

ZAGADJENJE BUKOM

Ivana Anđić
Snežana Isaković
Marko Ivetić

Uvodna razmatranja

- BUKA SE OBIČNO DEFINIŠE KAO NEŽELJENI ZVUK
- DUGO SE SMATRALO DA ZAGAĐENJE DOLAZI SAMO OD OTPADNOG MATERIJALA, KOJI MOŽE BITI U RAZLIČITIM AGREGATNIM STANJIMA I TAKO ZAGAĐITI VODU, VAZDUH I ZEMLJIŠTE.
- MEĐUTIM, ZAGAĐENJE MOŽE DOĆI I OD "ENERGETSKOG" OTPADA, TOPLOTNE ENERGIJE, I ZVUČNE ENERGIJE, ŠTO JE POSEBNO VAŽNO AKO JE IZAZVANO LJUDSKIM AKTIVNOSTIMA.
- ZAGAĐENJE BUKOM JEDNAKO BITNO KAO I ZAGAĐENJE VODE I VAZDUHA

Uvodna razmatranja

- BUKA JE SVAKI ZVUK KOJI MOŽE PROIZVESTI NEŽELJENE FIZIOLOŠKE ILI PSIHOLOŠKE EFEKTE NA POJEDINCA, GRUPU, ILI UTICATI NA KOMUNIKACIJE, POSAO, ODMOR, REKREACIJU I SAN.
- IPAK, OCENA ŠTA JE NEŽELJENI ZVUK, JE SUBJEKTIVNA.
- BUKA JE ZAGAĐENJE KOJE NE OSTAJE U OKRUŽENJU, KAO ŠTO JE SLUČAJ SA ZAGAĐENJEM VODE, VAZDUHA I ZEMLJIŠTA.

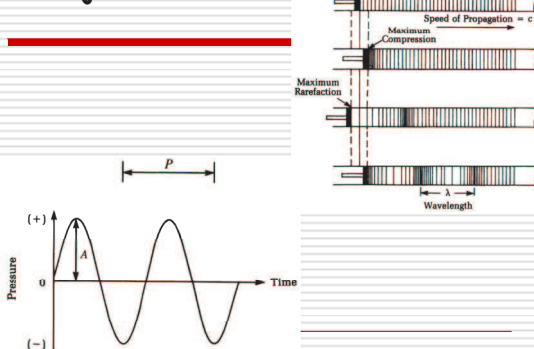
Uvodna razmatranja

- FIZIOLOŠKI I PSIHOLOŠKI EFEKTI POSTAJU ZNAČAJNI TEK USLED DUGOTRAJNE IZLOŽENOSTI, PA JE TEŠKO POVEZATI UZROK I POSLEDICU.
- ZBOG TOGA ŠTO LJUDI U PRINCIPU IMAJU POZITIVAN ODNOS PREMA TEHNIČKIM DOSTIGNUĆIMA (TRAMVAJ, AUTO, ŽELEZNICA), BUKU PRIHVATAJU KAO NEMINOVNOST KOJA PRATI BLAGODET KOJU DOBIJAMO.
- ENERGIJA ZVUKA JE IZUZETNO MALA U POREĐENJU SA OSTALIM VIDOVIMA ENERGIJE, KOJI TAKOĐE PREDSTAVLJAJU ZAGAĐENJE (TOPLOTNA ENERGIJA, NA PRIMER). "PROBLEM" JE IZUZETNA OSETLJIVOST LJUDSKOG UHA.

OSOBINE ZVUČNIH TALASA

- TALASI U OBLIKU SINUSOIDE, OSCILATORNE PROMENE PRITISKA
- PERIOD (P) = $1/f$
- FREKVENCIJA (f) = $1/P$
- TALASNA DUŽINA (λ) = c/f
- AMPLITUDA (A)
- SREDNJA VREDNOST PRITISKA JE NULA
- ODREĐUJE SE RMS-PRITISKA (srednje kv.odst.)
 $(p_{RMS}) = (p^2)^{1/2}$

Teorijske osnove



JAČINA (SNAGA) I INTENZITET ZVUKA

- TALASI PRENOSE ENERGIJU
- SNAGA ZVUKA (W)
- INTENZITET ZVUKA (I) = W / A
- (A) - JEDINICA POVRŠINE UPRAVNE NA PRAVAC NAPREDOVANJA TALASA
- (I) = $(p_{RMS})^2 / \rho c$
- ρ - GUSTINA SREDINE (kg / m^3)
- c - BRZINA ZVUKA U DATOJ SREDINI (m / sec)
- $c = 20,05 (T)^{1/2}$ (PRI PRITISKU OD 1 bara)

NIVOI I DECIBELI

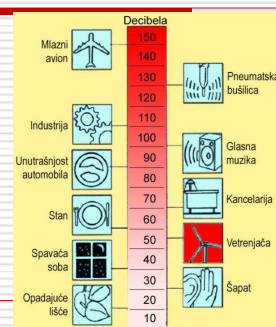
- Veliki opseg zvučnog pritiska, od praga čujnosti (0.00002 Pa), do zvuka mlaznog motora, 100 Pa
- $L' = \log(Q/Q_0)$ (u Belima - Alexander Graham Bell)
- $L = 10 \log(Q/Q_0)$ (u dB - decibelima)
- Q - MERENA VELIČINA
- Q_0 - REFERENTNA VELIČINA
- dB- DESETI DEO JEDNOG BELA

NIVOI I DECIBELI

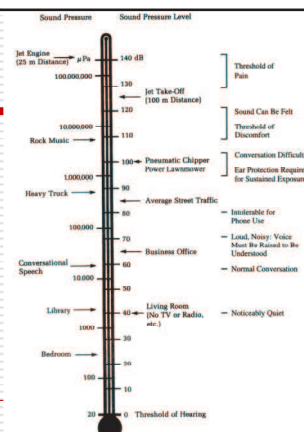
- VAŽNO: dB nije fizička veličina, to samo znači da je urađena logaritamska transformacija. Tek kada se kaže koja fizička veličina je u pitanju, i koja je njena referentna vrednost.
- NIVO SNAGE ZVUKA : $L_w = 10 \log(W/10^{-12})$
- Referentni nivo snage zvuka je $10^{-12} W$.
- NIVO intenziteta zvuka: $L_i = 10 \log(I/10^{-12})$
- Referentni intenzitet zvuka je $10^{-12} W/m^2$

NIVOI I DECIBELI

Instrumenti mere srednje kvadratno odstupanje pritiska (rms).
Referentni pritisak je $20 \mu Pa$.



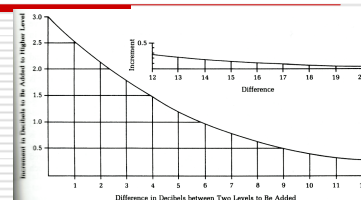
NIVOI I DECIBELI



KOMBINOVANJE NIVOVA ZVUČNOG PRITISKA iz dva izvora

Dva izvora buke od po 60 dB predstavljaju 63 dB

$$10 \log(2 \cdot 60) = 10(\log 60 + \log 2) = 60 + 3, \text{ jer je } 10 \log 2 = 3$$

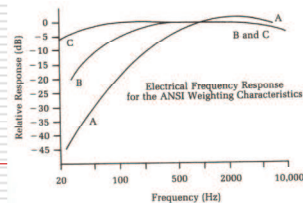


Za kombinovanje dva različita nivoa, koristi se priloženi dijagram:
Na veći nivo zvučnog pritiska dodaje se vrednost sa ordinate koja odgovara razlici dva nivoa.

Primer: za nivoe 70 i 65, dobija se: $70 + 1.3 = 71.3 \text{ dB}$

KARAKTERIZACIJA BUKE

- ZANIMA NAS REAKCIJA ČOVEKA NA BUKU A NE ZVUČNI PRITISAK
- JAČINA ZVUKA JE FUNKCIJA FREKVENCIJE
- MREŽE ZA MERENJE, ODNOSNO, FILTRI (TIP A, B ILI C), DA BI GRUBO DOBILI RASPORED PO FREKVENCIJAMA.
- ZVUČNI ANALIZATOR ZA ODREĐIVANJE FREKVENTNOG SADRŽAJA
- TAKOĐE, PODELA NA OKTAVE (OD 22-44Hz, 44-88 ITD.)



OSREDNJAVANJE NIVOVA ZVUČNOG PRITISKA

- SREDNJA VREDNOST SKUPA MERENIH NIVOVA ZVUČNOG PRITISKA :

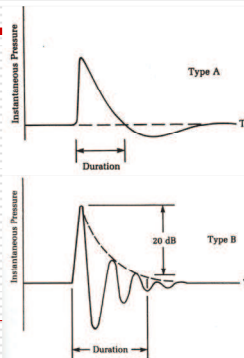
$$L_{sr} = 20 \log \left[\frac{1}{N} \sum 10^{(L_j/20)} \right]$$

$$j = 1, n$$

- PRIMER: Srednja vrednost 4 izmerene vrednosti (u dB): 38, 51, 68 i 78 je **69 dB**, a ne 59 (aritmetička srednja vrednost)

TIPOVI ZVUKA (BUKE)

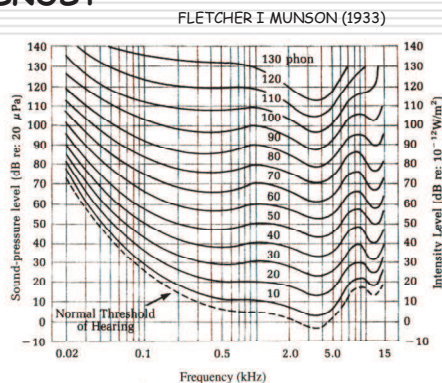
- KONTINUALNA (BUKA OD FENA)
- PROMENJIVA (ZUBARSKA BUŠILICA)
- IMPULSNA (PUCANJE IZ VATRENOG ORUŽJA): TIP A/ TIP B



OPSEG FREKVENCIJA I OSETLJIVOST

- OD 20 DO 16000 Hz - UOČAVA ODRASLA MLADA OSOBA
- 500 - 2000 - ZONA GOVORA
- MIN.UOČLJIV ZVUČNI PRITISAK : 20 μPa
- GLASNOST :
- PSIHO-AKUSTIČNA VELIČINA
- 1933 FLETCHER I MUNSON ISPITUJU ODNOS FREKVENCIJE, ZVUČNOG PRITISKA I GLASNOSTI
- 1000 Hz - REFERENTNI NIVO, JEDINICA FON

GLASNOST



AUDIOMETRIJA

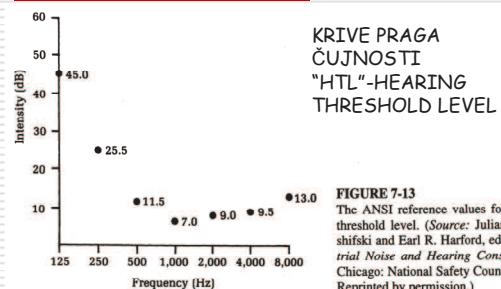
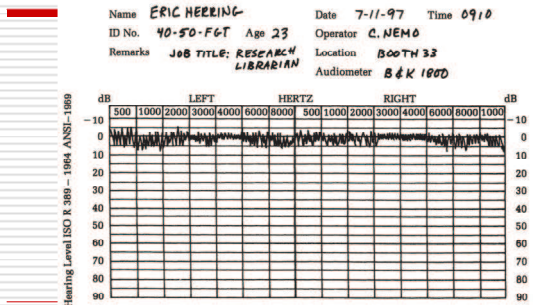


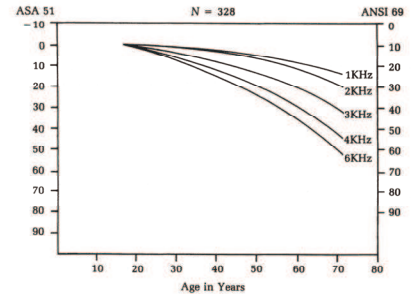
FIGURE 7-13
The ANSI reference values for hearing threshold level. (Source: Julian B. Olinshifski and Earl R. Harford, eds., *Industrial Noise and Hearing Conservation*, Chicago: National Safety Council, 1975. Reprinted by permission.)

AUDIOGRAM KOJI POKAZUJE ODLIČAN SLUŠNI REFLEKS



SLABLJENJE SLUHA SA VREMENOM

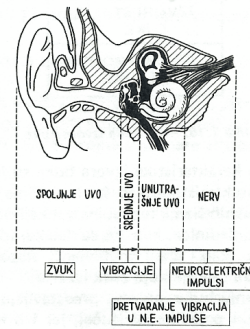
"nečujni
zvuk"



PROBLEMI VEZANI ZA BUKU I UTICAJ NA ČOVEKA:

- ☐ GUBITAK I/ILI OŠTEĆENJE SLUHA
- ☐ MAKSIMALNO DOZVOLJENO IZLAGANJE BUCI
- ☐ PROBLEMI SA KOMUNIKACIJOM
- ☐ UZNEMIRAVANJE
- ☐ UGROŽAVANJE SNA (SPAVANJE)
- ☐ UTICAJ NA RADNI UČINAK
- ☐ PRAVO NA (ZVUČNU) PRIVATNOST

Prijemnik zvuka

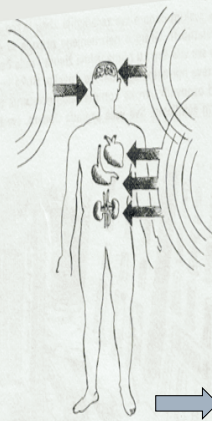


Slika 1.20. – Transformacija zvuka u organu sluha.

Uticaj buke na čoveka

Buka deluje na:

- ☐ Sluh
- ☐ Mozak
- ☐ Srce
- ☐ Krvne sudove
- ☐ I na ostale organe i tkiva



Fiziološka odbrana od buke

- ☐ Kontrakcija mišića
- ☐ Neurološki fenomeni odbrane
- ☐ Adaptacija

FAKTORI KOJI UTIČU NA PRAG ČUJNOSTI

- ☐ NIVO ZVUKA : > 60-80 dBA za TRAJNO OŠTEĆENJE
- ☐ FREKVENCIJA DISTRIBUCIJE ZVUKA
- ☐ TRAJANJE ZVUKA
- ☐ VREMENSKA DISTRIBUCIJA IZLAGANJA ZVUKU
- ☐ INDIVIDUALNA TOLERANCIJA
- ☐ TIP ZVUKA

AUDIOGRAM GUBITAK SLUHA NA VISOKIM FREKVENCIJAMA

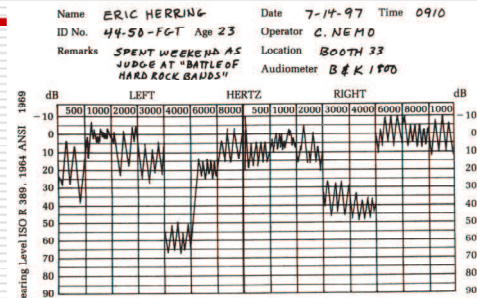
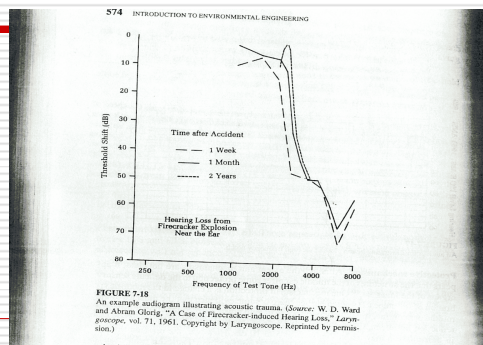


FIGURE 7-17
An audiogram illustrating hearing loss at the high frequency notch.

AKUSTIČNA TRAUMA (trajno oštećenje srednjeg uha)



KRITERIJUMI ZA RIZIK OD OŠTEĆENJA :

- ☐ POREMEĆAJ SLUHA - PROSEČNA "HTL" KRIVA PREKORAČENA ZA 25 dB NA 500, 1000 I 2000 Hz
- ☐ TOTALNO OŠTEĆENJE : PROSEČNA "HTL" KRIVA PREKORAČENA ZA 92 dB.

ZVUČNI UDAR

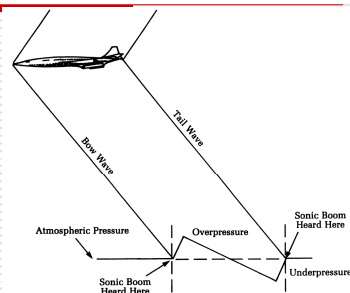


FIGURE 7-21
Sonic booms resulting from bow wave and tail wave set in motion by supersonic flight.

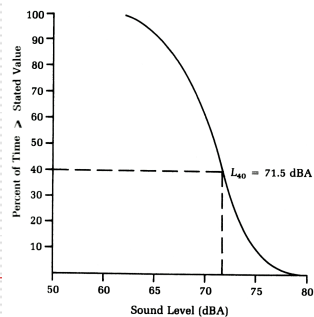
SISTEMI ZA MERENJE NIVOA BUKE:

- ☐ IDEALAN SISTEM BI TREBALO DA DA:
- ☐ RAZLIKE U FREKVENCIJAMA
- ☐ RAZLIKE IZMEDJU DNEVNE I NOĆNE BUKE
- ☐ OPIS KUMULATIVNE BUKE
- ☐ STATISTIČKI SISTEM: Snimiti sve, pa onda analizirati.
- ☐ MANA : PREVIŠE PARAMETARA

"L_N" KONCEPT

- L_N je STATISTIČKA MERA KOJA POKAZUJE KOLIKO ČESTO JE ODREĐJENI NIVO ZVUKA PREKORAČEN

- L₄₀ = 72 dB ,



"Leq" KONCEPT

- NIVO EKVALENTNE ENERGIJE
- t - VREME PREKO KOG JE USTANOVLJENO Leq
- L(t) - NIVO BUKE KAO FUNKCIJA VREMENA

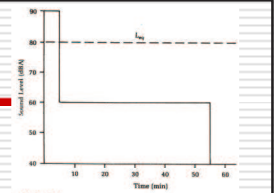


FIGURE 7-25 Graphical illustration of L_{eq} computation given in Example 7-5. (Courtesy of B & K Instruments, Inc., Cleveland.)

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{t} \int_0^t 10^{L(t)/10} dt$$

over which L_{eq} is determined e varying noise level in dBA
ing, there is no well-defined relation discrete samples of $L(t)$ have to be t

$$L_{eq} = 10 \log \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} t_i$$

IZVORI BUKE U GRADOVIMA I KRITERIJUMI ZA NJENO OGRANIČAVANJE

Buka u životnoj sredini- komunalna buka

- Buka u kući
- Saobraćajna buka
- Buka industrijskih prostorija
- Ulična buka

BUKA OD TRANSPORTA: Avio saobraćaj veza izloženosti buci i reakcije "prijemnika"

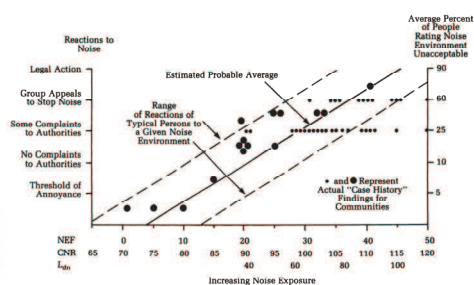
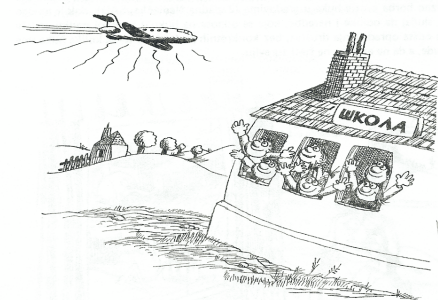


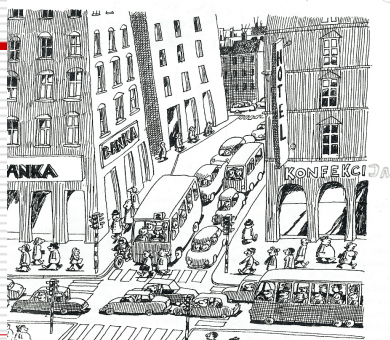
FIGURE 7-26 Relationship between exposure to aircraft noise and annoyance. (Source: K. D. Kryter, G. Jansen, D. Parker, H. O. Parrack, G. Thieson, and H. L. William, *Non-Auditory Effects of Noise*, Report of WG-63, National Academy of Science-National Research Council Committee on Hearing, Bioacoustics, and Biomechanics, Washington, DC: U.S. GPO, 1971.)

U radnoj sredini



Slika 1.14. — Buka ometa rad u školi.

Saobraćaj:



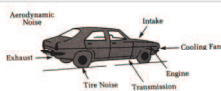
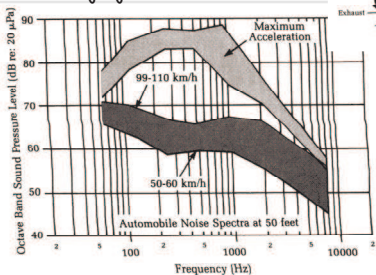
Slika 1.1. – Saobraćajna buka prati čoveka i na radu i na odmoru.

BUKA OD VOZILA NA AUTOPUTEVIMA

- OD GUMA (ZA BRZINE VEĆE OD 80 KM/H)
- OD AUSPUHA (ZA BRZINE MANJE OD 55 KM/H)
- DIZEL KAMIONI ZA 8 - 10 dB BUČNIJI OD BENZINACA
- OD MOTORA
- FREKVENCIJA BUKE NIJE ISTA ZA DVOTAKTNE I ČETVOROTAKTNE MOTORE

SPEKTAR AUTOMOBILSKE BUKE

Na rastojanju od 17 m



BUKA OD AUTOMOBILA

Na rastojanju od 15 m

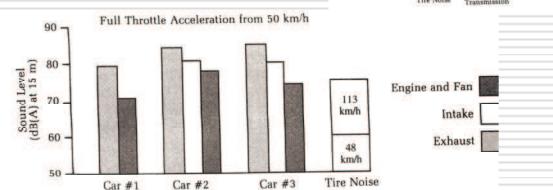


FIGURE 7-27
Typical noise spectra of automobiles. (Source: U.S. Environmental Protection Agency, *Transportation Noise*, Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1971.)

OBJEKTIVNA I SUBJEKTIVNA OCENA BUKE - INDEKS SAOBRAĆAJNE BUKE

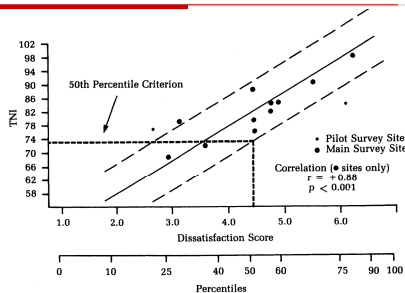
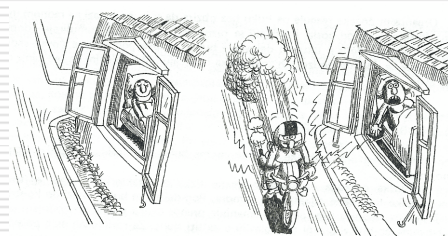


FIGURE 7-28
Annoyance as a function of the Traffic Noise Index (TNI). (Source: Alexandre, Barde, Lamure, and Langdon, *Road Traffic Noise*, Copyright 1975 by Applied Science Publishers.

Spavanje :



Slika 1.15. – Noćni mir ne treba remetiti.

Buka u radnoj sredini

- Buka orudja na radnom mestu
- Buka orudja sa drugih radnih mesta
- Buka neproizvodnih izvora (ventilatori, klima uredjaji, ulični saobraćaj itd.)

U kući



Slika 1.12. — Buka ugrađena ljudu i van radnog mesta.

BUKA OD GRADJENJA

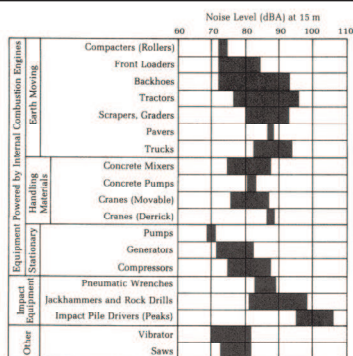


FIGURE 7-20
Range of sound levels from various types of construction equipment (based on limited available data samples). (Source: Report to the President and Congress on Noise, 1972.)

PROBLEM SA KOMUNIKACIJOM NA RADNOM MESTU:

- Rastojanje do slušaoca i buka u pozadini
- Primer: Ako je nivo buke u pozadini 73 dB, na rastojanju 3m moguća komunikacija, na 6m, otežana.

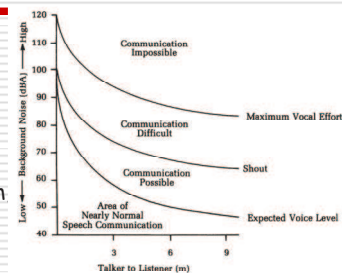


FIGURE 7-20
Quality of speech communication as a function of sound level and distance. (Source: James D. Miller, Effects of Noise on People (U.S. Environmental Protection Agency Publication No. NTID 300.7), Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1971.)

NAMENA ZEMLJIŠTA I STANDARDI FWHA

TABLE 7-3
FWHA noise standards for new construction

Land use category	Exterior design noise level dBA ^a		Description of land use category
	L_{eq}	L_{10}	
A	57	60	Tracts of lands in which serenity and quiet are of extraordinary significance and serve an important public need, and where the preservation of these qualities is essential if the area is to continue to serve its intended purpose. For example, such areas could include amphitheatres, particular parks or portions of parks, or open spaces, which are dedicated or recognized by appropriate local officials for activities requiring special qualities of serenity and quiet.
B	67	70	Residences, motels, hotels, public meeting rooms, schools, churches, libraries, hospitals, picnic areas, recreation areas, playgrounds, active sports areas, and parks.
C	72	75	Developed lands, properties, or activities not included in categories A and B above.
D	Unlimited	Unlimited	Undeveloped lands
E	52 (Interior)	55 (Interior)	Public meeting rooms, schools, churches, libraries, hospitals, and other such public buildings.

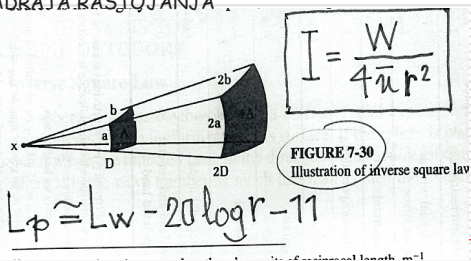
^aEither L_{eq} or L_{10} may be used, but not both. The levels are to be based on a one-hour sample.

Dopušteni nivoi buke po zonama namene

Zone namene	Dopušteni nivoi L_{eq}	
	Dan	Noć
I Područje za odmor i rekreaciju, bolnice, veliki parkovi	50	40
II Turistička područja, mala i seoska naselja, kampovi i školske zone	50	45
III Čisto stambena područja	55	45
IV Poslovno-stambena područja, dečja igrališta	60	50
V Gradski centar, zone duž autoputeva, magistralnih i gradskih saobraćajnica	65	55
VI Industrijska zona	70	70

PROSTIRANJE ZVUKA U PRIRODI

ZAKON OBRNUTO PROPORCIONALNOG KVADRAJA RASIPJANJA .



UTICAJ ATMOSFERSKIH USLOVA:

□ APSORPCIONA MOĆ VAZDUHA JE FUNKCIJA :

- TEMPERATURE
- VLAŽNOSTI
- VISKOZITETA
- PRITISKA
- BRZINE I PRAVCA VETRA

Analiza komunalne buke

- Gradski zavod za zaštitu zdravlja u Beogradu, sistematski meri nivo komunalne buke na 25 odabranih mesta
- Merna mesta svake godine se povećavaju
- Na sve dobijene vrednosti nivoa buke primenjen je važeći JUS U.J6.205 iz 1992 god. koji propisuje dopuštene nivoe u pojedinim zonama

RED. BROJ	ADRESA	ZONA
1	29. novembra 109	Pored prometnih saobraćajnica
2	Blagoja Parovića 63	Stambena
3	Bulevar revolucije 69	Pored prometnih saobraćajnica
4	Dalmatinska 1	Gradski centar
5	Jula Rodića 7	Gradski centar
6	Jurja Gagarina 193	Stambena
7	Kraljice Jelene	Industrijska zona
8	Krivošića 5	Pored prometnih saobraćajnica
9	Narodnog fronta 62	Gradski centar
10	Nemanjina 2	Gradski centar
11	Ustanička 127	Stambena
12	Uzun Mirkova 2	Gradski centar
13	Vojvode Bogdana 1	Industrijska zona
14	Vojvode Mišića 35	Pored prometnih saobraćajnica
15	Vojvode Stepe 310	Pored prometnih saobraćajnica
16	Glavina 14, Zemun	Pored prometnih saobraćajnica
17	Gandijeva 77	Industrijska zona
18	Radujke Lakić 15	Stambena
19	Pohorska 4	Stambena
20	Goce Delića 2	Pored prometnih saobraćajnica
21	Arsenija Čamojevića 119	Pored prometnih saobraćajnica
22	Borisa, Bele Bartoka 26	Stambena
23	Karadordjeva 23	Pored prometnih saobraćajnica
24	Ugostini centar, Vilegradska 26	Stambena
25	Ugrinovska 147	Stambena

KONTROLA BUKE :

- KONCEPT " PUT OD IZVORA DO PRIJEMNIKA "
- PROBLEM ZAŠTITE OD BUKE IMA 3 aspekta:
 - 1) IDENTIFIKUJEMO IZVOR BUKE
 - 2) PUT KOJIM TALAS DOLAZI, I
 - 3) KAKO UTIČE NA PRIJEMNIK, T.J. SLUŠA OČA.

REŠENJE PROBLEMA :

- 1) MODIFIKUJEMO IZVOR TAKO DA SE REDUKUJE NIVO BUKE KOJU EMITUJE
- 2) MENJAMO ILI KONTROLIŠEMO PUT KOJIM SE ZVUK PRENOSI (BARIJERE)
- 3) SNABDEVAMO PRIJEMNIKE (LJUDE) PERSONALNOM ZAŠTITNOM OPREMOM

REŠENJE PROBLEMA: IZVOR

Smanji udarne sile kod mašina sa pokretnim delovima

Smanji brzine i pritiske (ventilacija, vodovod i kanalizacija)

Smanji otpore trenja (poliranje površina, balansiranje rotirajućih delova, brzine vode u cevima u zidovima)

Izoluj i priguši vibrirajuće elemente.

Postavi absorbere i prigušivače.

Izolacija izvora buke

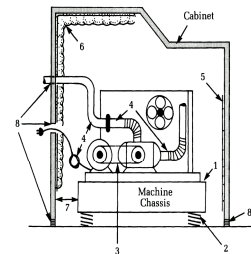
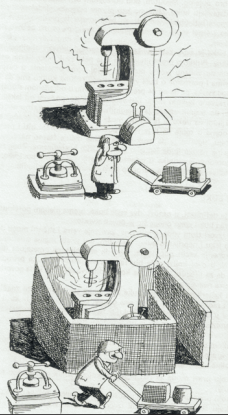


FIGURE 7-41
Examples of vibration isolation.

Code:

KONTROLA BUKE :



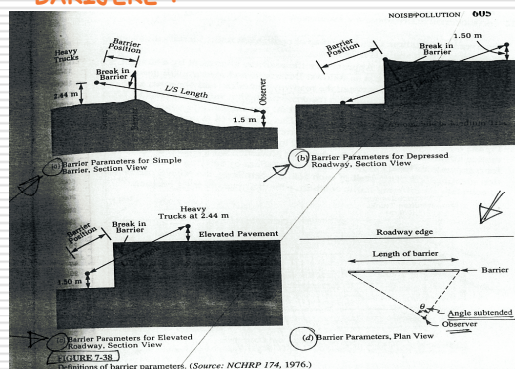
REŠENJE PROBLEMA: PUT

Izmeštanje (dupliranje rastojanja od tačkastog izvora smanji nivo zvučnog pritiska za 6 dB; od linijskog, 3 dB; treba smanjiti za 10 dB da bi se i glasnost prepolovila).

Koristiti absorbujuće materijale, prirodne i veštačke.

Postavljati prepreke i panele

DEFINISANJE PARAMETARA BARIJERE :



REŠENJE PROBLEMA: PUT

Efikasnost barijera:

Smanjenje u dB	Uklanjanje energije u (%)	Smanjenje glasnosti (puta)
3	50	1.2
6	75	1.5
10	90	2
20	99	4
30	99.9	8

Da se smanji nivo zvučnog pritiska za 15 dB, veoma teško!

Sistemi zvučne izolacije



- Postavljanje ograda pogodnih za smanjivanje prekomerne buke sa pasivnim paravanima
- U zavisnosti od vrste materijala postoji nekoliko tipova zvučne barijere
- Dve grupe:
 1. Zvučna izolacija zajedno sa apsorpcijom
 2. Samo zvučna izolacija
- Zaštita od buke koja se obezbeđuje ovim barijerama je na nivoima 10-20dB

Paneli



- Paneli koji su sa spoljne strane od laminatnog drveta a iznutra obloženi vodootpornom staklenom vunom za zvučnu izolaciju
- Paneli od čeličnih pregrada duž celih deonica puteva (autoputevi, kružni putevi)
- Postavljeni blizu industrijskih ili železničkih postrojenja u gradovima
- Preusmeravanje sa drumskog na železnički saobraćaj

Prirodni sistemi zvučne izolacije



- Zeleni zasadi su jedno od pouzdanih sredstava zaštite od buke smanjujući nivo buke 5-10%
- Značajni efekti -pravi izbor vrsta i njihov raspored oko izvora buke
- Primena sitnolisnog drveća
- *Viburnum rhytiphyllum* -grm magarećih ušiju
- ✓ Ima zvanično priznanje za zaštitu od buke i to tokom cele godine
- ✓ Listovi imaju sposobnost da upijaju zvukove

REŠENJE PROBLEMA: PRIJEMNIK

Tek kada sve ostalo omane!

Promena radnog procesa.
Ograničenje vremena izlaganja.

Direktna zaštita ušiju (čepovima, slušalicama, šlemovima); moguće smanjenje nivoa buke za 15 do 35 dB

Moderni sistem za uništavanje sluha je mali FM/MP3 player sa slušalicama (kada okolina čuje zvuk - preko 90-95 dB)

Zakonska regulativa i odbrana od buke

- Zakoni koji se odnose na regulisanje granica maksimalnog nivoa zvuka, mere nadgledanja i merenja koja trebaju da se primene
- Vrste propisa:
 - prvi daju uputstva za smanjenje buke
 - drugi odredjuju dozvoljene vrednosti
- Propisi:
 - vid odbrane od buke
 - ispituju se mašine, instalacije, vozila...
- Kod nas - zakon o zaštiti od buke (radna verzija)
 - regulise mere zaštite od buke na kopnu, vodi i vazduhu, kao i nadzor
 - donosi:
 - Ministarstvo nadležno za poslove zdravlja
 - Ministarstvo rada i socijalnog staranja
 - Ministarstvo za zaštitu životne sredine i uređenje prostora

ZAHVALNOST

Deo materijala preuzet je i prilagođen iz knjige:

Introduction to Environmental Engineering

Davis i Cornwell, 1998, McGraw Hill

Poglavlje: Noise Pollution