećavaju u zavisnosti od dužine trajanja ekspozicije. Do kumulacije uticaja buke dolazi ne samo tokom osmočasovnog rada (buka na radnom mestu) nego i tokom celog radnog veka, čemu se dodaju i posledice izazvane delovanjem buke i van radnog mesta (komunalna buka).

Štetno dejstvo buke na čoveka je višestruko. Buka utiče na sluh, mogućnost komunikacije, radnu sposobnost, na rad pojedinih organa i na opšte stanje celog organizma čoveka. Rezultati dejstva buke mogu biti razna ometanja bez štetnih posledica, prolazne promene ili trajna oštećenja.

Nekada se smatralo da je dejstvo buke ograničeno samo na organ sluha, ali danas je dokazano da je njeno dejstvo mnogo složenije. Na osnovu opsežnih i sistematskih ispitivanja ustanovljeno je da buka šteti zdravlju i dovodi do čitavog niza oboljenja. Buka ozbiljno pogađa nervni sistem, i to kako centralni tako i vegetativni, a preko ovog utiče na srce, krvne sudove, krvni pritisak, digestivni trakt i mnoge druge organe i tkiva u kojima izaziva promene i funkcionalne smetnje.

Pored direktnog štetnog dejstva na zdravlje čoveka buka posredno utiče na rezultate rada, i to što je jača sve vidnije i značajnije. Smanjenje produktivnosti rada, povećanje broja grešaka i povreda na radu evidentno je u svim delatnostima uz prisustvo buke. Na primer kod daktilografa sa povećanjem nivoa okolne buke raste broj pogrešno otkucanih znakova. U industrijskim pogonima, u kojima je smanjena buka, dolazi do znatnog poboljšanja u kvalitetu proizvoda i ostvarenoj produktivnosti.

Štetni efekti dejstva buke mogu se, u zavisnosti od nivoa buke, razvrstati u sledeća četiri stepena, kako je dalje navedeno.

U prvom stepenu, koji obuhvata nivo buke od 30 dBA do 65 dBA, većina populacije ne oseća nikakve smetnje. Samo vrlo osetljive osobe postaju razdražljive.

Drugi stepen obuhvata nivo buke od 65 dBA do 90 dBA. Dejstvo ovih nivoa izaziva neurovegetativne smetnje s mogućim efektima na sluh i organizam. Oštećenja sluha su moguća samo kod osetljivih osoba i to ako su izložene duži niz godina dejstvu buke.

Treći stepen obuhvata nivoe od 90 dBA do 110 dBA. Obično uz buku ovog nivoa kao prateći neželjeni efekti javljaju se vibracije. Kod velikog broja ljudi evidentan je gubitak sluha i teže neurovegetativne smetnje.

U četvrtom stepenu, koji obuhvata nivoe od 110 dBA do 130 dBA, nije moguć rad, jer buka brzo izaziva psihološke smetnje i gubitak sluha. Nivo iznad 130 dBA dovodi do gotovo trenutnog gubitka sluha.

1.7 Kriterijumi za procenu štetnog dejstva buke

Granične vrednosti buke na radnim mestima

Usled izlaganja buci relativno velike jačine, tokom osmočasovnog radnog vremena, dolazi do prolaznih promena, kao što su: smanjena osetljivost organa sluha, manje nervne smetnje, nešto ubrzan puls i povećan krvni pritisak. Sve ovo se smatra bezopasnim ukoliko posle rada usledi normalan period odmora za vreme kojeg se organizam vrati u stanje pre izlaganja buci. Ukoliko posle ponovljenih dejstava buke, radnik nema uslova za kvalitetan i redovan odmor, treba u praksi očekivati razne trajne poremećaje zdravlja.

Tabela 4.3 – Granične vrednosti parametara koji se koriste u postupku procene rizika usled izlaganja buci na radnim mestima [21]

Parametar	$L_{EX,8h}$ (dBA)	p_{peak}	
		Pa	dBC
Dnevna granična vrednost	85	140	137
Dnevna akciona vrednost	80	112	135

Radi zaštite radnika, u većini zemalja se dosta pažnje poklanja propisivanju najveće dozvoljene jačine buke na radnom mestu. Ova granica, za koju se smatra da ne šteti zdravlju, postepeno se kroz preporuke i propise spušta, kada praksa ospori ranije procene štetnosti i kada ekonomski uslovi i nivo razvoja određene sredine to dozvole.

Domaći propisi [21] definišu minimalne zahteve koje je poslodavac dužan da ispuni u cilju smanjenja rizika od nastanka oštećenja zdravlja (pre svega sluha) zaposlenih, koji bi mogli nastati pri izlaganju buci.

Za parametre buke na radnom mestu propisane su: granična i akciona vrednost nivoa dnevne izloženosti buci ($L_{EX,8h}$) i vršne vrednosti zvučnog pritiska (p_{peak}), kako je dato u tabeli 4.3. U direktivi Evropske komisije [12] i pojedinim nacionalnim propisima i preporukama drugih zemalja figuriraju dve akcione vrednosti (80 dBA – donja i 85 dBA – gornja) a granična vrednost iznosi 87 dBA.

Kada je izloženost buci veća od akcione vrednosti poslodavac je dužan da sredstva i opremu za zaštitu sluha učini dostupnim zaposlenima, a kada je izloženost buci jednaka ili veća od granične vrednosti, poslodavac je dužan da na korišćenje zaposlenima sredstva i opremu za zaštitu sluha.

Tabela 4.4 – Maksimalno dozvoljeni dnevni nivoi izlaganja buci za vremena kraća od 8 h

Maksimalno dozvoljeno dnevno izlaganje (h)	Dozvoljeni nivo buke (dBA)	
	Pravilo "3 dB"	Pravilo "5 dB"
8	85	85
4	88	90
2	91	95

1	94	100
0.5	97	105
0.25	100	110

Ako se nivo zvuka poveća iznad maksimalno dozvoljene osmočasovne vrednosti, vreme eksponiranja se mora skratiti. Koliko je to vreme, može se lako izračunati, ako se zna pravilo za koliko se sme povećati nivo zvuka ako se vreme prepolovi. U literaturi i nacionalnim propisima za ovo povećanje se uzimaju dve vrednosti: 3 dB ili 5 dB. Polazeći od maksimalno dozvoljenog osmočasovnog nivoa od 85 dBA, za kraća vremena izlaganja maksimalno dozvoljeni nivoi imaju vrednosti date u tabeli 4.4.

Maksimalno dozvoljeno vreme izlaganja buci nivoa L_m , većeg od dozvoljenog odmočasovnog L_{doz} , može se izračunati iz relacije:

$$t_d = \log \frac{8}{2^{\frac{L_m - L_{doz}}{K}}} \text{ [dBA]} \quad (4.10)$$

gde je $K=3$ dB ili 5 dB, u zavisnosti od toga koje se pravilo primenjuje prilikom skraćanja vremena izlaganja na polovinu.

Uticaj buke određene jačine na radni učinak i na zdravlje radnika za različite vrste delatnosti veoma je različit. Pri ovim procenama uzima se u obzir i faktor ometanja pri radu, pošto skoro u svim slučajevima (izuzimajući isključivo fizički rad) buka utiče na koncentraciju, a time i na kvalitet i efikasnost rada.

Maksimalni dopušteni nivoi buke na radnim mestima, s obzirom na vrstu delatnosti, dati su u tabeli 4.5.

Tabela 4.5 – Maksimalno dozvoljeni nivoi buke za različite delatnosti

R. br.	Vrsta delatnosti	Maksimalno dozvoljeni ekvivalentni nivoi buke (dBA)	
		Proizvodni izvori	Neproizvodni izvori
1	Najzahtevniji umni rad, vrlo velika usredsređenost, rad vezan za veliku odgovornost, najsloženiji poslovi upravljanja i	45	40
2	Pretežno umni rad koji zahteva usredsređenost, kreativno razmišljanje, dugoročne odluke, istraživanje, projektovanje, komuniciranje sa grupom ljudi	50	40
3	Zahtevniji kancelarijski poslovi, doktorske ordinacije, dvorane za sastanke, školska nastava, neposredna govorna i/ili telefonska komunikacija	55	45
4	Manje zahtevni kancelarijski poslovi, pretežno rutinski umni rad koji zahteva usredsređenost ili neposrednu govornu i/ili telefonsku komunikaciju, telefonske centrale	60	50
5	Manje zahtevni i uglavnom mehanizovani kancelarijski poslovi, prodaja, vrlo zahtevno upravljanje sistemima, fizički rad koji zahteva veliku pažnju i usredsređenost, zahtevni poslovi montaže	65	55

6	Pretežno mehanizovani kancelarijski poslovi, zahtevno upravljanje sistemima, upravljačke kabine, fizički rad koji zahteva stalnu usredsređenost, rad koji zahteva nadzor sluhom, rad koji se obavlja na osnovu zvučnih signala	70	60
7	Manje zahtevni fizički poslovi koji zahtevaju usredsređenost i oprez, manje zahtevno upravljanje sistemima	75	65
8	Pretežno rutinski fizički rad koji zahteva praćenje okoline slušanjem	80	65
9	Fizički rad bez zahteva za umnim naprezanjem i praćenjem okoline slušanjem	85	70

Granične vrednosti indikatora buke u naseljenim mestima, prema zonama naselja

Buka ugrožava ljude i van radnog mesta, gde može biti neprijatnija i jača nego pri radu. Pri procenjivanju dozvoljene granice jačine buke u životnoj sredini uzima se u obzir činjenica da čovek veći deo vremena provede van radnog mesta. U zaštiti životne sredine poseban problem predstavlja buka noću pri čemu treba ustanoviti koje su to jačine buke koje ne ometaju san. Maksimalni dozvoljeni nivoi buke u životnoj sredini, na otvorenom prostoru (izvan objekata), zavise od tipa zone o kojoj se radi. Normalno je očekivati da oni budu manji u zonama za odmor i zonama za stanovanje od onih u zonama sa teškom industrijom i u blizini glavnih saobraćajnica, tabela 4.6 [20]. Kao što se vidi iz tabele 4.6, granične vrednosti za dan i veče u domaćim propisima su jednake. Granične vrednosti se odnose na osnovne indikatore buke i na merodavni nivo buke, uključujući ukupnu buku koja potiče od svih izvora na posmatranoj lokaciji.

Tabela 4.6 – Granične vrednosti indikatora buke na otvorenom prostoru [20]

Zona	Namena prostora	Nivoi buke u dBA	
		Za dan i veče	Za noć
1	Područja za odmor i rekreaciju, bolničke zone i oporavilišta, kulturno-istorijski lokaliteti, veliki parkovi	35	30
2	Turistička područja, kampovi i školske zone	50	45
3	Čisto stambena područja	55	45
4	Poslovno-stambena područja, trgovačko-stambena područja i dečja igrališta	60	50
5	Gradski centar, zanatska, trgovačka, administrativno-upravna zona sa stanovima, zona duž autoputeva, magistralnih i gradskih saobraćajnica	65	55
6	Industrijska, skladišna i servisna područja i transportni terminali bez stambenih zgrada	Na granici ove zone buka ne sme prelaziti graničnu vrednost u zoni sa kojom se graniči	

Granične vrednosti indikatora buke u zatvorenim prostorijama u kojima borave ljudi

Granične vrednosti indikatora buke utvrđene su za boravišne prostorije stana, gde je potrebno zadovoljiti uslove za odmor ljudi, i za prostorije u javnim i drugim objektima gde se zahteva koncentracija pri radu i komuniciranje govorom. Takođe, postoje utvrđene vrednosti i za boravišne prostorije u drugim vrstama objekata (hoteli, škole, bolnice, prostorije za boravak dece, domovi za stara lica, bioskopske, pozorišne i koncertne dvorane).

Najveći dozvoljeni nivoi buke u zatvorenim prostorijama, pri zatvorenim prozorima prikazani su u tabeli 4.7 [20]. Ove vrednosti se odnose na merodavni nivo buke.

Tabela 4.7 – Granične vrednosti indikatora buke u zatvorenim prostorijama [20]

R. br.	Namena prostora	Nivoi buke u dBA	
		Za dan i	Za noć
1	Boravišne prostorije (spavaća i dnevna soba) u stambenoj zgradi pri zatvorenim prozorima.	35	30
2	U javnim i drugim objektima, pri zatvorenim prozorima:		
2.1	a) bolesničke sobe	35	30
	b) ordinacije	40	40
	c) operacioni blok bez medicinskih uređaja i opreme	35	35
2.2	Prostorije u objektima za odmor dece i učenika, i spavaće sobe domova za boravak starih lica i penzionera	35	30
2.3	Prostorije za vaspitno-obrazovni rad (učionice, slušaonice, kabineti i sl.), bioskopske dvorane i čitaonice u bibliotekama	40	40
2.4	Pozorišne i koncertne dvorane	30	30
2.5	Hotelske sobe	35	30

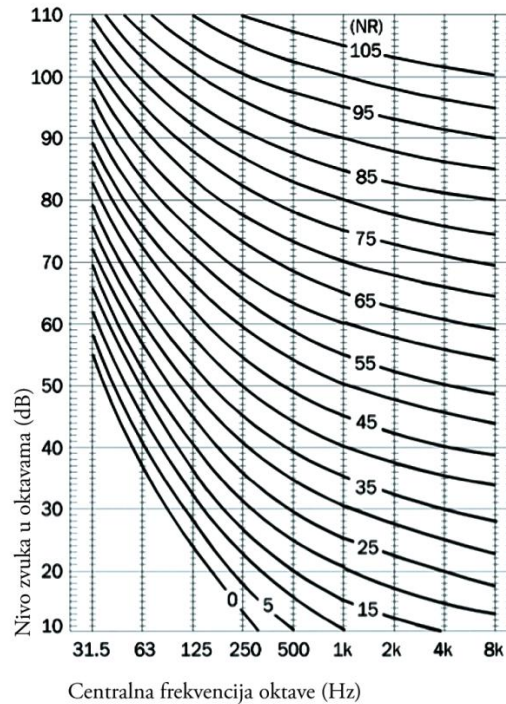
Kada se merenjima ustanovi da nivo buke prelazi granične vrednosti onda se mora uraditi oktavna analiza buke. Za procenu štetnosti na osnovu oktavne analize koriste se NR krive (*Noise Rating curves*) [13], prikazane na slici 4.10. NR krive su definisane međunarodnim standardom i predstavljaju prihvatljive nivoe buke u zatvorenim prostorijama, za zaštitu čula sluha, govornu komunikaciju i ometanje bukom. Uglavnom se koriste u Evropi, dok se slična familija krivih pod nazivom NC krive, više primenjuje u SAD. Stalno opadajući tok ovih krivih, koje možemo shvatiti i kao krive jednake podnošljivosti buke, ukazuje na činjenicu da više frekvencije jače ometaju od nižih.

Tabela 4.8 – Preporučene NR krive za prostorije različitih namena

Kriterijum	Namena prostorija
NR25	Koncertne sale, radio stuji, studiji za snimanje, crkve
NR30	Privatne kuće, bolničke sobe, pozorišta, bioskopi, konferencijske sale
NR35	Biblioteke, muzeji, sudnice, škole, operacione sale, stanovi, hoteli
NR40	Hale, hodnici, garderobe, restorani, noćni klubovi, kancelarije, prodavnice
NR45	Robne kuće, supermarketi, kantine
NR50	Daktilo biroi, kancelarije sa poslovnim mašinama
NR60	Manje proizvodne hale
NR70	Livnice, hale sa teškom industrijskom proizvodnjom

Oznaka krive (NR35, NR50 i sl.) odgovara dozvoljenoj vrednosti nivoa buke u oktavi sa centralnom frekvencijom na 1000 Hz. Nominalna vrednost krive približno odgovara 5 dB većem ukupnom nivou buke L_{Aeq} . Tako kriva NR50 približno odgovara ukupnom nivou buke od 55 dBA, kriva NR65 nivou buke od 70 dBA i tako redom.

Koji kriterijum, odnosno graničnu krivu za buku treba primeniti za pojedine prostorije, može se videti i iz tabele 4.8. Podrazumeva se da ni u jednoj oktavi nivo buke ne sme preći vrednost na propisanoj krivoj. Drugim rečima, spektar buke (po oktavama) mora u celini ležati ispod krive usvojenog kriterijuma.



Slika 4.10 – Standardizovane NR krive [13]

Znajući spektar spoljne buke i usvajajući određeni NR – kriterijum, oduzimanjem vrednosti odgovarajućih ordinata, dobijamo podatke o potrebnoj akustičkoj izolaciji.

1.8 Širenje buke

Izvori buke su veoma različiti. To može biti kompletan saobraćaj u jednom delu naselja. Unutar tog saobraćaja kao posebne izvore buke imamo autobuse, automobile ili druga prevozna sredstva. Dalje, na samom vozilu pojedinačni izvori buke su motor, izduvni lonac, menjačka kutija itd.

Kod svakog izvora buke razlikujemo vremenske, prostorne i akustičke karaktersitike. Prema načinu vremenskog delovanja razlikujemo izvore stalne buke i izvore promenljive buke. Izvori buke prema načinu svog prostornog delovanja mogu biti stacionarni i mobilni. Osnovne akustičke karaktersitke izvora buke su jačina, spektar i usmerenost.

Način prostiranja i prenošenja buke od izvora do prijemnika zavisi od toga o kakvim se putanjama radi. Vrsta putanje je od primarnog značaja i kada se radi o zaštiti od buke pomoću tehničkih sredstava. Pri tome je veoma bitno da li se zvuk prenosi kroz neku čvrstu pregradu, ili se prostire kroz gasovitu i tečnu sredinu.

Prijemno mesto ili prijemnik buke u širem značenju može biti prostor različitih dimenzija, što zavisi od načina posmatranja i postavljenog cilja. Na primer, za buku aviona ceo jedan grad je prijemno mesto, dok je za buku u radnoj prostoriji prijemno mesto uvo radnika.

Buka može da se širi, u okolinu izvora koji je stvara, na dva načina:

- kroz vazduh ili
- kroz pregrade.

U praksi su oba slučaja zastupljena, pa će biti, ukratko, svaki od njih posebno analiziran.

1.8.1 Širenje buke kroz vazduh

Kroz vazduh se buka širi po svim zakonima koji važe i za širenje (prostiranje) zvučnih talasa. Što se više udaljavamo od izvora buke, to će i nivo biti manji. Kako i koliko će se nivo buke menjati zavisi od više faktora.

Ukoliko se radi o ravnom terenu, bez prepreka, buka će se širiti u svim pravcima, a sa udvostručavanjem rastojanja od izvora nivo će opadati za 6 dB.

Ako teren nije ravan, nivo buke će se smanjivati zavisno od konfiguracije terena. U svakom konkretnom slučaju moguće je dosta dobro predvideti kako će se nivo buke menjati.

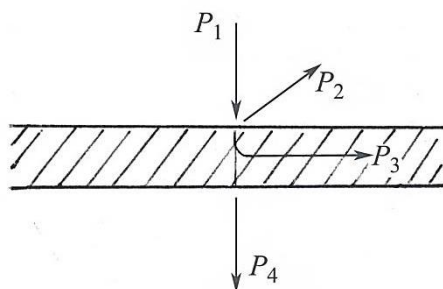
Dodatnim sredstvima, kao što su razne pregrade ili kako ih najčešće nazivamo barijere, nivo buke se može uspešno smanjivati prema ukazanim potrebama. Duž autoputeva, u okolini industrijskih pogona koji su bučni, pored transformatorskih stanica i na sličnim mestima postavljaju se barijere koje moraju da zadovolje određene uslove kako bi njihova efikasnost bila evidentna. Presudnu ulogu igra visina barijere, koja mora da bude reda veličine talasne dužine dominantnog zvuka, a zatim su važna i rastojanja od izvora buke do barijere i od mesta prijema do barijere. Kratke barijere nemaju efekta, kao ni niske.

Vrlo su uočljive visoke barijere (4-7 m) duž autoputeva u Evropi. To su dosta masivni zidovi koji odvajaju put od okolnih naselja. Njihova efikasnost je lako merljiva. U najkritičnijim slučajevima se prave i tuneli, u koje se sa unutrašnje strane postavljaju apsorpcioni materijali. Oni su i najbolje sredstvo zaštite od buke.

Kod nas tek od skoro počinju da se postavljaju zaštitni zidovi duž autoputeva. Postavljaju se i barijere oko industrijskih pogona i najviše oko transformatora. Očigledno tek dolazi vreme bolje i veće zaštite od buke na otvorenom prostoru.

1.8.2 Prenošnje buke kroz pregrade

Ukoliko zvučni talas pri prostiranju kroz vazduh udari u neku pregradu, deo akustičke energije će se reflektovati, dok će deo proći kroz pregradu. Na slici 4.11 šematski i vrlo uprošćeno je prikazan način prenošenja akustičke energije pri nailasku na pregradu.



Slika 4.11 – Šematski prikaz širenja buke pri udaru o pregradu.

Sa P_1 je označena akustička energija (u jedinici vremena) zvučnog talasa koji je udario u pregradu, dok P_2 predstavlja reflektovanu energiju koja se sastoji od energije odbijenog talasa i energije zračenja usled vibracija pregrade. P_3 predstavlja energiju odvedenu bočno kroz pregradu a

P_4 energiju koja je prošla na drugu stranu pregrade. Ona je posledica poroznosti materijala i vibracija pregrade.

Koliki deo akustičke energije prođe kroz pregradu definiše se koeficijentom transmisije. Ovaj koeficijent daje odnos energije koja je prošla kroz pregradu i energije koja je udarila u pregradu. Koeficijent transmisije je:

$$\tau = \frac{P_4}{P_1} \quad (4.11)$$

U praksi je koeficijent transmisije znatno manji od jedinice i ima vrednost reda veličine 10^{-3} do 10^{-4} . Ovako male vrednosti nisu pogodne za upotrebu, pa je zato uvedena njegova recipročna logaritamska vrednost. Tako se definiše *izolaciona moć* pregrade koja iznosi:

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} \text{ [dB]} \quad (4.12)$$

Za razne vrste pregrada može se izračunati ili izmeriti izolaciona moć pregrade. U Tabeli 4.9 date su neke tipične vrednosti izolacionih moći građevinskih elemenata.

U posebnim građevinskim priručnicima može se naći mnogo više podataka o izolacionoj moći građevinskih elemenata i materijala, dok su ovde dati samo neki podaci kao primeri.

Kada je poznata izolaciona moć pregrade, koju često zovemo i akustička izolacija, moguće je definisati *zvučnu izolovanost* između dve prostorije. Ona iznosi [1], [5]:

$$D = L_1 - L_2 = R + 10 \log \frac{A_2}{S_{12}} \text{ [dB]} \quad (4.13)$$

gde su: L_1 - nivo buke u prostoriji br. 1, gde se nalazi izvor;

L_2 - nivo buke u prostoriji br. 2 (prijemna prostorija);

R - izolaciona moć pregrade;

A_2 - apsorpcija prostorije br. 2;

S_{12} - površina pregradnog zida između prostorije br. 1 i br. 2.

Tabela 4.9 – Izolaciona moć nekih građevinskih elemenata

R. br.	Vrsta pregrade	Debljina [cm]	Površinska masa [kg/m ²]	Izolaciona moć R[dB]
1.	Betonski zid	20	430	54
2.	Zid od pune opeke, omalterisan	27	480	55
3.	Zid od šuplje opeke, omalterisan	27	390	52
4.	Gips-karton ploča	1,25	10	29
5.	Šper ploča	1	7	24
6.	Dve gips-karton ploče (svaka po 1,25 cm) na metalnoj nosećoj konstrukciji		25	43
7.	Termički prozor (dva stakla). Svako staklo 3 mm	1,4	15	27
8.	Dva AL-lima 0,6 mm sa kartonskim saćem	6,5	6	12

Zvučna izolovanost se u praksi često meri, jer je ovu veličinu moguće relativno lako odrediti. Ona služi kao dobar indikator u slučajevima kada nije jednostavno naći izolacionu moć laboratorijskim merenjem.

1.8.3 Zakon mase

Izolaciona moć se može izračunati na osnovu teorijskih razmatranja za upadni ugao zvučnih talasa od 90° kao [1], [5]:

$$R_0 = 10 \log \left[1 + \left(\frac{\omega m_s}{2\rho c} \right)^2 \right] \cong 20 \log \frac{\omega m_s}{2\rho c}, \text{ [dB]}, \quad (4.14)$$

gde su: ω - kružna frekvencija ($2\pi f$),

m_s - površinska masa pregrade [kg/m^2],

ρc - konstanta koja iznosi 400 jedinica SI.

Obrazac za izračunavanje R_0 naziva se zakon mase. Način izračunavanja R_0 se navodi posebno zbog toga što ova veličina ukazuje kako se menja izolaciona moć sa debljinom (površinskom masom) pregrade i sa frekvencijom.

U vezi sa debljinom pregrade iz navedenog obrasca za R_0 vidi se da svako udvostručavanje mase pregrade dovodi do povećanja izolacione moći od 6 dB. U praksi se može, nažalost, često čuti da će udvostručavanje mase pregrade povećati i izolacionu moć na dvostruko veću vrednost, a ne samo za 6 dB! Značajnije povećanje izolacione moći se ostvaruje isključivo dvostrukim pregradama koje su tako konstruisane da budu dovoljno razmaknute jedna od druge. Što se tiče frekvencije, evidentno je da izolaciona moć raste za 6 dB pri povećanju frekvencije dva puta.

U praksi su vrednosti R_0 po pravilu manje od izračunatih što je rezultat većeg broja faktora, u šta ovde nećemo ulaziti.

1.8.4 Strukturna buka

Posebnu vrstu buke predstavlja strukturna buka, koja je rezultat vibracija čvrstih tela stvorenih mehaničkom pobudom. Strukturnu buku stvaraju razni udari i mašine, a ona se prenosi preko građevinskih konstrukcija i cevi (vodovod, kanalizacija).

Ukoliko postoje čvrste i krute veze između mesta nastanka vibracija i prenosnih konstrukcija strukturna buka se javlja čak i u vrlo udaljenim prostorijama.

Čvrsta tela, u kojima se stvara strukturna buka, zrače akustičku energiju u vazdušni prostor oko sebe. Zaštita od strukturne buke se svodi na stvaranje diskontinuiteta na putevima prenošenja vibracija. Ubacivanjem elastičnih veza i materijala strukturna buka se može uspešno ograničiti.

1.9 Odbrana od buke

Postoje tri načina odbrane od prekomerne buke: fiziološki, tehnički i socijalno-pravni.

1.9.1 Fiziološka odbrana od buke

Fiziološka odbrana obuhvata: promenu fizičkih karakteristika srednjeg uva, slušnu adaptaciju i slušni zamor. To je u stvari reakcija organa sluha na povećani nivo buke.

Pod dejstvom buke dolazi do kontrakcije mišića srednjeg uva, čime se smanjuje prenos zvuka prema unutrašnjem uvu, i tako štiti ostatak slušnog mehanizma od dejstva prekomerne buke.

Slušna adaptacija predstavlja spuštanje osećaja glasnosti i pad osetljivosti sluha usled delovanja akustičke stimulacije. Tokom vremena ove veličine se asimptomski približavaju svojim vrednostima karakterističnim za datu akustičku stimulaciju.

Slušni zamor predstavlja funkcionalno stanje organa sluha tokom ili nakon stimulacije većim intenzitetom zvuka. On pokazuje kako se organ sluha ponaša kada je opterećen preko svojih mogućnosti. To stanje se ogleda u progresivnom padu osećaja glasnosti i praga čujnosti pod dejstvom zvuka većeg intenziteta.

1.9.2 Odbrana od buke tehničkim sredstvima

Veoma važan način odbrane od buke sastoji se u primeni različitih tehničkih sredstava. U oblasti tehničke zaštite od buke iskustva su dovoljno velika da se znaju pravila koja se primenjuju u različitim slučajevima stvaranja i širenja buke. Zaštita od buke, kao jedna podoblast akustike, bavi se metodama za ostvarivanje prihvatljive buke, pre svega po nivou i spektralnom sadržaju. Zaštita se postiže raznim merama i intervencijama na tri osnovna elementa tog procesa: na samom izvoru buke, na potencijalnim prijemnicima, i na putanji koju zvuk prelazi prostirući se od izvora do prijemnika.

Kao najefikasnije rešenje u borbi protiv buke nameće se, samo po sebi, suzbijanje buke na izvoru. Treba, dakle, učiniti da mašine u fabrikama, aparati u domaćinstvu, saobraćajna sredstva i drugi izvori stvaraju što manje buke. To je tehnički izvodljivo jer u suštini svaka buka pri radu nekog uređaja, dokaz je njegove tehničke nesavršenosti.

Nekada se smanjenje buke može postići vrlo jednostavnim sredstvima, kao što je postavljanje elastičnih podmetača ispod mašine da se vibracije ne bi prenosile na podlogu, ili drugačijim postavljanjem mašine koja usmereno zrači zvuk. U drugim prilikama se mora ići dalje, na primer zameniti zupčasti prenos frikcionim, i slično. U svakom slučaju, na tom polju može još mnogo da se uradi, ali uz određene materijalne žrtve koje, nažalost, današnji svet u želji za sticanjem što većeg profita, nije spreman da podnese.

Ukoliko buka nije smanjena na izvoru ostaje nam da smanjimo njen uticaj na putanji od izvora do prijemnika. Ovaj vid zaštite se realizuje kroz: prostorno planiranje objekata, raspored prostorija u zgradi, izradu pregrada (zidovi i međuspratne konstrukcije) određenih karakteristika, izradu vrata i prozora prema definisanim normama i postavljanje kućnih postrojenja i instalacija prema važećim principima zaštite od vibracija.

Na kraju, ako ni jedan od prthodno opisana dva postupka zaštite od buke (na izvoru i na putanji od izvora do prijemnika) nije dao očekivane rezultate mora se primeniti zaštita od buke na prijemu. Prijemnik je uvek čovek, a zaštitne mere koje se primenjuju neposredno na ljudima nazivamo lične mere zaštite od buke.

Kada nivo dnevne izloženosti buci pređe 80 dBA, osoblju koje radi u takvoj sredini moraju se staviti na raspolaganje lična zaštitna sredstva a ako ovaj nivo pređe 85 dBA osoblje mora koristiti lična zaštitna sredstva. Iz ovoga zaključujemo da lično zaštitno sredstvo treba da smanji nivo buke ispod 80 dBA.

Prilikom primene ličnih zaštitnih sredstava mora se voditi računa o spektru buke, zbog toga što je prigušenje zaštitnih sredstava veoma zavisno od frekvencije. Kod svih sredstava ove vrste više frekvencije su jače prigušene.

Prigušenje istog tipa sredstva se menja od komada do komada, a i za svaki komad nije u svim slučajevima jednako, jer, između ostalog zavisi i od naleganja.

U lična sredstva zaštite od buke spadaju:

- Zaštitni čepovi za uši, koji imaju prigušenje od oko 10 dB na niskim frekvencijama, pa do više od 20 dB na visokim frekvencijama. Uglavnom su od sintetičkog materijala ili gume;
- Zaštitne ušne školjke ili naušnice, koje imaju prigušenje od 20 dB do 40 dB, na srednjim i višim frekvencijama, a prednost im je nad čepovima što ne stvaraju smetnje u ušnim kanalima;
- Zaštitni šlemovi ili kapuljače, koji prekrivaju uši i veći deo glave. Izrađuju se od platna i kože, a iznutra se oblažu vatom ili filcom. Sami po sebi nemaju veće prigušenje od naušnica, ali se mogu kombinovati sa naušnicama i čepovima;
- Zaštitna odela, koja se koriste u ekstremnim slučajevima kada nivo buke doseže vrednosti do oko 130 dBA i kada treba zaštititi sve organe ljudskog tela.

1.9.3 Odbrana od buke socijalno pravnim sredstvima (pritužbe građana i zakonska regulativa)

Značajan vid odbrane od buke su i zajedničke reakcije određenog procenta ugroženog stanovništva na ometanje bukom. Ove reakcije mogu biti pojedinačne ili u obliku peticija nadležnim državnim institucijama.

Jedan od najvažnijih zadataka zaštite od buke jeste donošenje propisa o načinima merenja buke, o dozvoljenim nivoima buke, kao i o načinu kontrole i sankcionisanja zagađivača bukom.

Sve iole razvijene zemlje su veoma davno donele nacionalne standarde i pravilnike za zaštitu od buke. Evropska unija je kao celina 1996. godine poseban plan za borbu protiv buke [7].

U našoj zemlji je još 1967. godine donešen dokument pod imenom „Pravilnik o minimalnim tehničkim uslovima za izgradnju stanova [2], što obeležava početak formalne obaveze projekatanta i graditelja da pri gradnji objekata vode računa o zaštiti od buke. Danas je ta obaveza ustanovljena serijom standarda pod zajedničkim naslovom „Akustika u građevinarstvu“. U novije vreme neki od njih formirani su prevođenjem ili preuzimanjem odgovarajućih međunarodnih (ISO) standarda.

Pitanja od značaja za zaštitu životne sredine i zdravlje ljudi, koja se odnose na buku, definisani su kod nas Zakonom o zaštiti od buke u životnoj sredini [19].

Štetno dejstvo buke u životnoj sredini je detaljnije obrađeno u odgovarajućoj Uredbi [20] gde su definisani i indikatori buke, njihove granične vrednosti i metode za ocenjivanje štetnih efekata buke. Preventivne mere koje se moraju primeniti na radnim mestima radi zaštite radnika od uticaja buke definisane su u Pravilniku [21] koji detaljnije obrađuje ovu tematiku.

Za one karakteristične veličine iz domena buke za koje ne postoje domaći propisi ili standardi uobičajeno je da se primenjuju međunarodni standardi. Oni su veoma korisni kada se radi i mernim metodama i procenjivanju buke, ali ne sadrže kriterijume niti se za tu svrhu mogu primeniti. Kriterijumi se utvrđuju u nacionalnim propisima. Za retke slučajeve, gde ne postoje međunarodni ili nacionalni standardi ili preporuke, koriste se stavovi merodavnih institucija ili autora iz literature.

1.10 Pitanja za proveru znanja

1. Šta je buka? Koje vrste buke razlikujemo?
2. Nabrojati najčešće izvore buke. Kako ih možemo podeliti?
3. Kako se definiše i čemu služi ekvivalentni nivo buke?
4. Kako se može izmeriti ekvivalentni nivo buke?
5. Koje se ponederacije, i zašto, uvode tokom merenja ekvivalentnog nivoa buke?
6. Koji se statistički parametri koriste prilikom analize buke?
7. Koje indikatore buke koristimo prilikom merenja i procenjivanja buke u životnoj sredini?
8. Kako su definisani indikatori buke u životnoj sredini?
9. Koji parametri se koriste za procenu rizika od uticaja buke na radnim mestima?
10. Šta su, i kako su definisani dnevni i nedeljni nivo izloženosti buci?
11. Koji su osnovni sklopovi instrumenata za merenje buke?
12. Koja su najčešća štetna dejstva buke na čoveka?
13. Koje su granične vrednosti parametara buke na radnim mestima?
14. Od čega zavise granične vrednosti indikatora buke u naseljenim mestima i u kojim granicama se kreću?
15. Od čega zavise granične vrednosti indikatora buke u zatvorenim prostorijama i u kojim granicama se kreću?
16. Šta su NR krive, kako je definisana njihova nazivna vrednost, i koji je odnos ove vrednosti prema odgovarajućem nivou buke izraženom u dBA?
17. Približno skicirati izgled NR krivih. Šta se može zaključiti iz njihovog oblika?
18. Kako se buka širi od izvora u okolni prostor?
19. Šta je koeficijent transmisije? Kako se izračunava izolaciona moć pregrade? Koliko ona iznosi (približno) za najčešće pregrade u praksi?
20. O čemu govori zakon mase i kako on glasi?
21. Šta je zvučna izolovanost dve prostorije i od čega ona zavisi?
22. Šta se podrazumeva pod fiziološkom odbranom od buke?
23. Šta se podrazumeva pod zaštitom od buke tehničkim sredstvima? Na kojim mestima se ova zaštita može primeniti?
24. Šta su lična zaštitna sredstva od buke?
25. Koja su to socijalna i pravna sredstva za zaštitu od buke?
26. Koji osnovni propisi definišu oblast zaštite od buke u našoj zemlji?

1.11 Literatura

- [1] L. L Beranek, Noise and Vibration Control, McGraw Hill Book Co., 1971.
- [2] Pravilnik o minimalnim tehničkim uslovima za izgradnju stanova", Sl. list SFRJ br.45/1967.
- [3] J. R. Hassall, K. Zaveri, M. Phil, *Acoustic Noise Measurement*, Bruel &Kjaer, 1979.

- [4] M. Simonović, D. Kalić, P. Pravica, *Buka – štetna dejstva, merenje i zaštita*, Institut za dokumentacije zaštite na radu, Niš, 1982.
 - [5] H. Kurtović, *Osnovi tehničke akustike*, Naučna knjiga, Beograd, 1982.
 - [6] SPRS U.J6.201 Akustika u zgradarstvu - Tehnički uslovi za projektovanje i građenje zgrada, *Sl. list SFRJ* br. 67/89.
- Future Noise Policy-European Commission Green Paper, Brussels, 1996,