



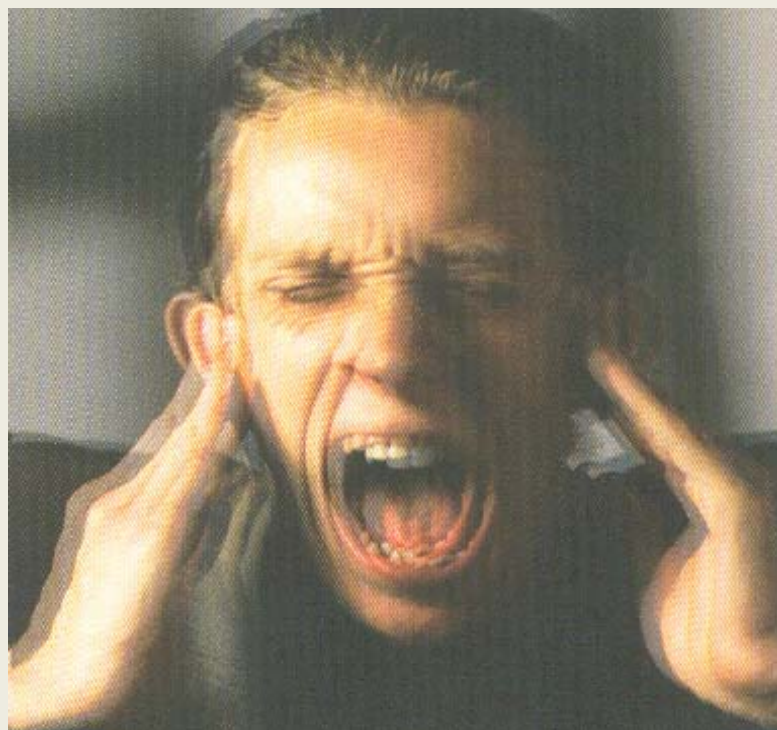
Akustična ugodnost prostora

Zoran Veršić

Prof. dr.sc. Zoran Veršić, dipl.ing.arh., Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu

*"Doći će vrijeme kada će **buka** postati jedan od najvećih neprijatelja čovjeka te će se protiv nje morati boriti kao što se borio protiv kuge i kolere."*

Robert Koch, 1910. god.



Zdravlje i ugodnost

Prema definiciji Svjetske zdravstvene organizacije (WHO)

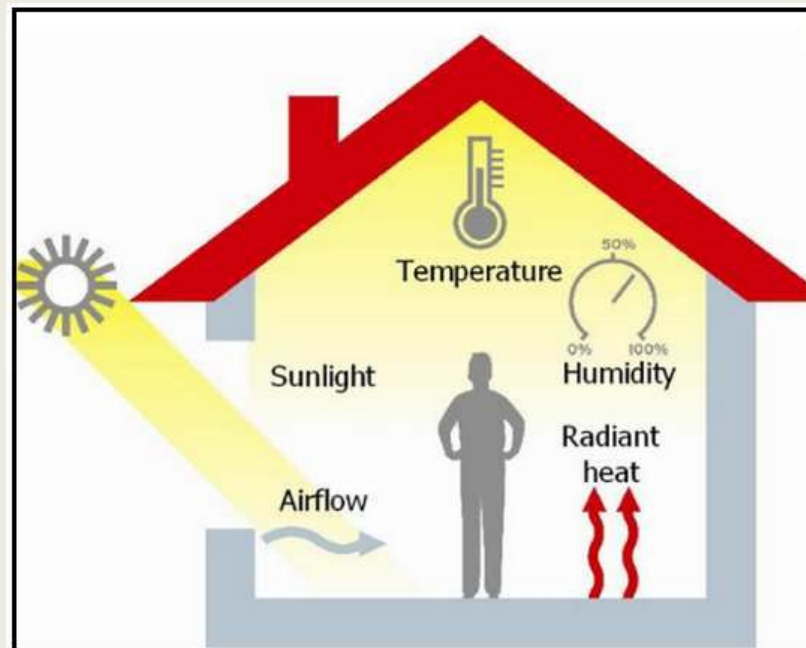
zdravlje je “stanje potpune tjelesne, duhovne i socijalne ugone”,
a pod time se ne misli samo na odsustvo bolesti.



Na temelju te definicije se pod zdravstvenim djelovanjem ne podrazumijeva samo tjelesna povreda zdravlja, nego i ometena subjektivna ugodnost, koje dugotrajno također mogu dovesti do tjelesne povrede zdravlja.

Unutarnja uvjeti ugodnosti prostora

Unutarnji uvjeti ugodnosti prostora podrazumijevaju optimalnu temperaturu i vlažnost zraka, brzinu strujanja zraka, količinu zagađivača (prašine i hlapljivih spojeva) u zraku, osunčanje i prirodno osvjetljenje, **zaštitu od buke i akustičku kvalitetu prostorija.**



Akustična ugodnost

Akustička ugodnost definira se kao psihofizičko stanje u kojem osoba, u određenom okruženju, ima osjećaj blagostanja u odnosu na određenu aktivnost koju radi.

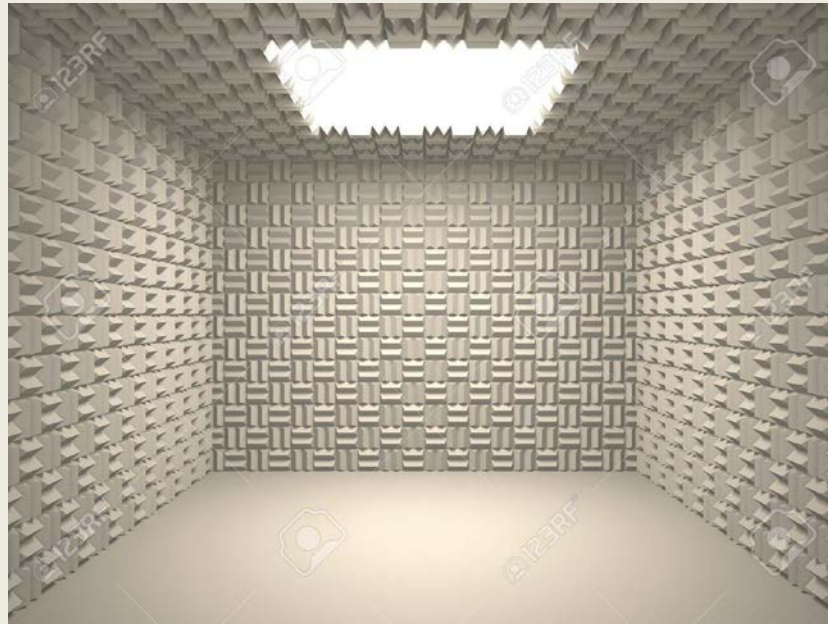


Akustična ugodnost je **ona u kojoj buka nije neugodna ili štetna** za ljudski odmor, rad, komunikaciju ili zdravlje.

Akustična ugodnost povezana je s bukom zagađenja.

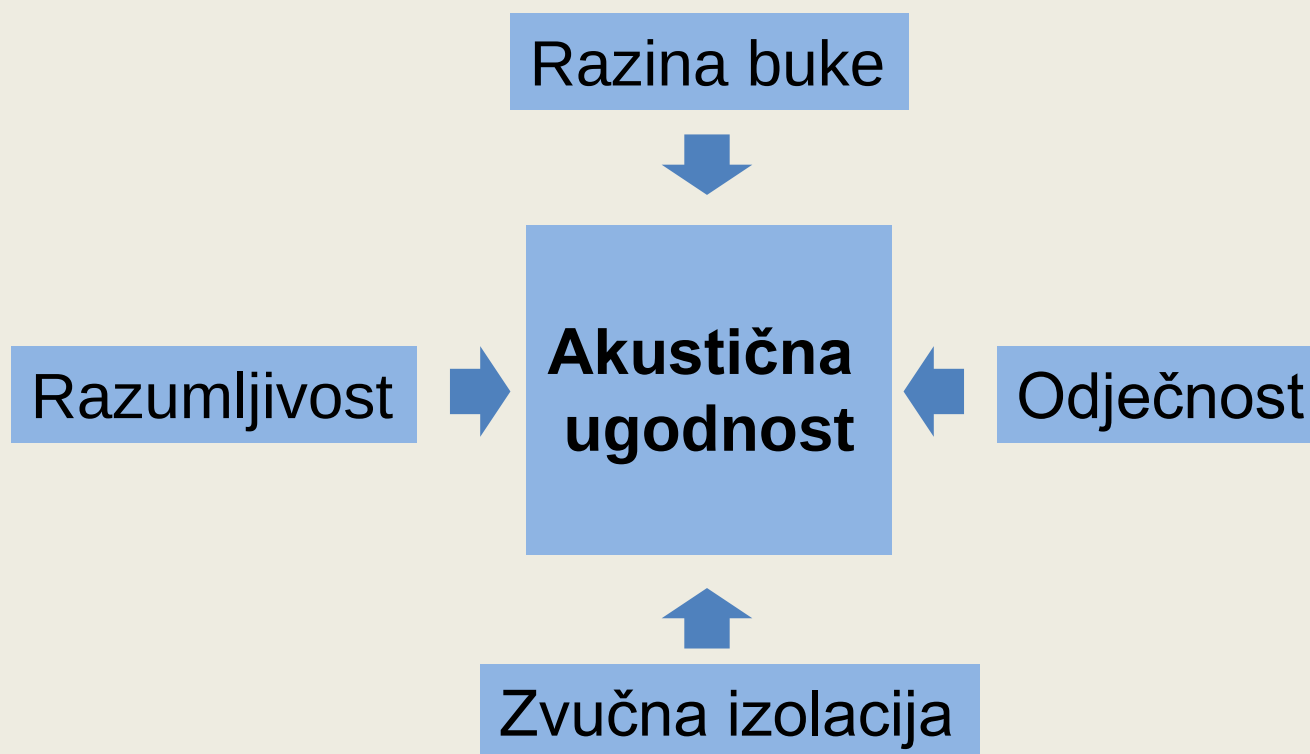
Apsolutna tišina - često uzrokuje snažnu nelagodu kod ljudi.

Objašnjenje ovog fenomena vrlo je jednostavno, jer stanje potpune tišine ne postoji.



To je vjerojatno povezano s izvornim mehanizmima samoobrane zbog kojih osjećamo stanje apsolutne tišine kao znak neposredne prijetnje.

Akustična ugodnost



Buka

Bukom nazivamo svaki zvuk kojeg smatramo neželjenim, neugodnim ili ometajućim. Razlika između buke i zvuka je dakle sasvim subjektivna.

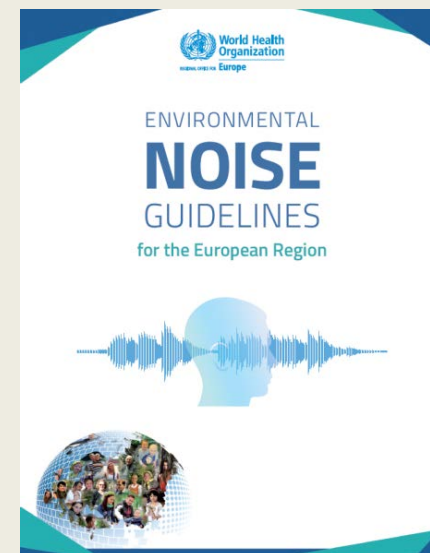
Gruba procjena mogućeg djelovanja buke na čovjeka:

- **do 60 dB(A)** samo psihološko djelovanje (onemogućava koncentraciju, smanjuje pažnju, remeti odmor i san, povećava razdražljivost, nervira);
- **od 60 do 85 dB(A)** jako psihološko djelovanje te fiziološki efekti (povećava se broj otkucaja srca, raste krvni tlak, modificira se ritam disanja, itd.);
- **preko 85 dB(A)** pored jakih psiholoških i fizioloških efekata još i oštećenje sluha.



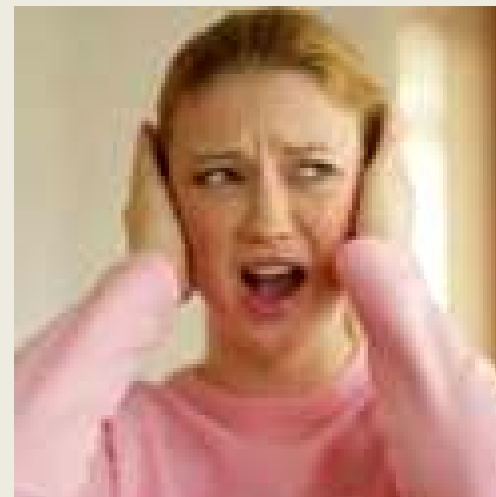
Podaci Europske unije

- Oko 80 mil. stanovnika EU (20%) živi i radi u zonama u kojima je razina buke viša od 65 dB(A).
- Oko 170 mil. stanovnika EU živi u tzv. „sivim područjima“ u kojima su razine buke takve da izazivaju neugodu tijekom dana (razina buke između 55 i 65 dB(A)).
- Od svih izvora buke najveći postotak otpada na buku prometa (oko 81%).



Buka i čovjek

- Buka je svakodnevni stresogeni faktor okoliša.
- Stalna opasnost po zdravlje čovjeka (dan, noć, kod kuće, na poslu, na ulici,).
- Čovjek evolutivno nije prilagođen stalnoj izloženosti jakoj buci, niti je biološki na nju strukturiran.
- Na buku nema navikavanja.
- Čovjek ne podnosi apsolutnu tišinu!
- U zvučnoizoliranoj komori čovjek čuje svoj dah i puls.



Djelovanje buke na organizam čovjeka

Djelovanje na organe i tjelesne sustave

(živčani sustav, krvožilni sustav, hormonski sustav, probavni trakt)

Utjecaj na čovjekovo funkcioniranje i obavljanje posla

(umni rad, koncentracija, pozornost, zapažanje zvučnih signala, govorno sporazumijevanje, odmor, san)



Buka i bolesti srca

Buka može povisiti krvni tlak, ubrzati puls, povisiti adrenalin.

Buka može pogoršati srčane i cirkulatorne bolesti.

Do danas nije dokazano direktno mjerljivo oštećenje srca izazvano bukom, no postoje čvrsti dokazi da postoji povezanost bolesti srca i buke.

Djeca eksponirana buci, koja žive ili pohađaju školu u blizini aerodroma, imaju viši tlak od djece koja žive u tišim predjelima.

Srčani bolesnici ne smiju biti eksponirani jačoj buci.



Druge tjelesne reakcije na buku

Naše tijelo automatski i nesvjesno reagira na iznenadan i glasan zvuk, kao na opasnost.

Porast krvnog tlaka, ubrzan puls, ubrzano disanje, mišićna napetost, pojačan dotok hormona u krvi, znojenje.

Bolesti izazvane stresom zbog buke: astma, povišeni krvni tlak, glavobolja, kolitis.

Smanjena otpornost prema infekcijama.

Odmor i relaksacija od buke, postavljaju se kao apsolutan zahtjev da bi se održalo mentalno i fizičko zdravlje, što je u uvjetima suvremenog života teško postići.



Buka i nerođena djeca

Direktan utjecaj buke na fetus (promjena srčanog ritma, pojačana motorna aktivnost).

Utjecaj stresa izazvanog bukom prenosi se s majke na fetus.

Japanska studija provedena na 1000 novorođene djece ukazuje na nisku porođajnu težinu kod majki koje su živjele u bučnoj okolini.

Nije moguće reći koja je jačina buke (okolišne ili industrijske) opasna za fetus, i stoga je potreban oprez.



Utjecaj buke na djecu

Nivoi buke koji ne ometaju percepciju govora kod odraslih, mogu značajno ometati percepciju govora kod djece i razvoj govora.

Buka može usporiti razvoj govora kod djece.

Teže učenje govora u bučnoj okolini, otežano razlikovanje nekih glasova (npr. V i B - **v**ery, **b**erry).

U procesu učenja govora, zbog buke dolazi do iskrivljenog govora ispuštanjem dijelova riječi, posebno završetka riječi.

Buka otežava proces učenja i čitanja.

Problemi s razvijanjem sposobnosti pažljivog slušanja.



Utjecaj buke na život i rad

Buka ometa govornu komunikaciju i društvene odnose.

Buka umanjuje djelotvornost rada.

Ljudi koji žive u bučnim predjelima primjenjuju stil života lišen komunikacije i društvenih međuodnosa (prestaju razgovarati, mijenjaju sadržaj razgovora i govore samo onda kada je to apsolutno nužno, te se često moraju ponavljati).

Buka ometa pažnju, iskrivljuje percepciju i produžava rad.

Učinci buke na poslu: tjelesna iscrpljenost, glavobolja, odsutnost duha, psihička napetost.

Veća je vjerojatnost da će buka smanjiti točnost rada nego ukupnu količinu rada.



Poremećaj sna

San je obnavljajući dio života, i kao takav, bitan je za dobro zdravlje.

Buka utječe na kvalitetu i kvantitetu sna.

Poremećaj sna zbog buke negativno utječe na radnu sposobnost i zdravlje.

Uz buku je teško zaspati, dovodi do buđenja i do prijelaza iz dubokog u plitki san (što je češća pojava nego buđenje).



Mentalno zdravlje i buka

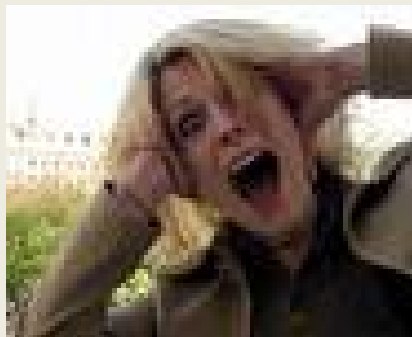
Buka može izazvati ekstremne emocije i ponašanje.

Buka sama po sebi ne izaziva mentalnu bolest, ali stres izazvan bukom pogoršava već postojeći emocionalni poremećaj.

Buka na radnom mjestu povećava "napetost" među zaposlenicima i potencira konfliktne situacije.

Rezultati studija:

- ljudi izloženi buci manje su spremni pomagati jedni drugima;
- veći prijem pacijenata na psihijatriju među ljudima koji žive u blizini aerodroma.



Vibroakustička bolest (Vibroacoustic Disease – VAD) – utjecaj infrazvuka

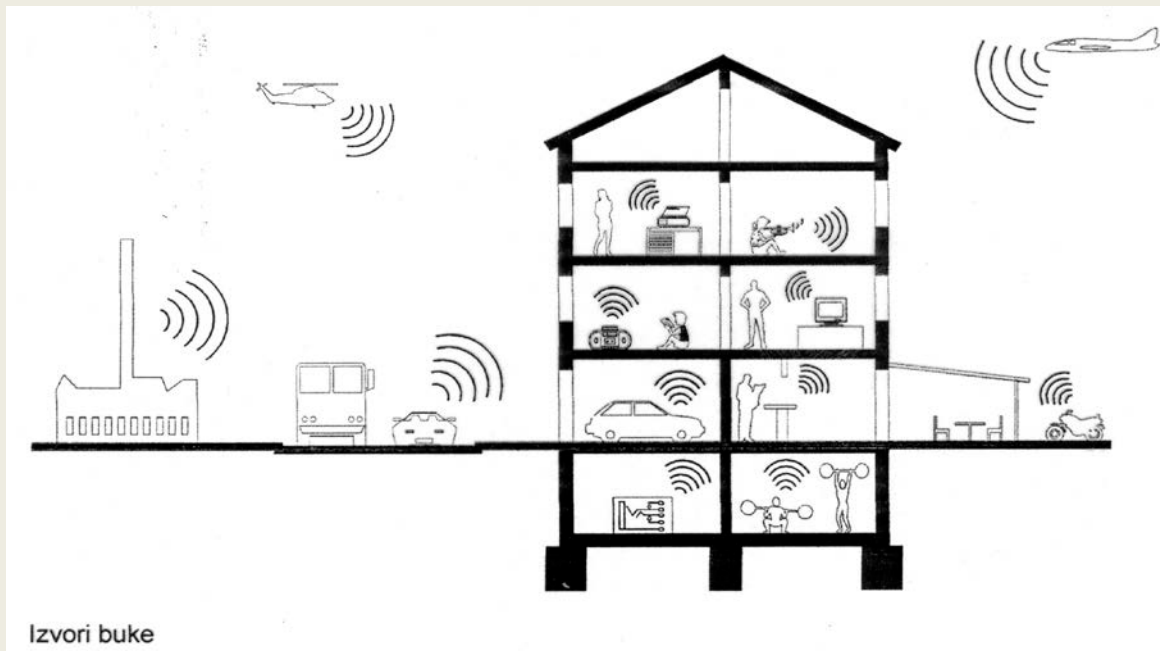
Kronična, progresivna i kumulativna bolest koja nastaje kao posljedica dugotrajne izloženosti zvuku niskih frekvencija (ispod 100 Hz) i infrazvuka ukoliko je intenzitet bio veći od 110 dB(A). Osobito su opasne frekvencije od 1 do 7 Hz.

Posljedice: poremećaji u ponašanju, strah, problemi vizualne percepcije, poremećaji ravnoteže, epilepsija, moždani udar, neurološka oštećenja, srčani infarkt, suicid,



Vrste buke

1. Buka koja se stvara u prostoriji u kojoj smeta.
2. Zračna buka koja se prenosi izvana ili iz druge prostorije u prostoriju u kojoj smeta.
3. Vibracijska buka, koja se u prostoriji u kojoj smeta prenosi preko građevinskih konstrukcija.



Koje će se vrijednosti razine buke ocijeniti kao prihvatljive ovisi o nizu faktora:

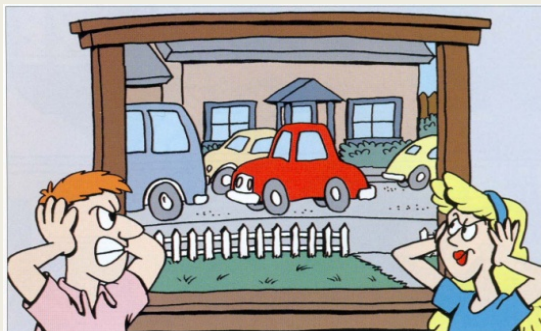
- o lokaciji na kojoj se buka pojavljuje,
- o namjeni prostora,
- o dobu dana kada se buka javlja, itd.



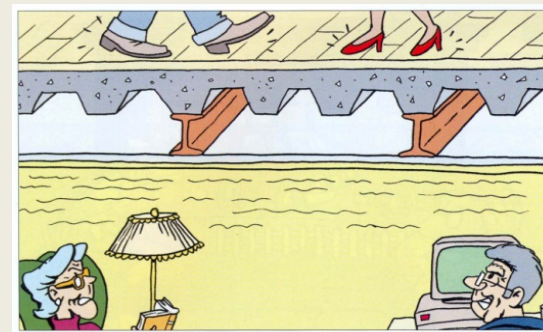
Source: National Danish Consumer Agency

Zvuk / buka

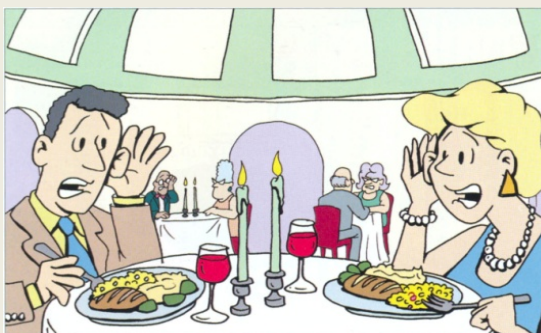
1. Zaštita od buke



2. Zvučna izolacija pregrada



3. Akustika prostora

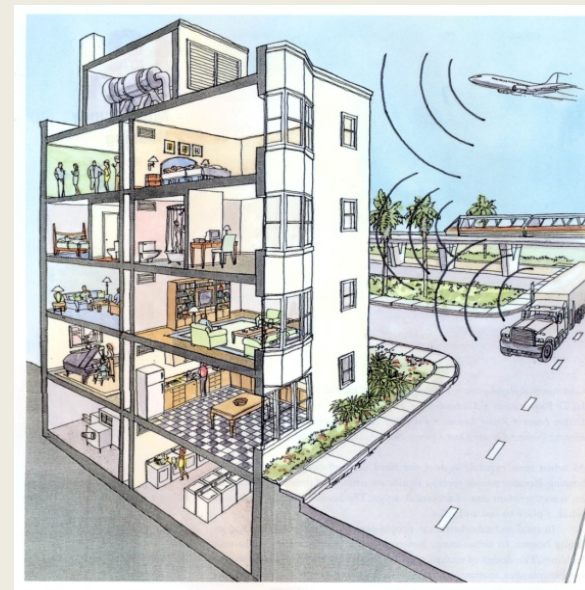


Zvuk / buka

1. Zaštita od buke

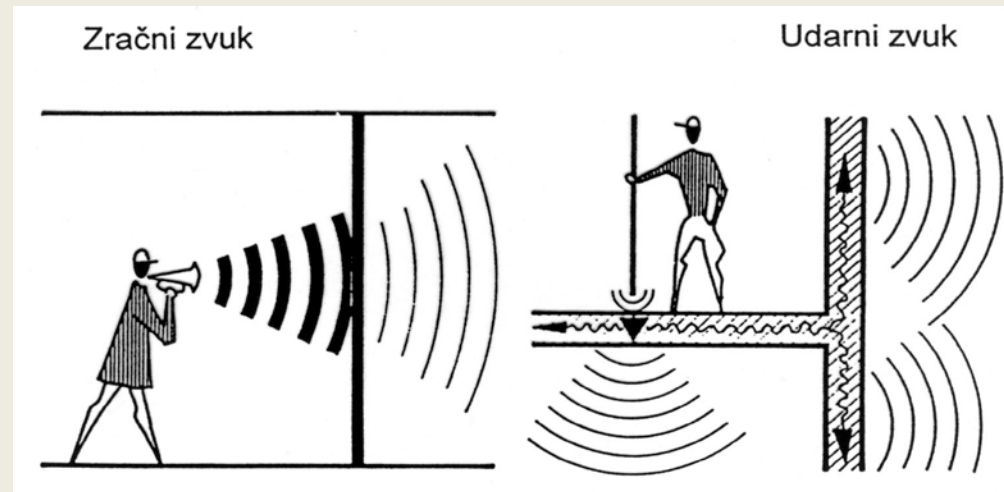
(Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave (NN 145/04))

- zaštita od vanjske buke,
- zaštita od zračne i udarne buke unutar zgrade,
- zaštita od buke ugrađene opreme u zgradi,
- zaštita okoliša od buke za zgradu vezanih izvora buke,
- zaštita od buke povećane odječnosti.



2. Zvučna izolacija pregrada

- minimalne vrijednosti **zvučne izolacije** i maksimalne vrijednosti **nivoa zvuka udara**



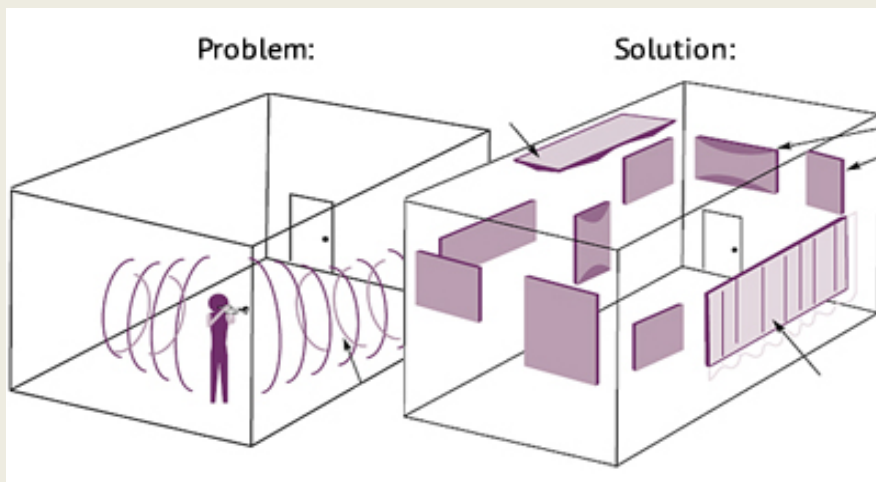
Normom **HRN U.J6.201/89*** propisane minimalne vrijednosti zvučne izolacije R_w i maksimalne vrijednosti razine udarnog zvuka L_w ovise o **namjeni zgrade**

**Ova norma je povučena - prema pravnom tumačenju koristi se do izlaska norme ili tehničkog propisa koji će je zamijeniti !*

Zvuk / buka

3. Akustika prostora

- kvaliteta slušanja zvuka u prostoru (odječnost, jasnoća, glasnoća, razumljivost, ...)



<http://luisematos.pbworks.com>



<https://www.oceedesign.com/acousticseducation>

Zaštita od vanjske buke

Na lokaciji planirane gradnje potrebno je izmjeriti postojeću razinu buke ili koristiti podatke iz karte buke.

- buka industrije i zanatstva,
- buka prometa (cestovnog, tračničkog, zračnog),
- buka drugih izvora.

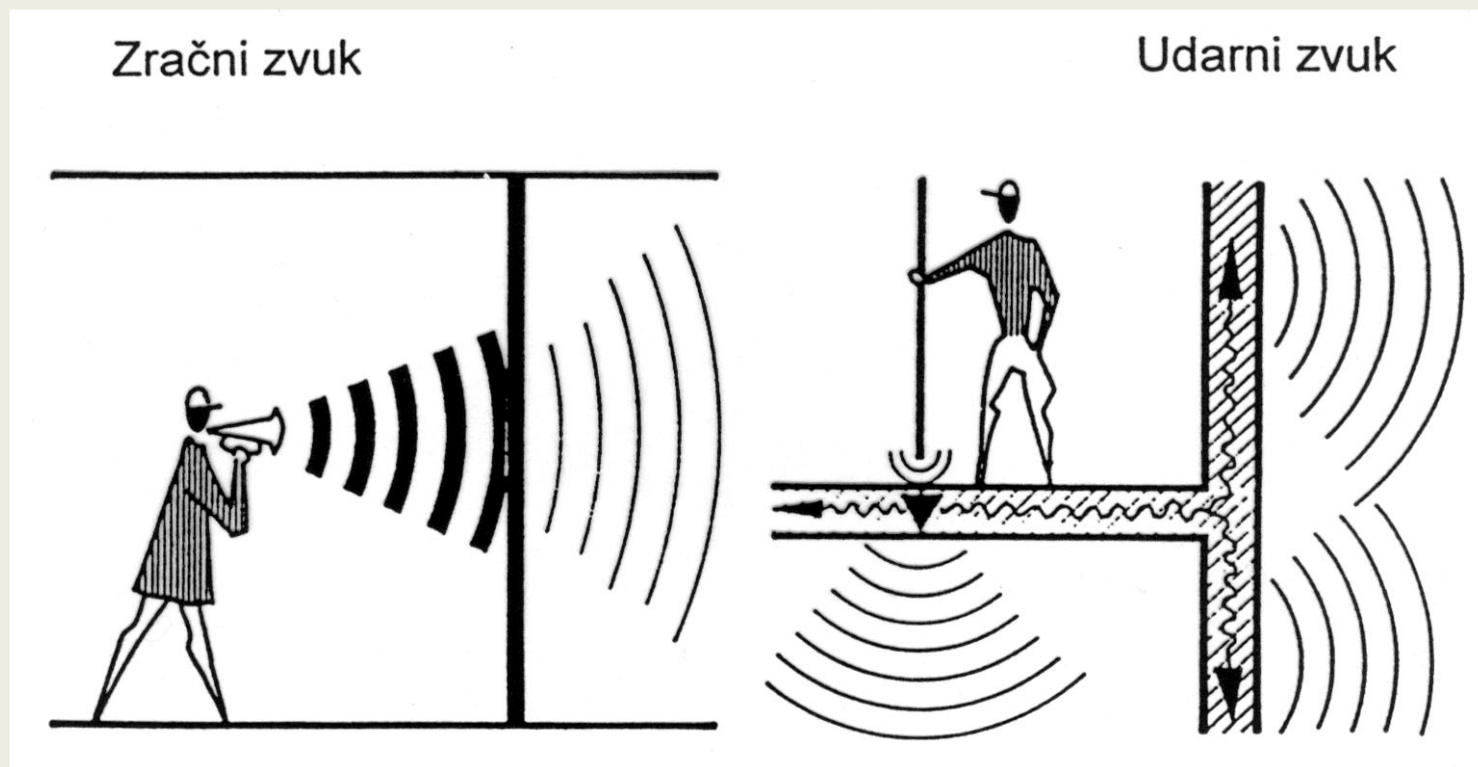
Dokazati da nivo buke u zatvorenim boravišnim prostorima odgovara vrijednostima propisanim Pravilnikom o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave (NN br. 145/04).



Zaštita od buke prometnica

Zaštita od zračne i udarne buke unutar zgrade

Minimalne vrijednosti zvučne izolacije R_w i maksimalne vrijednosti nivoa zvuka udara L_w propisane su normom HRN U.J6.201/89.

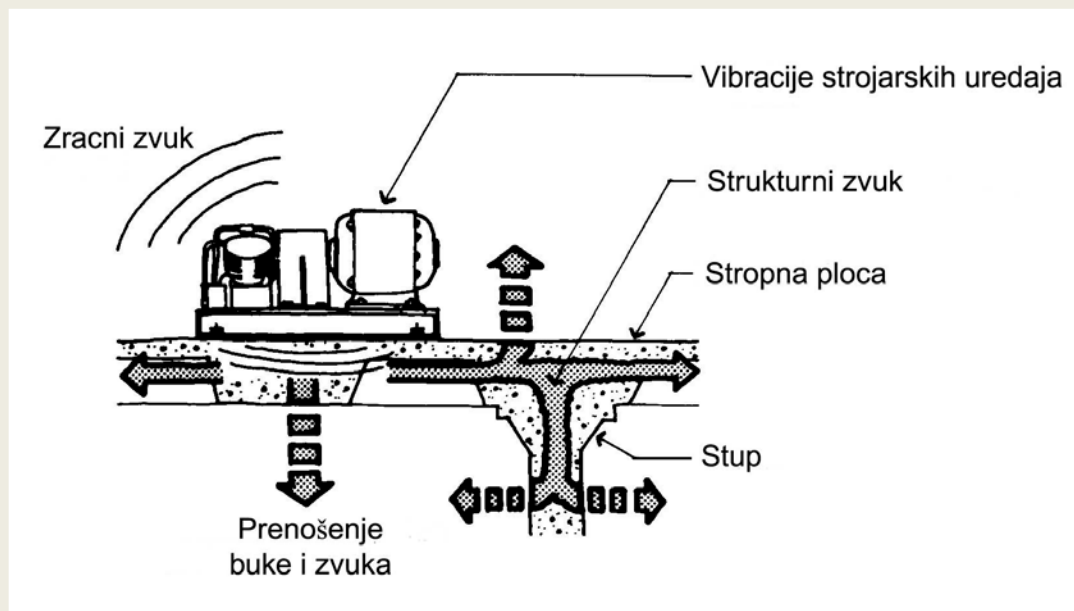


Zaštita od buke ugrađene opreme i uređaja u zgradi

Servisni uređaji i oprema u zgradi: uređaji i oprema za dovod i odvod vode, uređaji za zagrijavanje, ventilaciju, klimatizaciju, dizala, vrata na motorni pogon,....

Ugrađeni elementi koji proizvode buku i vibracije moraju biti projektirani i ugrađeni na način da ne ometaju bukom boravišne prostore zgrade iznad dopuštenih vrijednosti.

Buka ovih uređaja ovisi o karakteristikama samog uređaja ali i o njihovoj pravilnoj izvedbi i ugradnji.



Zaštita okoliša od buke za zgradu vezanih izvora buke

Strojevi i uređaji u/n zgradi ili u vezi sa zgradom, kao i predviđena djelatnost u poslovnim i proizvodnim zgradama ne smije ometati bukom ljude u boravišnim prostorijama u samoj zgradi i u okolnim zgradama.



Zaštita od buke povećane odječnosti

Zaštitu od buke koja nastaje zbog prekomjerne odječnosti, a da bi se osigurala dovoljna razumljivost govora, treba provoditi npr. u radnim prostorijama svih vrsta i veličina, uredskim prostorijama, prostorijama za odmor, predavaonicama i hodnicima obrazovnih institucija kao i prostorijama dječjih vrtića, gimnastičkim dvoranama, sportskim dvoranama, zatvorenim bazenima, itd.

Korištenje zvuko-apsorbirajućih obloga kako bi se postiglo odgovarajuće vrijeme odjeka prostorije ovisi o njenoj namjeni.



Pregled najvažnijih komponenata troškova ekonomskog djelovanja
uvjetovanih bukom



Izvor: BUWAL, 2002.

Zakonska regulativa

U Republici Hrvatskoj postoji više dokumenata, zakona i pravilnika kojima se uređuju pitanja zaštite od buke:

- Nacionalna strategija zaštite okoliša i Nacionalni plan djelovanja na okoliš (NN 46/02);
- Zakon o zaštiti okoliša (NN 80/13, 153/13, 118/18);
- Zakon o zaštiti od buke (NN 30/09, 55/13, 153/13, 41/16, 114/18, 14/21);
- Pravilnik o načinu izrade i sadržaju karata buke i akcijskih planova te o načinu izračuna dopuštenih indikatora buke (NN 75/09, 60/16);
- Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave (NN 145/04);
- Pravilnik o djelatnostima za koje je potrebno utvrditi provedbu mjera za zaštitu od buke (NN 91/07);
- Pravilnik o stručnom ispitu iz područja zaštite od buke (NN 91/07);
- Pravilnik o uvjetima glede prostora, opreme i zaposlenika pravnih osoba koje obavljaju stručne poslove zaštite od buke (NN 91/07, 117/18);
- Pravilnik o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu (NN 46/08).
- Pravilnik o mjerama zaštite od buke izvora na otvorenom prostoru (NN 156/18)



(HRN U.J6.201/89)

- Ova norma je povučena - prema pravnom tumačenju koristi se do izlaska norme ili tehničkog propisa koji će je zamijeniti !*

- proračunske metode, zvučnoizolacijske karakteristike različnih tipova konstrukcija / pregrada,

HZN - Hrvatski zavod za norme / TO 43 – Akustika

Područje rada: Priprema norma u području akustike, uključujući postupke mjerenja akustičkih pojava, njihova nastanka, prijenosa i prijama te svih vidova njihova učinka na čovjeka i njegov okoliš. Ne obuhvaća: elektroakustiku i primjenu specifikacija značajki mjerila u akustičke svrhe.

- **Utjecaj buke na ljude** (oko 38 normi)

- **Akustika i akustička mjerenja**

 - Akustička mjerenja i smanjenje buke općenito (oko 34 norme)

 - Buka koju proizvode strojevi i oprema (oko 45 normi)

 - Buka koju proizvode prijevozna sredstva (oko 13 normi)

 - Elektroakustika (1 norma)

- **Zaštita zgrada i zaštita u zgradama**

 - Akustika u zgradama. Zvučna izolacija (oko 33 normi)



HZN / TO 43 – Akustika / Akustika u zgradarstvu

- **HRN EN ISO 140** - Akustika - Mjerenje zvučne izolacije zgrada i građevnih elemenata (više dijelova) - **zamijenjeno s ISO 10140**
- **HRN EN ISO 354** - Akustika - Mjerenje zvučne apsorpcije u odječnoj prostoriji
- **HRN EN ISO 717** - Akustika - vrednovanje zvučne izolacije zgrada i građevinskih elemenata
 1. dio: Izolacija od zračnog zvuka
 2. dio: Izolacija od udarnog zvuka
- **HRN EN ISO 3382** - Akustika - Mjerenje vremena odjeka u prostorijama u odnosu na ostale akustičke pokazatelje
- **HRN EN ISO 7235** - Akustika - Laboratorijski mjerni postupci za zvučne prigušivače u kanalima i završnim jedinicama kanala - Uneseno prigušenje, šum strujanja i ukupni pad tlaka



HZN / TO 43 – Akustika / Akustika u zgradarstvu

- **HRN EN ISO 9052** - Akustika - Određivanje dinamičke krutosti -
1. dio: Materijali koji se koriste u stanovima ispod plivajućih podova
- **HRN EN ISO 10052** - Akustika - Terenska mjerenja zračne i udarne zvučne izolacije
i zvuka servisne opreme - Metoda pregleda
- **HRN EN ISO 10053** - Akustika - Mjerenje prigušenja zvuka uredskih zaslona
pod posebnim laboratorijskim uvjetima
- **HRN EN ISO 11654** - Akustika - Apsorberi zvuka za upotrebu u zgradama -
Vrednovanje zvučne apsorpcije
- **HRN EN ISO 11691** - Akustika - Mjerenje unesenog prigušenja prigušivača u kanalima
bez protoka - Laboratorijska pregledna metoda
- **HRN EN ISO 11820** - Akustika - Mjerenje prigušivača u naravi



HZN / TO 43 – Akustika / Akustika u zgradarstvu

- **HRN* EN 12354** - Akustika u zgradarstvu - Procjena akustičkih svojstava zgrada iz akustičkih svojstava elemenata

1. dio: Zračna zvučna izolacija između prostorija
2. dio: Udar na zvučnu izolaciju između prostorija
3. dio: Zračna zvučna izolacija od vanjskog zvuka
4. dio: Prijenos zvuka iznutra prema van
5. dio: Razine zvuka od servisne opreme
6. dio: Zvučna apsorpcija u zatvorenim prostorima

- **HRN EN ISO 15186** - Akustika - Mjerenje zvučne izolacije zgrada i elemenata zgrada uporabom jakosti zvuka (2 dijela)

- **HRN EN ISO 20140** - Akustika - Mjerenje zvučne izolacije zgrada i građevnih elemenata (3 dijela)



A person with dark hair, seen from behind, is pointing their right index finger towards a green chalkboard. On the chalkboard, the text 'DIN 18041' is written in white chalk. The '1' at the end of the number is written as a superscript. The chalkboard has a faint grid pattern.

U ovisnosti o namjeni prostorije prema **DIN 18041** definiraju se slijedeće kategorije:

Prostorije kategorije U:

Prostor za nastavu (osim za muziku), razred za podučavanje glazbe s audiovizualnim prikazom, grupne prostorije u vrtićima i jaslicama.

Prostorije kategorije H:

Prostor za nastavu (osim za muziku), razred za podučavanje glazbe s audiovizualnim prikazom, grupne prostorije u vrtićima i jaslicama, pretežno s volumenom prostora do 250 m³ za:

- Osobe s ograničenim slušnim sposobnostima
- Komunikaciju na jeziku koji nije materinji
- Komunikaciju na domaćem jeziku s osobama kojima to nije
- Komunikacija s osobama koje na drugačiji način trebaju povećanu razumljivost govora

Prostorije kategorije M

Prostorije za podučavanje muzike s aktivnim sviranjem instrumenata i pjevanjem



Akustička kvaliteta prostorija

Sve prostorije namijenjene slušanju govora, pjevanja ili muzike moraju imati određenu akustičku kvalitetu.

Akustička kvaliteta prostorije podrazumijeva njenu pogodnost za dobro i ugodno slušanje, bez upotrebe elektroakustičkih uređaja.

Akustička svojstva prostorije određena su sa tri faktora:

- volumen,
- oblik,
- odjek (reverberacija).



Akustički parametri prostora (ISO 3382):

Parametar, oznaka (jedinica)	Subjektivni osjećaj
Vrijeme odjeka, T_{30} , T_{20} (s)	odječnost, glasnoća
Vrijeme ranog opadanja, EDT (s)	odječnost, jasnoća
Centralno vrijeme, T_s (s)	jasnoća
Jasnoća, C_{80} , C_{50} (dB)	jasnoća
Definiranost, D_{50} (%)	definiranost govora
Pojačanje, G (dB)	relativna razina zvuka
Udio bočne energije, LF , LFC (%)	osjećaj prostornosti
Interauralni koefic. križne korelacije IACC	osjećaj prostornosti

Izvor: Jambrošić, FER: Akustički komfor prostora kroz primjere

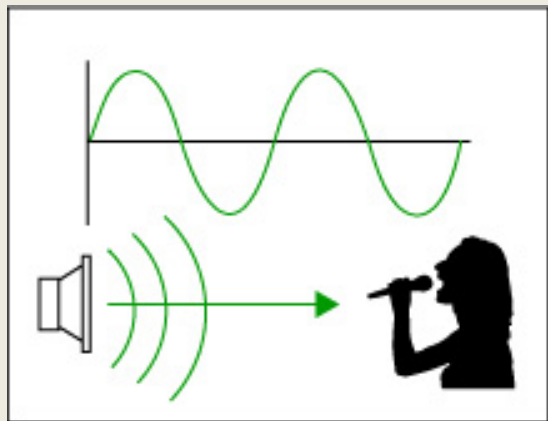


Akustička obrada prostora

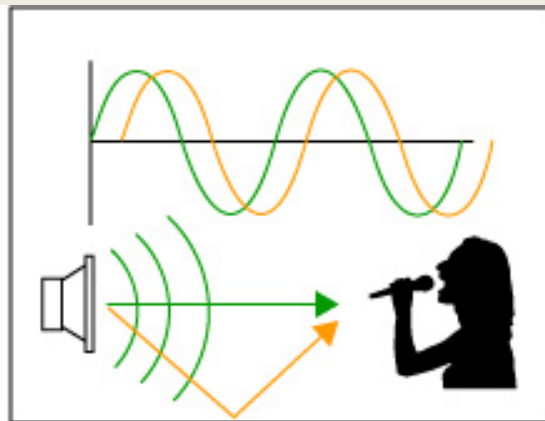


Zvuk u zatvorenom prostoru

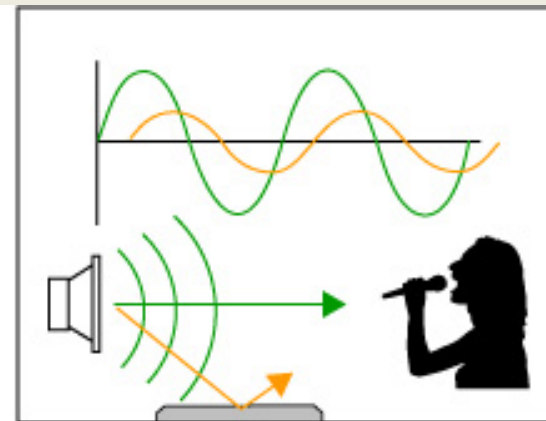
Zvučni valovi se od pregradnih stijena djelom **reflektiraju**, a djelom **apsorbiraju**.



DIREKTNI ZVUK

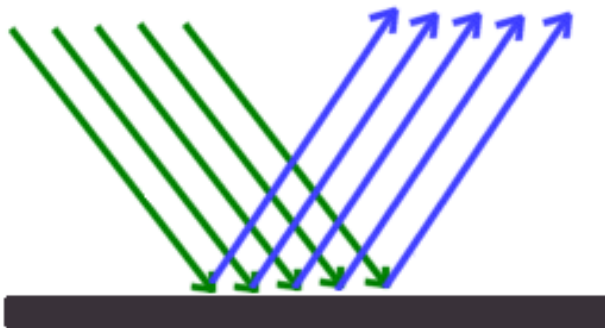


DIREKTNI ZVUK
+
INDIREKTNI ZVUK
OD REFLEKSIJSKE
PLOHE

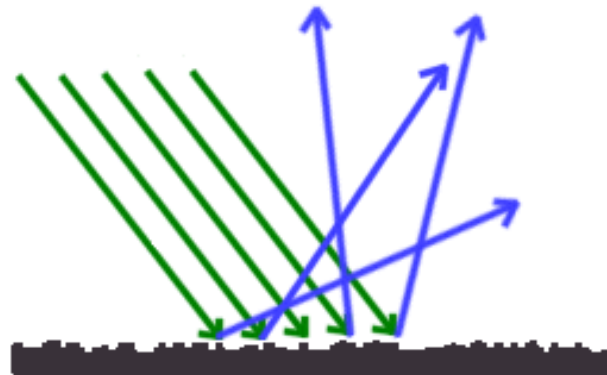


DIREKTNI ZVUK
+
INDIREKTNI ZVUK
OD APSORPCIJSKE
PLOHE

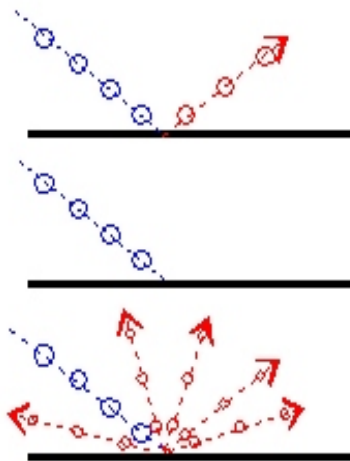
Refleksija



refleksija od ravne plohe



refleksija od neravne plohe
difuzna refleksija



reflektor

apsorber

difuzor

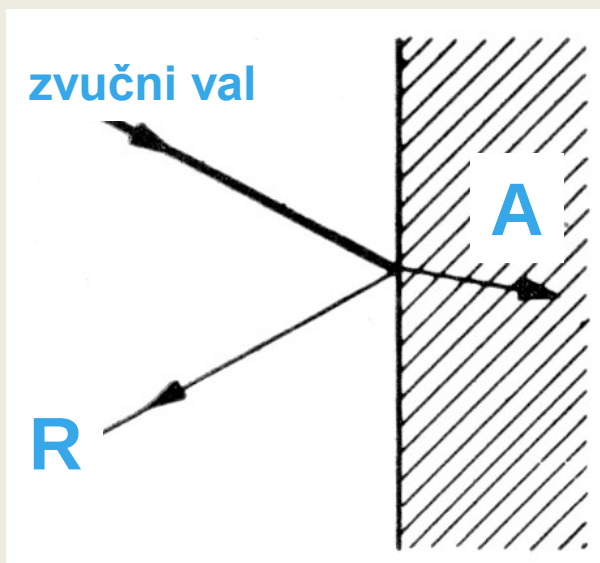
Apsorpcija zvuka u zatvorenom prostoru

Sposobnost apsorpcije nekog materijala karakterizira se

koeficijentom apsorpcije α

koji je jednak odnosu apsorbirane snage i ukupne snage upadnog vala.

$\alpha = \text{apsorbirana snaga} / \text{ukupna snaga}$



$$\alpha = A / R$$

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

↓
refleksija

↓
apsorpcija



Apsorpcijski materijali

$$\alpha > 0.3$$

Vrijednosti koeficijenata apsorpcije materijala daju se za frekvencije

(125), 250, 500, 1000, 2000 i (4000) Hz.

Svrha je apsorpcijskih materijala i konstrukcija da:

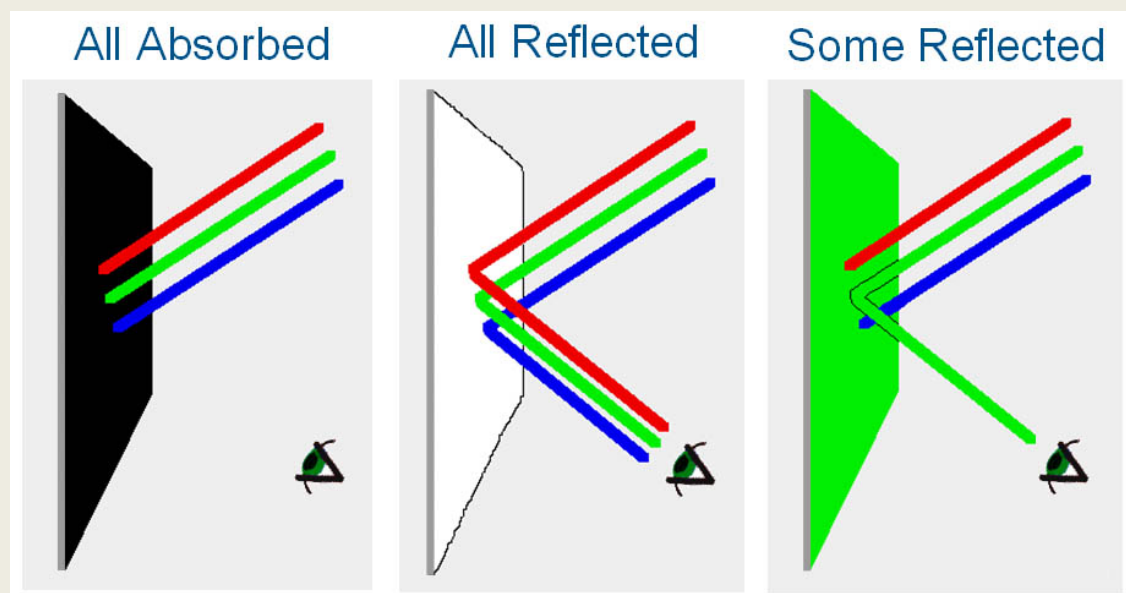
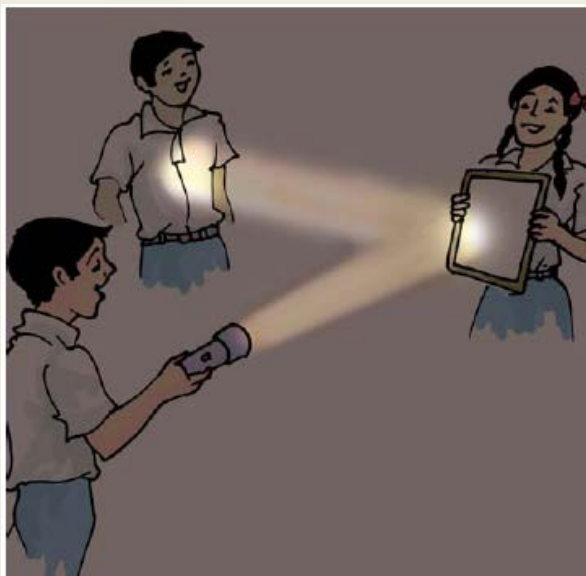
- skrate vrijeme odjeka,
- otklone pojavu jeke,
- priguše buku.



Refleksija svjetla

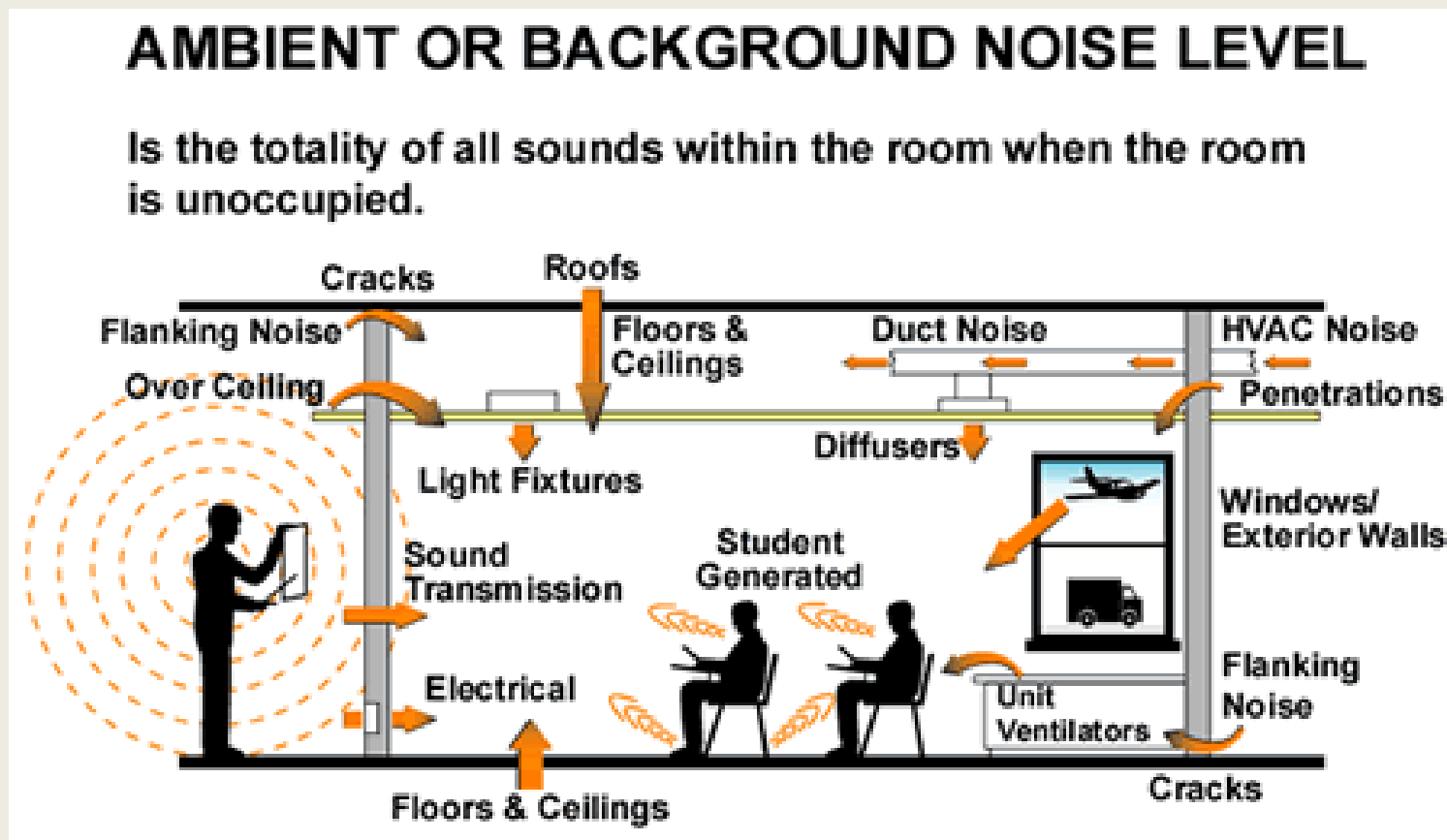
Ovisi o plohi:

- apsorpcija - crna ploha
- refleksija - bijela ploha
- djelomična refleksija

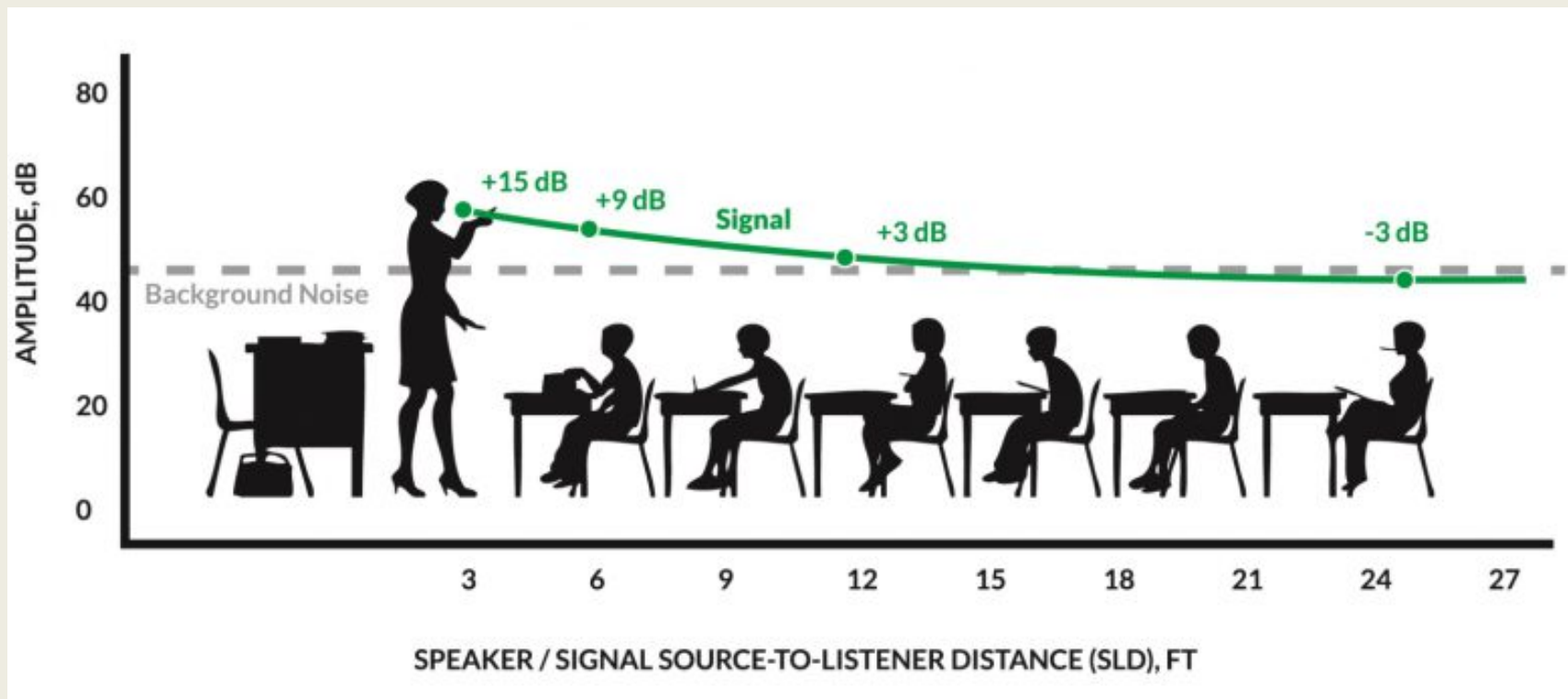


Buka u prostorijama

Pozadinska buka



Slušanje zvuka

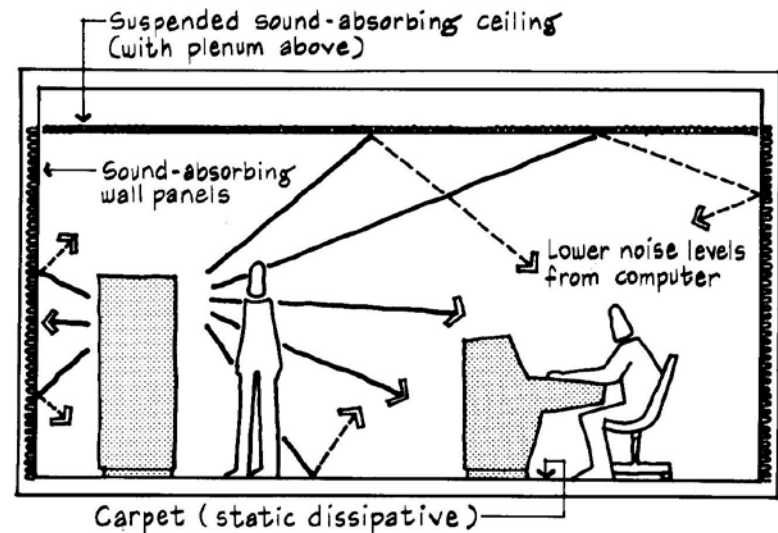
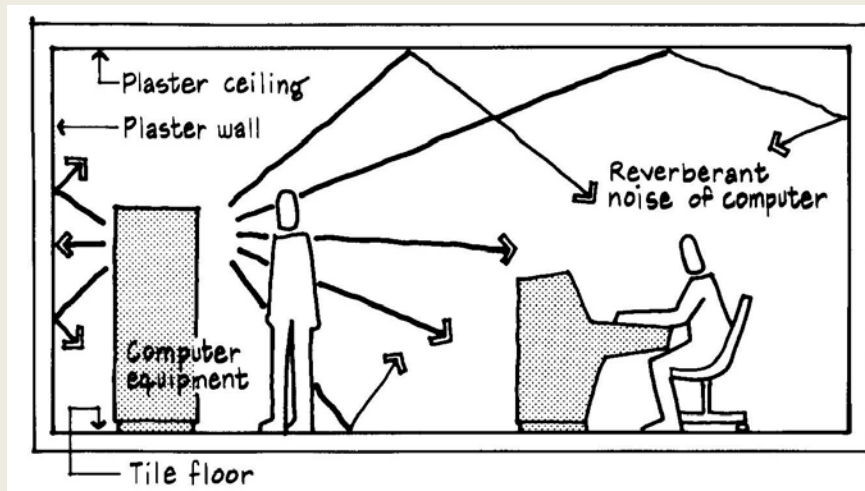


Smanjenje razine zvuka pomoću apsorpcije

Smanjenje razine buke postiže se upotrebom apsorpcijskih materijala i elemenata kojima se apsorbira dio energije reflektiranih valova.

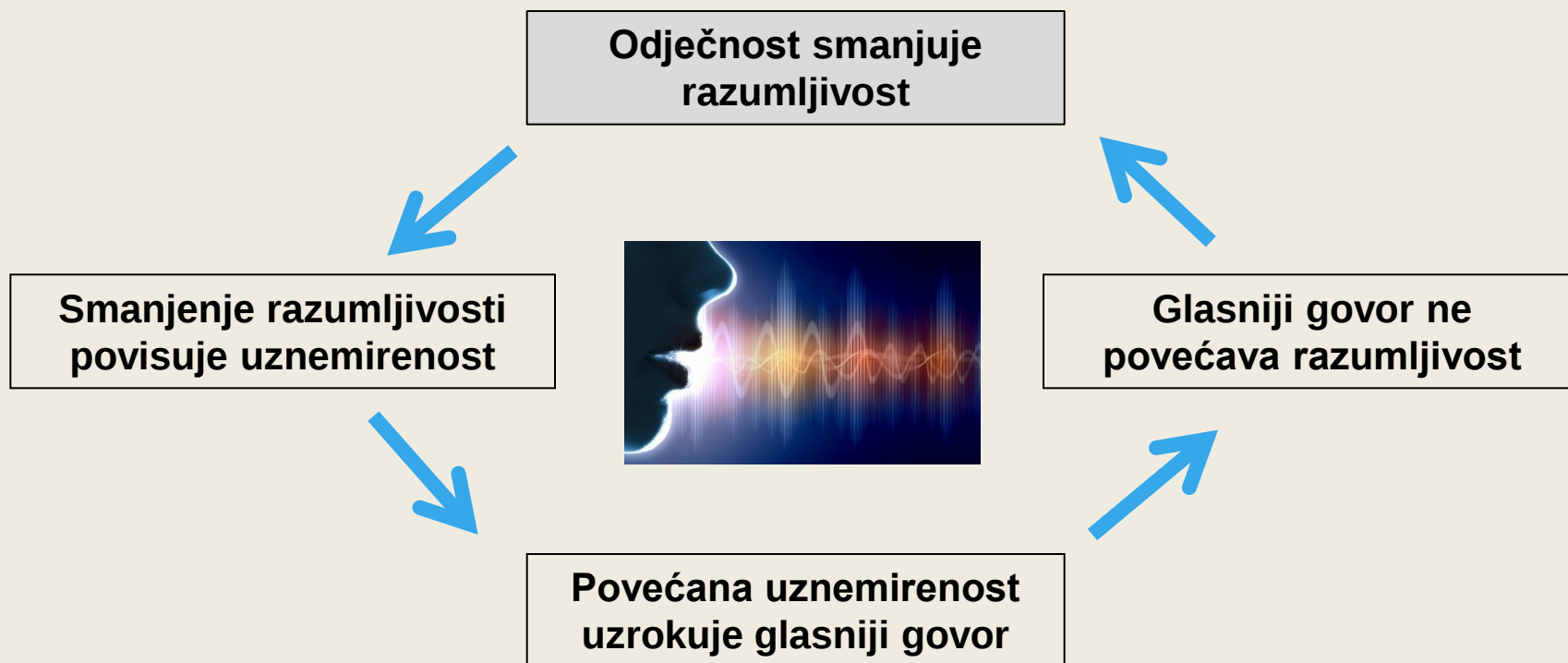
Smanjuje se razina reflektiranog zvuka u prostoriji.

Na ovaj način ne može utjecati na direktno zvučno polje, jer je ono neovisno o apsorpciji graničnih ploha prostorije.



Lombardov efekt ili efekt nadglasavanja

Popratni učinak prevelike odječnosti u prostoriji



Lombardov efekt – tendencija da govornik pojačava glasnoću govora u uvjetima bučnog okruženja.

Akustička obrada prostora



EU preporuke

U pogledu novih zgrada i zgrada koje se podvrgavaju većoj rekonstrukciji, države članice trebale bi poticati visokoučinkovite alternativne sustave ako je to tehnički, funkcionalno i gospodarski izvedivo, istodobno uzimajući u obzir pitanja u vezi sa:

- zdravim unutarnjim klimatskim uvjetima,
- zaštitom od požara i
- rizicima povezanima s pojačanom seizmičkom aktivnošću,

u skladu s domaćim sigurnosnim propisima.

U smjernicama Svjetske zdravstvene organizacije iz 2009. navodi se da u pogledu kvalitete zraka u unutarnjem prostoru, zgrade boljih energetske svojstava pružaju veću udobnost i dobrobit stanarima te doprinose zdravlju.



HVALA NA PAŽNJI !

zoran.versic@arhitekt.hr

