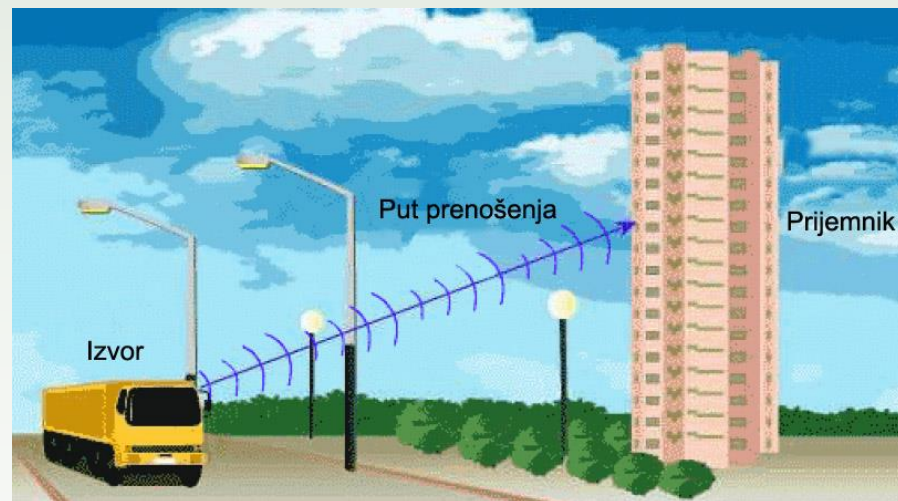


Osnovni principi redukcije buke

- Buka koja se generiše na mestu izvora buke prostire se i prenosi ka prijemniku, putanjama koje ne moraju uvek biti iste. Na mestu prijemnika buka se doživljava kao problem ukoliko su nivoi buke visoki ili ukoliko remeti osnovne ljudske aktivnosti: rad, odmor, spavanja ...
- Nivo buke na mestu prijemnika zavisi od:
 - ⊕ Zvučne snage izvora (automobili, kamioni, vozovi ...)
 - ⊕ Dužine putanje kojom se buka prostire, odnosno rastojanja između izvora buke i prijemnika.
 - ⊕ Okruženja u kome se nalazi prijemnik.
- Osnovni principi redukcije buke:
 - ⊕ Redukcija na samom izvoru buke.
 - ⊕ Redukcija na putevima prenošenja.
 - ⊕ Redukcija na mestu prijemnika.
 - ⊕ Planiranje.



Redukcija buke na izvoru buke (1)

- Primarna mera je redukcija buke na samom izvoru.
- Pri samom projektovanju i proizvodnji mogu se koristiti metode i tehnologije koje će obezbediti tihi rad izvora buke.
- Nove i tihe tehnologije mogu omogućiti da neke građevinske mašine budu mnogo tiše od konvencijalne bučne opreme. Na primer korišćenje hidrauličnih mašina za rušenje i razbijanje, umesto pneumatskih mašina i čekića, može biti mnogo prirodnije za okruženje.



Redukcija buke na izvoru buke (2)

- Međunarodnim standardima, direktivama i propisima daju se smernice za redukciju buke na određenim tipovima izvora buke ili se ograničavaju vrednosti emisije buke na definisanim rastojanjima koje moraju da zadovolje izvori buke da bi bili u upotrebi.



DIREKTIVE

70/157/EEC:	Motorna vozila
80/51/EEC:	Podzvučni avioni
86/594/EEC:	Kućni aparati
92/14/EEC:	Ograničavanje operacija aviona
96/48/EC:	Transevropski železnički sistem velikih brzina
97/24/EC:	Motorcikli
2000/14/EC:	Oprema koja se koristi na otvorenom prostoru
2001/16/EC:	Transevropski konvencionalni železnički sistem
2001/43/EC:	Pneumatici za motorna vozila, prikolice i dodatna oprema
2002/30/EC:	Ograničavanje operacija civilnih aerodroma

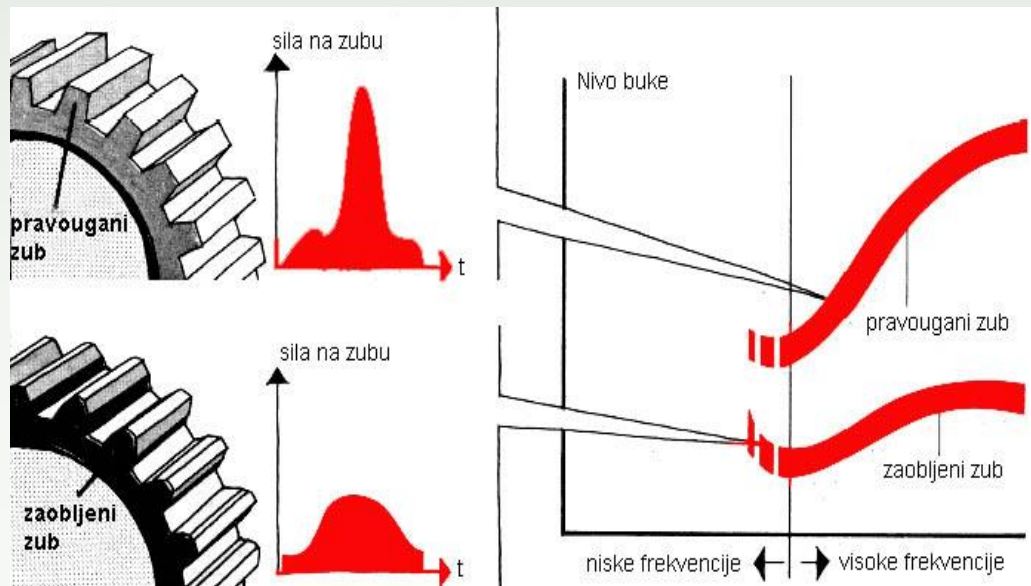
Redukcija buke na izvoru buke (3)

- **Buka visokih frekvencija se znatno smanjuje prolaskom kroz vazduh.**
- Visokofrekvencijski sadržaj buke se efikasnije redukuje prolaskom kroz vazduh, jer je disipacija zvuka u vazduhu veća na višim frekvencijama.
- Primena barijera na ovim frekvencijama je efikasnija.
- Ako buka u neposrednoj blizini izvora ne predstavlja značajan problem, frekvencijski sadržaj buke treba pomeriti ka višim frekvencijama.
- Povećanjem broja lopatica kod krovnog ventilatora nekog industrijskog pogona smanjuje se zona uticaja zvučnih talasa koje generiše ventilator, čime se mogu zaštititi stambena naselja u okruženju.



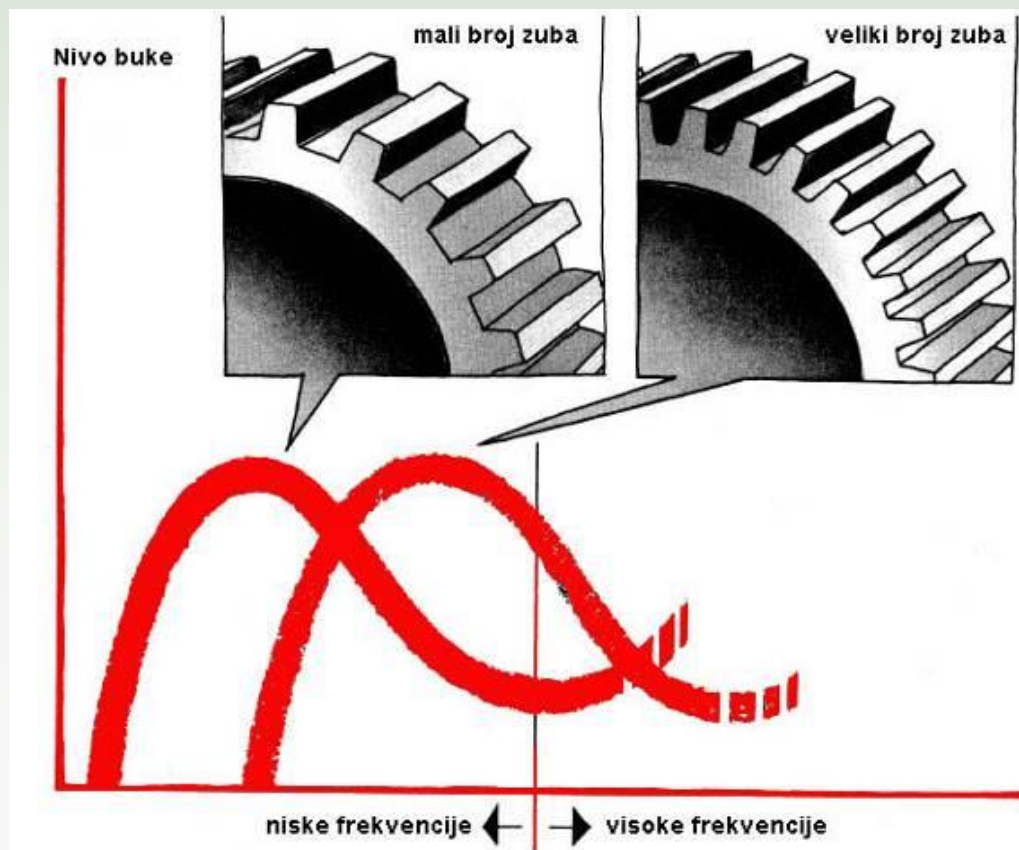
Redukcija buke na izvoru buke (4)

- Karakter promena određuje frekvencijski sadržaj buke.
- Nagle promene sile, pritiska i brzine generišu kratke impulse sa visokim sadržajem nivoa buke na višim frekvencijama.
- Karakter promene je određen elastičnošću i oblikom površina koje su u kontaktu - što se površine više deformišu pri kontaktu, to su duže u kontaktu, pa se generiše buka sa nižim frekvencijskim sadržajem.
- Kod zupčanika sa pravouganim zubima sila na samom zubu veoma brzo raste i opada, čime se generiše visokofrekvencijska buka koja ima veći uticaj na čoveka.
- Korišćenjem zaobljenih zuba, prenos sile je kontinualan, maksimalna sila pri kontaktu se smanjuje, čime se nivo buke smanjuje na svim frekvencijama, posebno na višim.



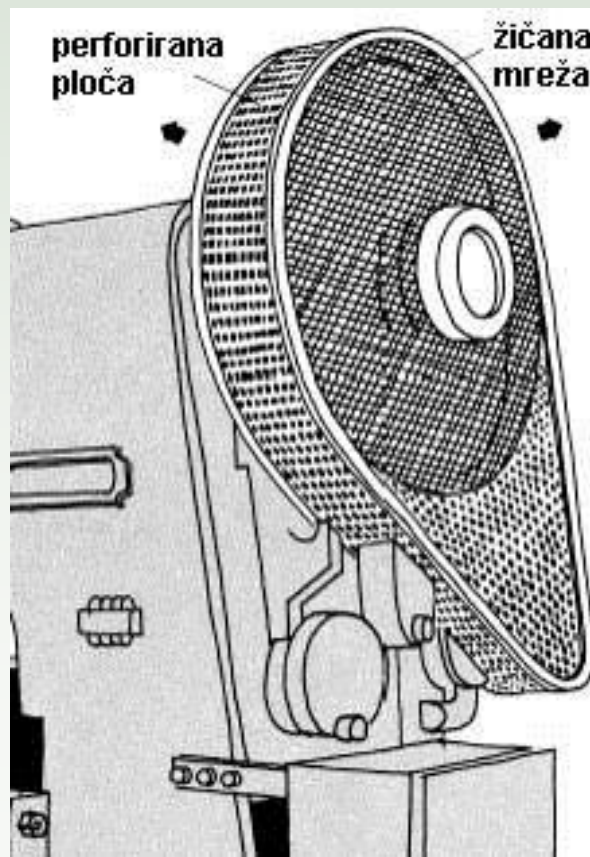
Redukcija buke na izvoru buke (5)

- Brzina ponavljanja promene određuje frekvencijski sadržaj buke.
- Interval ponavljanja neke promene (sile ili pritiska) određuje frekvencijski sadržaj buke.
- Duži interval ponavljanja generiše niskofrekvencijsku buku, čiji nivo zavisi od veličine promene sile ili pritiska.
- Kod zupčanika sa različitim brojem zuba, ukoliko rotiraju istom brzinom, zupčanik sa manjim brojem zuba generiše buku u nižem frekvencijskom opsegu.



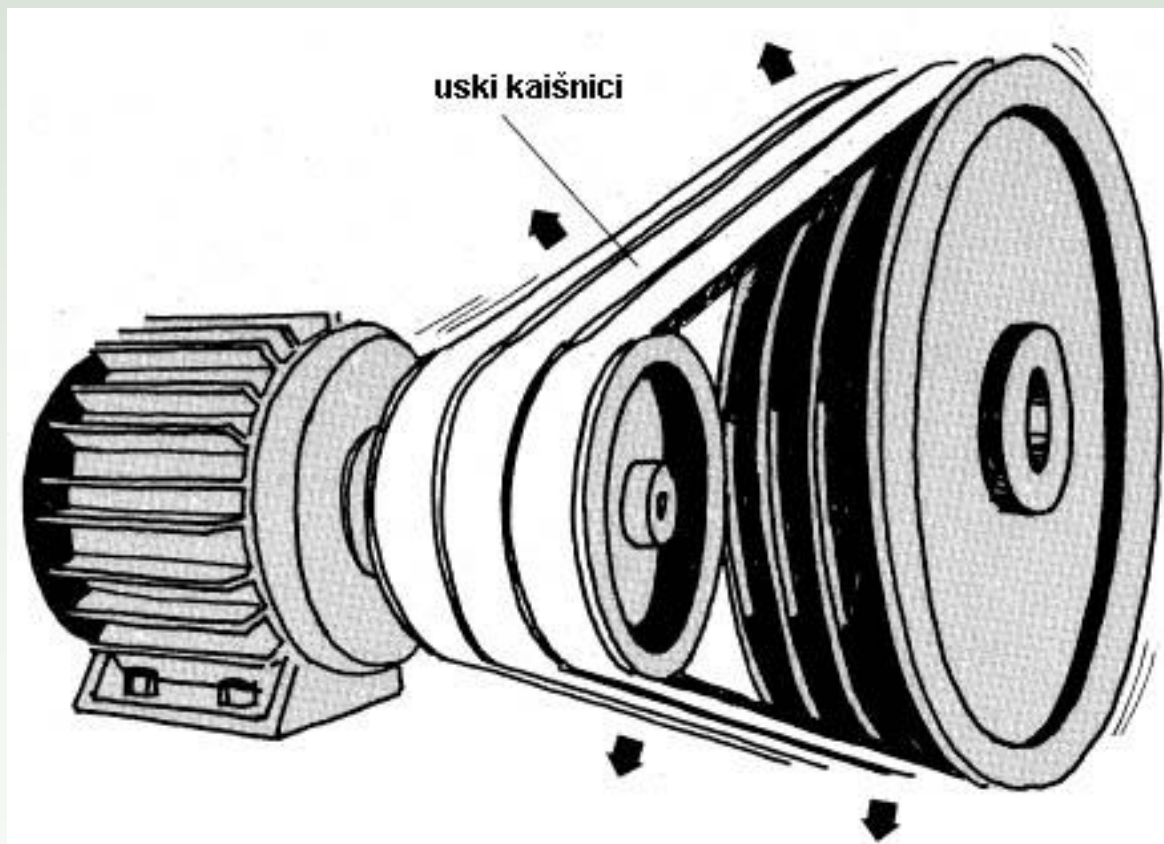
Redukcija buke na izvoru buke (6)

- Perforirane ploče generišu manju buku.
- Velike ploče pobuđene vibracijama mogu dodatno da emituju značajnu količinu energije zvuka.
- Površina ploče koja vibrira se može smanjiti perforacijom u slučajevima kada se njena funkcionalnost ne menja.
- Kod zaštitnih oklopa mašine, čija je funkcija zaštita od obrtnih delova, perforiranjem oklopa se buka može smanjiti a da se funkcija oklopa ne promeni.



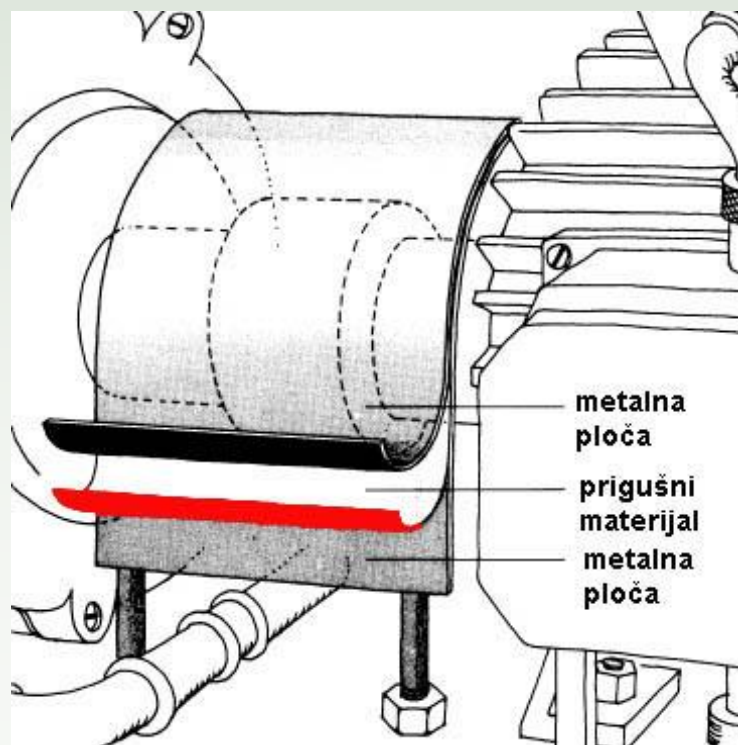
Redukcija buke na izvoru buke (7)

- Duge i uske ploče generišu manju buku.
- Više dugih i uskih ploča generišu manju buku od jedne šire ploče iste ukupne površine.
- Šira remenica kod kaišnog prenosa generiše veliki nivo buke na niskim frekvencijama, koji se može smanjiti zamenu šire remenice sa više užih.



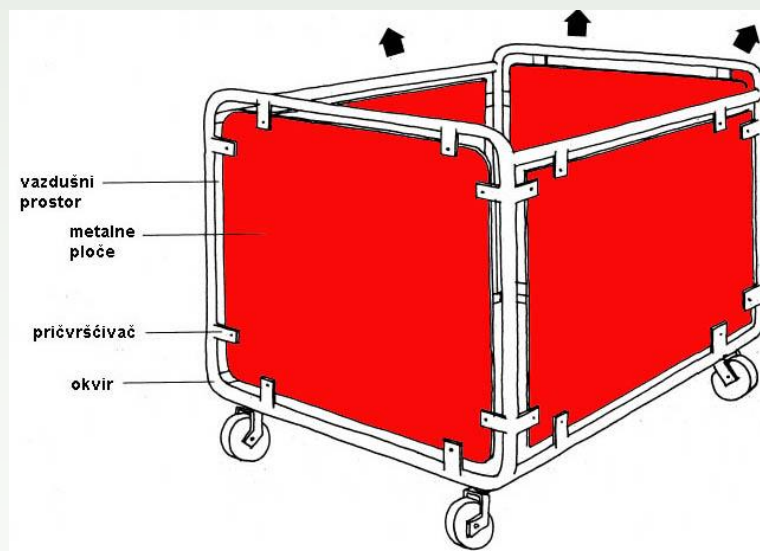
Redukcija buke na izvoru buke (8)

- Obložene ploče generišu manju buku.
- Vibracije kojima je pobuđena ploča se prostiru po njenoj površini delimično se smanjujući, ali u većini slučajeva ne značajno.
- Dodavanjem slojeva sa većim koeficijentom prigušenja na metalne ploče može se smanjiti prostiranje vibracija, a samim tim i zračenje buke.
- Buka se može smanjiti ako se metalni zaštitni oklop spojnice motora i pumpe obloži prigušnim materijalom.



Redukcija buke na izvoru buke (9)

- **Ploče sa slobodnim uglovima generišu manju buku.**
- Ploče generišu manju buku ako vibriraju sa slobodnim krajevima.
- Zatvaranjem uglova ploče povećava se buka, naročito na niskim frekvencijama.
- Zvučnik u kutiji generiše basove većeg nivoa nego van kutije.
- Buka se pri guranju kolica za transport materijala generiše zbog udara koji se javljaju u kontaktima sa površinom poda.
- Buka se emituje i kada se materijal ubacuje u kolica.
- Ako se ploče učvrste sa razmakom između ploča i okvira, smanjuje se buka na niskim frekvencijama.



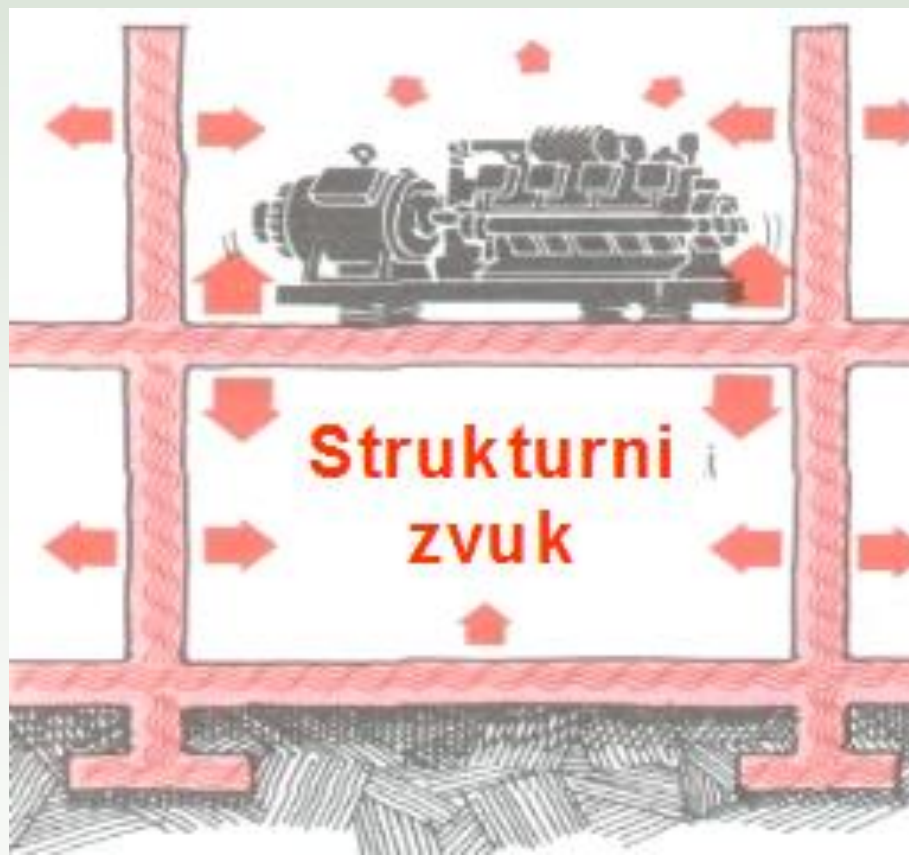
Redukcija buke na izvoru buke (10)

- **Otvorena struktura podloge smanjuje buku.**
- Buka koja nastaje pri interakciji pneumatika i podloge posledica je karakteristika i pneumatika i podloge. Značajne napore čine i konstruktori pneumatika i konstruktori podloga za presvlačenje puteva da se buka smanji.
- Većina puteva je prekrivena podlogom sa mikroskopskim šupljinama koji izazivaju rezonancu zvuka i povećanje nivoa buke. Promenom materijala kojim se presvlači površina puta može se dodatno smanjiti nivo buke.
- Specijalni tip bitumenske podloge, konstruisan namenski za smanjenje klizanja, svojom otvorenom teksturom koja sadrži 20% sićušnih rupica smanjuje buku za 5dB(A).



Redukcija buke na putevima prenošenja (1)

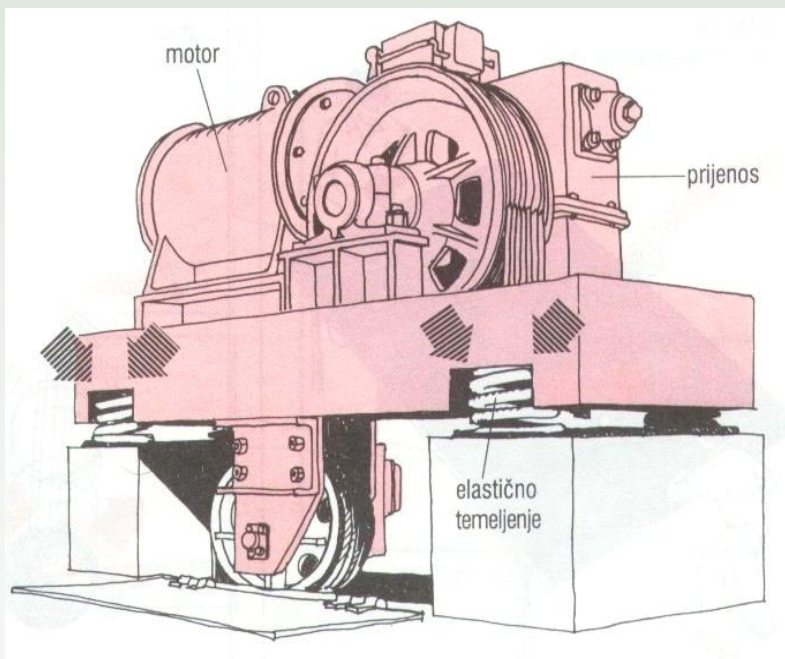
- Kada nije izvodljivo primeniti mere za kontrolu buke na mestu samog izvora, primenjuju se mere kontrole na putevima prenošenja zvuka od izvora do prijemnika.
- **Kontrola strukturne buke.**
- Kada izvor buke vibrira i kada je u kontaktu sa konstrukcijom građevinskog objekta gde je smešten, dolazi do generisanja strukturnog zvuka koji se dalje prostire kroz objekat



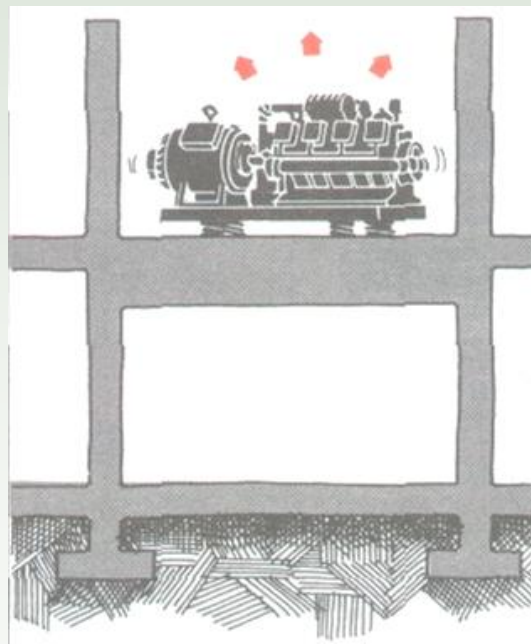
Redukcija buke na putevima prenošenja (2)

- Buka izvora može se smanjiti izolacijom vibracija koje mogu izazvati generisanje strukturnog zvuka, oslanjanjem na elastične podmetače, pojačanim temeljom (nosačem) ili odvajanjem od ostale strukture.

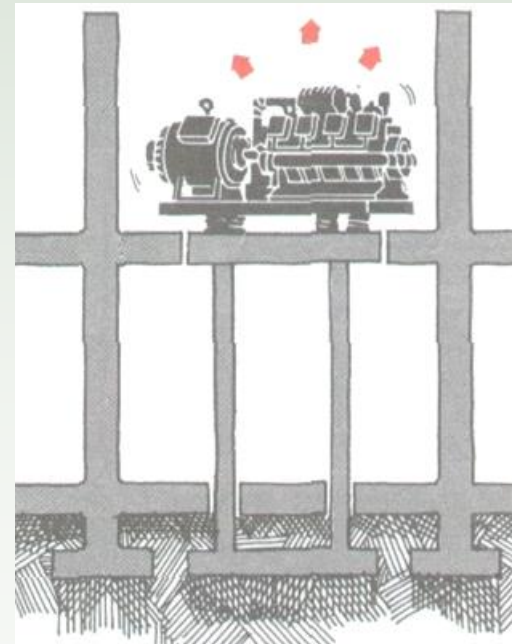
Elastično oslanjanje na betonski fundamnet



Pojačani temelj

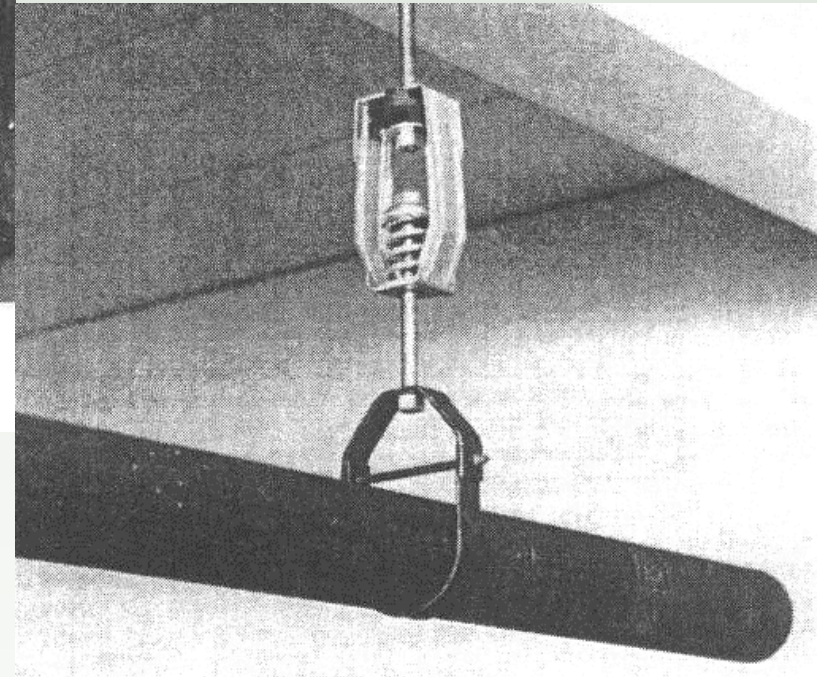
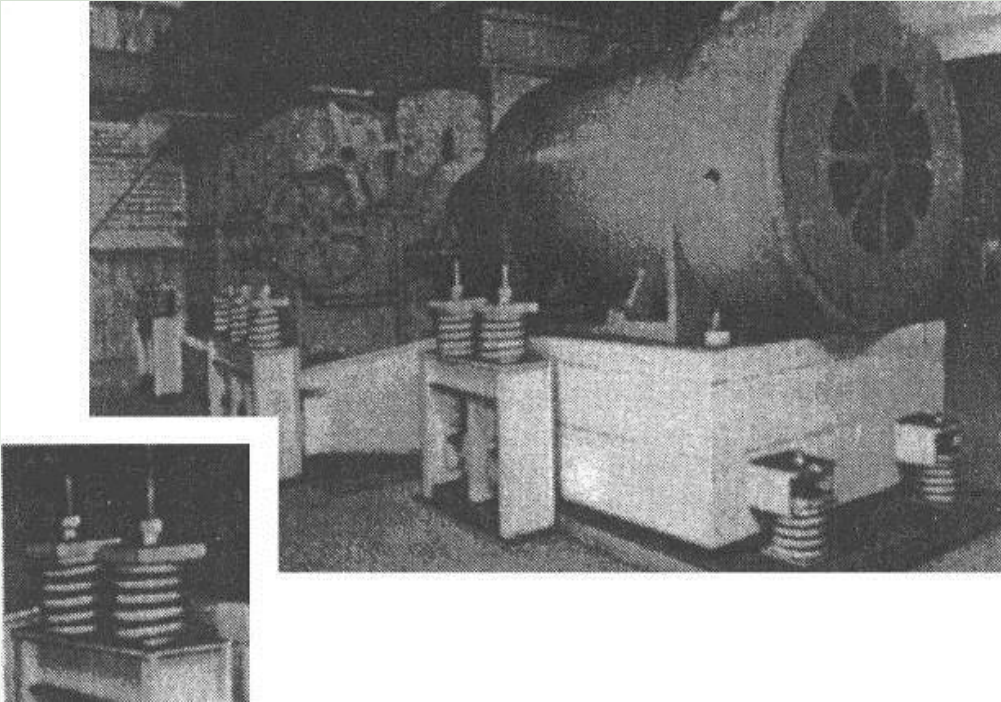


Odvajanje od zgrade



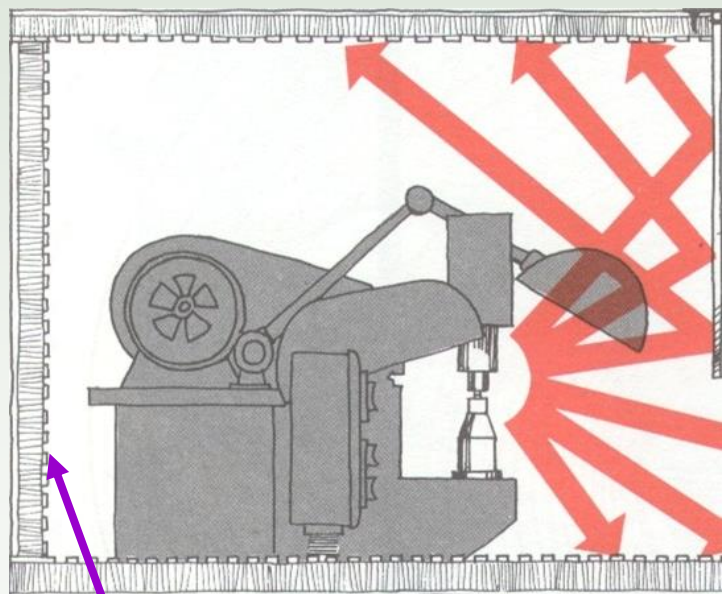
Redukcija buke na putevima prenošenja (3)

- ▶ Kada su problem diskretne frekvencije, projektuju se opruge koje pomeraju pobudnu frekvenciju izvora tako da ona bude barem tri puta veća od rezonantne frekvencije.



Redukcija buke na putevima prenošenja (4)

- Kontrola vazdušne buke.
- Kontrola vazdušne buke na putevima prenošenja zvučnih talasa podrazumeva potpuno oklapanje izvora buke ili stavljanje prepreka u vidu barijera ili tunela između izvora buke i prijemnika.
- Buka izvora može se smanjiti oklapanjem izvora buke ili akustičkom obradom prostorije primenom apsorpcionih komora na mestu gde se izvor nalazi.



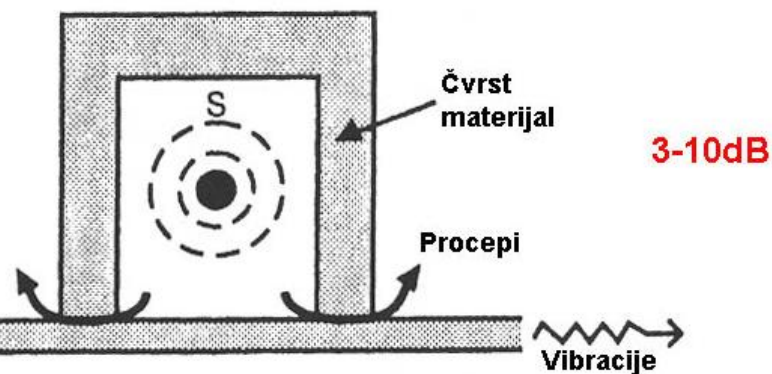
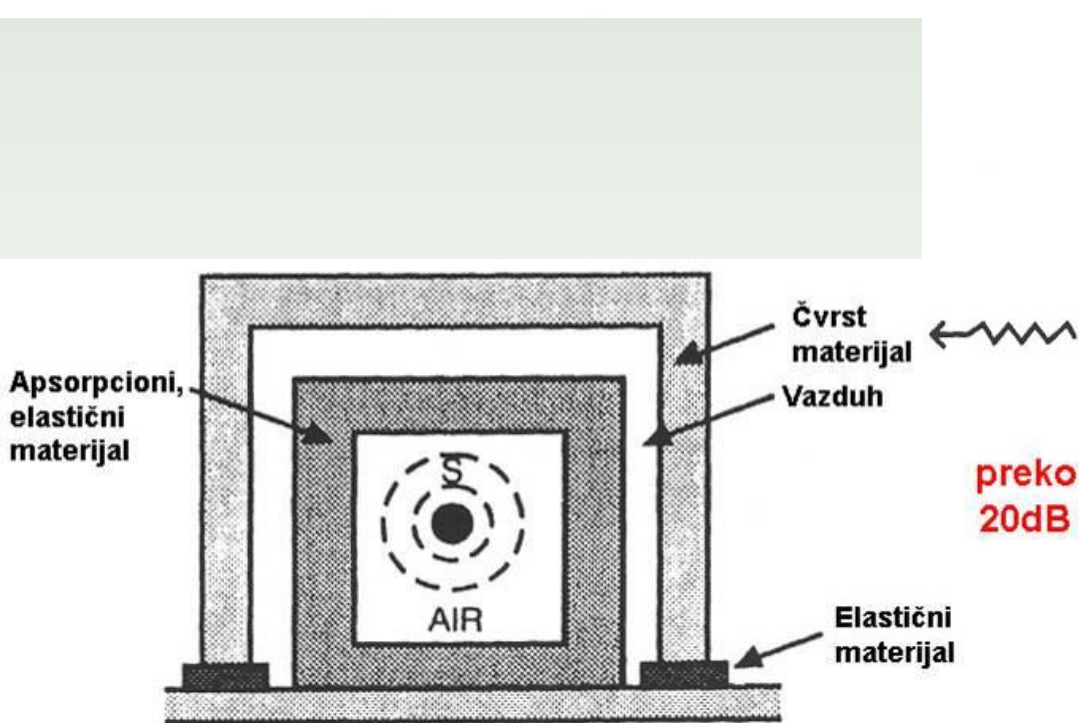
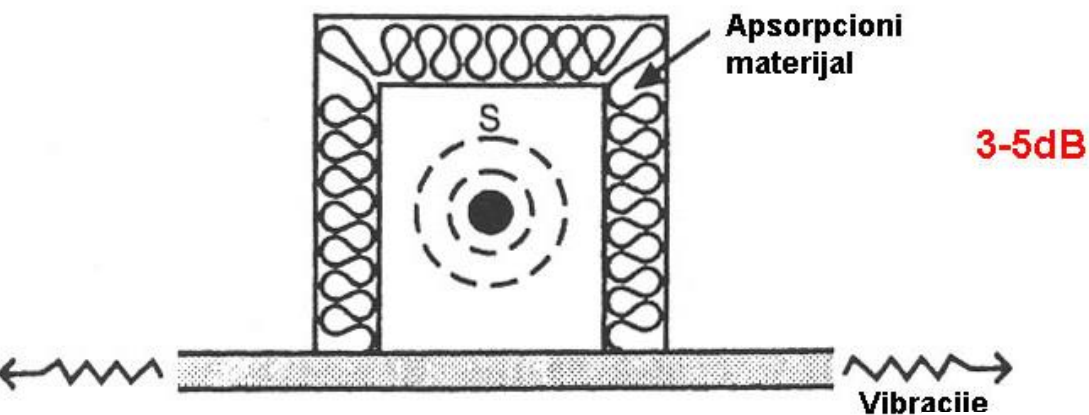
Zaštitno
ogledalo

Apsorpcioni
materijal

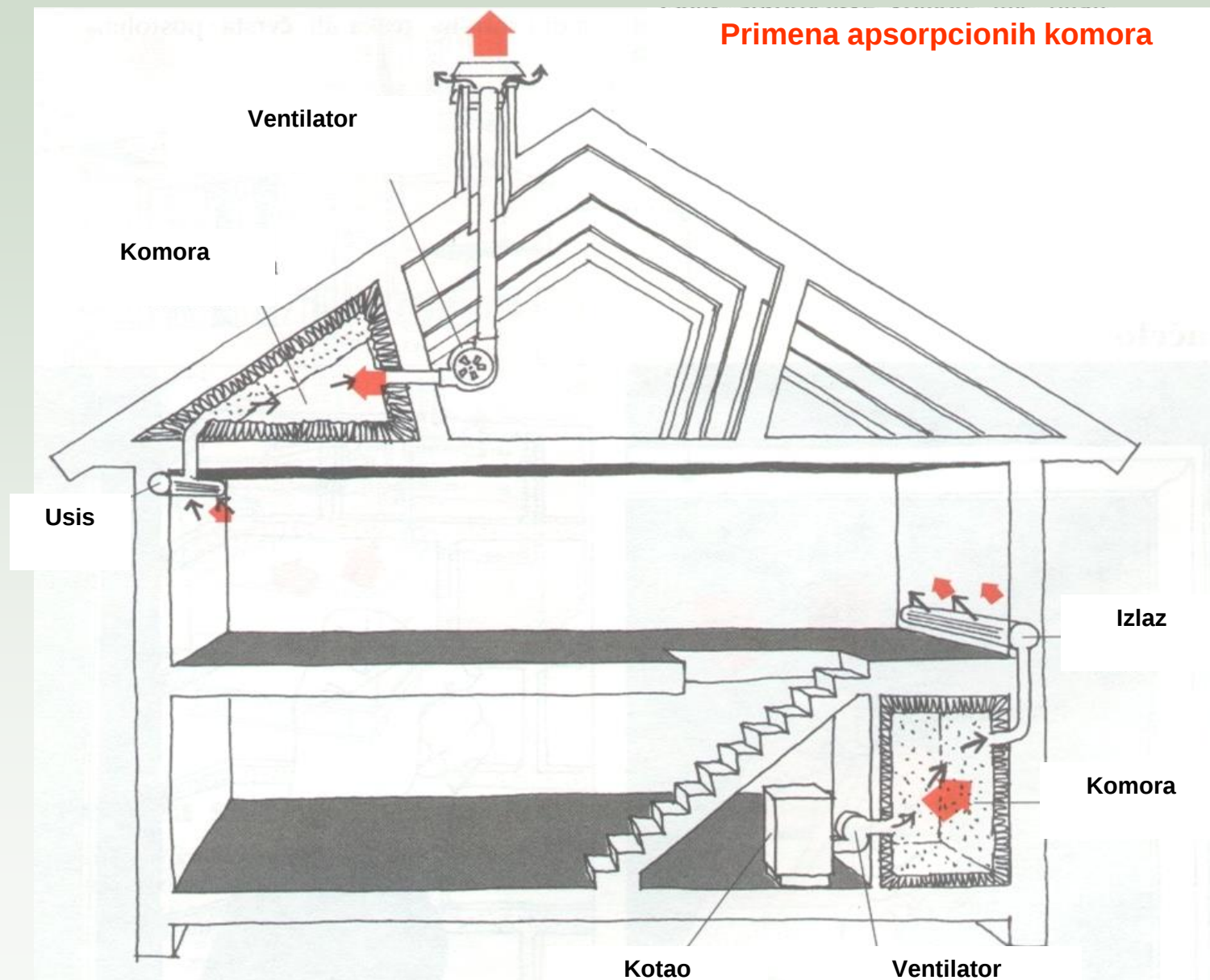


Redukcija buke na putevima prenošenja (4)

► Primeri oklopa i efikasnost.



Redukcija buke na putevima prenošanja (5)



Redukcija buke na putevima prenošenja (6)

- Očigledan način za smanjenje nivoa buke je odvajanje izvora buke od osetljivih zona na buku preduzimanjem odgovarajućih mera za sprečavanje širenja buke na samim putevima prostiranja.
- Sprečavanje širenja buke koje dovodi do redukcije nivoa buke može se ostvariti primenom:
 - ⊕ Barijera
 - ⊕ Tunela
 - ⊕ Prirodnih prepreka (zemljani nasipi) u kombinaciji sa barijerama
 - ⊕ Kombinacije navedenih načina redukcije
- Primena navedenih mera nije uvek moguća, naročito u gusto naseljenim gradovima sa višespratnicama.

Redukcija buke na putevima prenošenja (7)

- Barijere (akustički ekrani) redukuju nivo buke sprečavanjem prostiranja zvučnih talasa kroz barijere. Pravilnim konstrukcijom i izborom materijala dominantan uticaj na mestu prijemnika imaju zvučni talasi koji menjaju pravac prostiranja na gornjoj i bočnim ivicama barijere – efekat difrakcije zvučnih talasa.
- Da bi barijera imala efekat mora sprečiti direktnu vidljivost izvora buke i prijemnika, čime se buke ne prostire direktnim putem.
- Nivo buke se u zoni senke može se smanjiti i do 20dB(A).
- Vrste barijera:
 -  Vertikalne
 -  Konzolne
- Barijere, pored akustičkih, moraju da zadovolje i estetske kriterijume.

Redukcija buke na putevima prenošnja (8)



Vertikalne barijere



Konzolne barijere

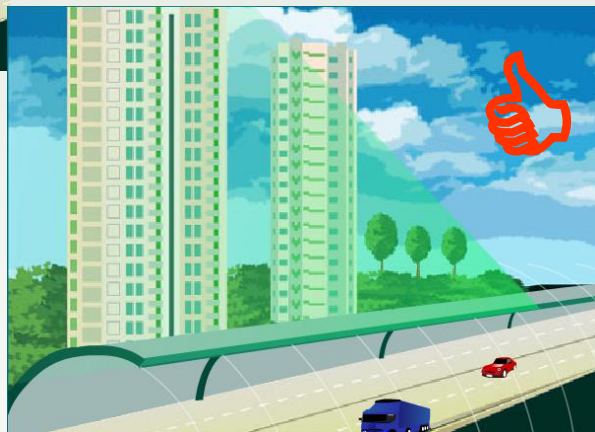


Redukcija buke na putevima prenošenja (9)

- Da bi barijera imala zadovoljavajući efekat ona mora da spreči direktnu vidljivost izvora buke i prijemnika. To nije uvek moguće, naročito u gusto naseljenim gradovima sa višespratnicama.
- U takvim okolnostima mogu se koristiti zaštiti ekrani – tuneli, polutovorenog i zatvorenog tipa. Na ovaj način se buka može smanjiti i više od 20dB(A) za slučaj tunela zatvorenog tipa.
- Tuneli, pored akustičkih, moraju da zadovolje i estetske kriterijume.



Tuneli poluzatvorenog tipa



Redukcija buke na putevima prenošenja (10)



Tuneli zatvorenog
tipa



Redukcija buke na putevima prenošenja (11)

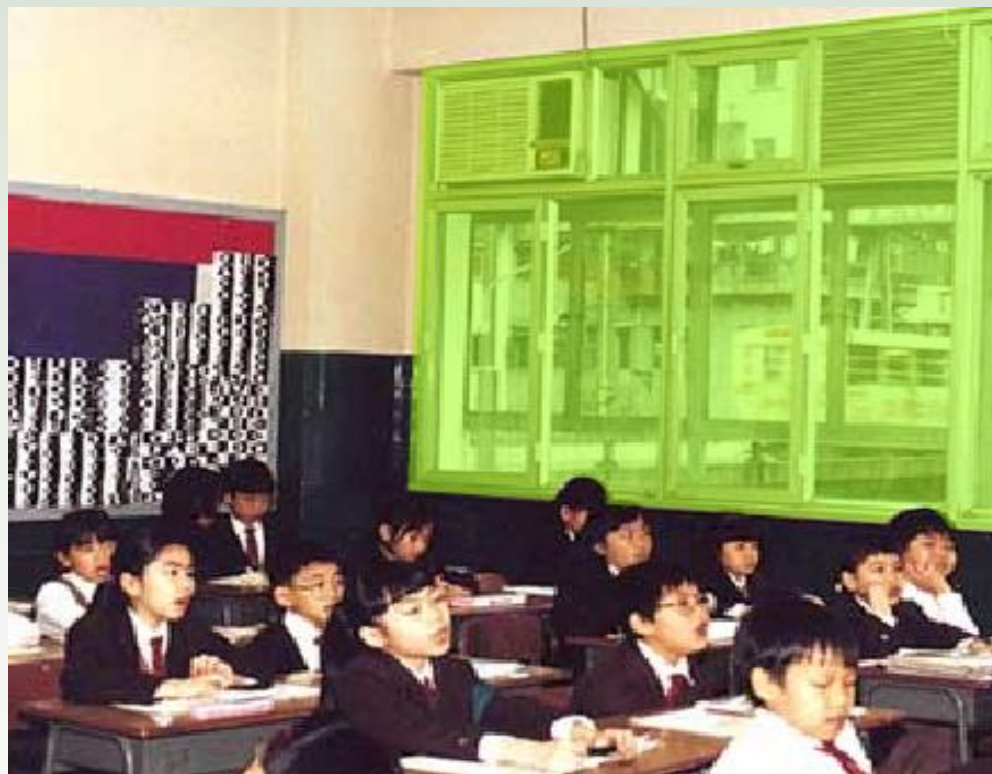
- Prirodne prepreke (zemljani nasipi, zeleni zasadi) se mogu koristiti za smanjenje nivoa buke sprečavanjem širenja zvučnih talasa. Mogu se kombinovati sa barijerama.
- Zemljani nasipi imaju prirodan izgled i mogu zadovoljavati većinu estetskih zahteva. Smanjenje buke je za oko 3dB veće od smanjenja buke barijerom iste visine.



Redukcija buke na mestu prijema (12)

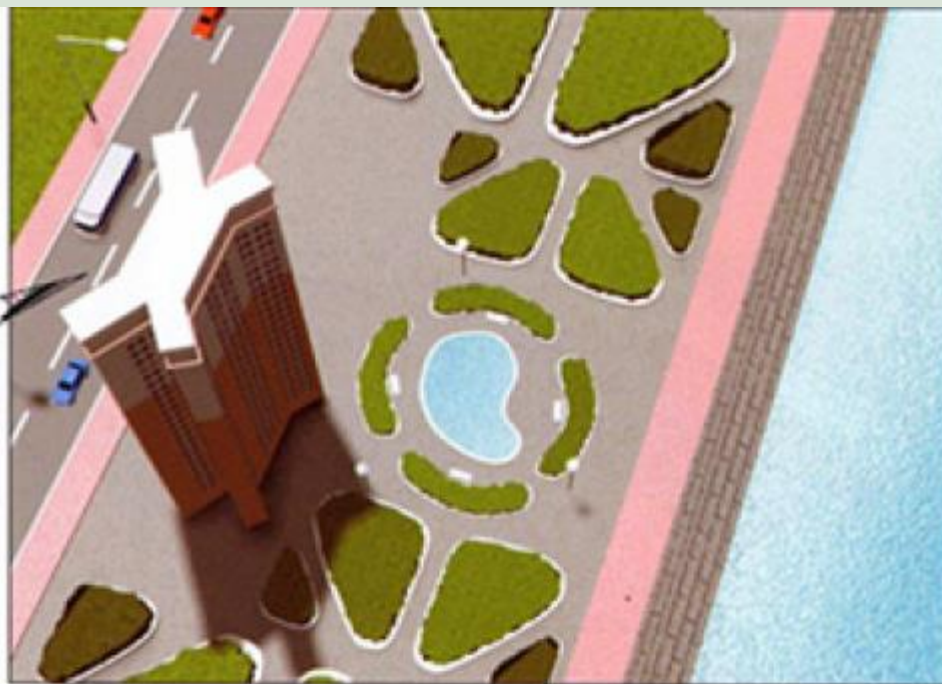
► Na mestu prijemnika buke se može smanjiti preduzimanjem sledećih mera:

- ⊕ Lociranjem prostorija koje su manje “osetljivije” na buku ka izvoru
- ⊕ Zvučnom izolacijom fasadnih elemenata, pre svega prozora kao najkritičnijih elemenata. **Problem otvorenog prozora!**
- ⊕ Akustičkom obradom prostora



Redukcija buke na mestu prijema (13)

- Pravilnom orijentacijom stambenog objekta prema izvoru buke može se smanjiti izoloženost buci stanara.
- Stambena zgrada se orijetiše tako da prostorije koje su manje osetljivije na buku (kuhinje, kupatila, hodnici...) se lociraju ka strani gde se nalazi izvor buke. Sa suprotne strane se pozicioniraju dnevne i spavaće sobe, kao prostorije manje “osetljivije” na buku.



**Prostorije “tolerantne”
na buku**

Redukcija buke na mestu prijema (14)

- Određenim arhitektonskim rešenjima, kao što su ispušteni fasadni zidovi i terase, može se smanjiti uticaj buke na stambene zgrade.



Redukcija buke pravilnim planiranjem (1)

- Pri izradi urbanističko-tehničke dokumentacije za nove lokacije ili za rekonstrukciju postojećih mogu se primeniti planske mere za smanjenje nivoa buke na mestu prijemnika.
- Neke od mera su:
 - ⊕ Plansko korišćenje zemljišta.
 - ⊕ Zaklanjanje osetljivih zona objektima koji su tolerantniji na buku.
 - ⊕ Udaljavanje osetljivih zona od glavnih izvora buke.
 - ⊕ Trasiranjem saobraćajnica ispod nivoa osetljivih zona.
 - ⊕ Podizanje nivoa osetljivih zona iznad nivoa saobraćajnica.

Redukcija buke pravilnim planiranjem (2)

- ▶ Pravilnim definisanjem namene određenog prostora može se smanjiti uticaj buke. Postupak se naziva zoniranje prostora pri čemu se za svaku zonu definiše njena namena (zona za odmor, zona stanovanja, poslovna zona, industrijska zona ...). Pri tome se vodi računa o kompatibilnosti susednih zona i odvajanju zona u kojima je buka visokog nivoa od zona koje su osetljivije na buku.



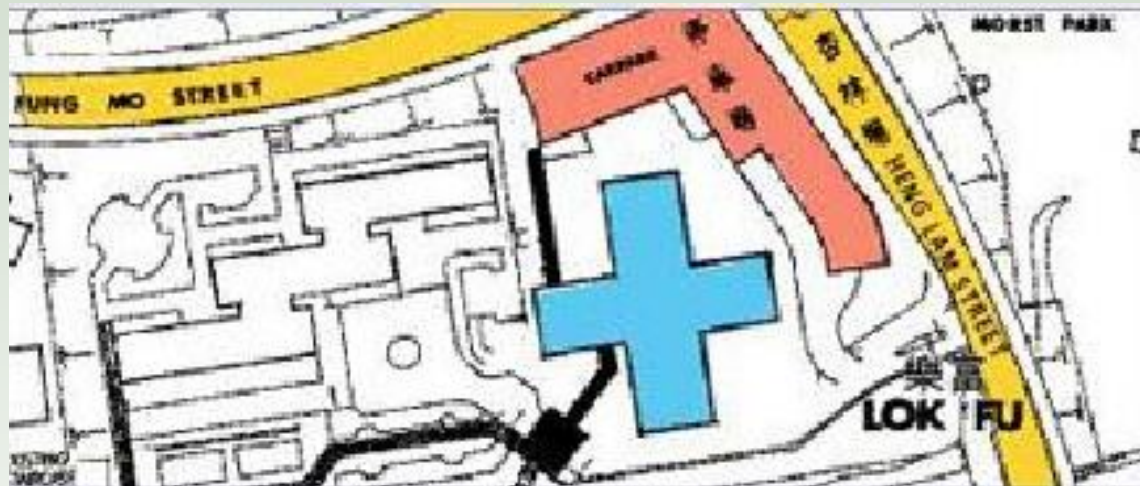
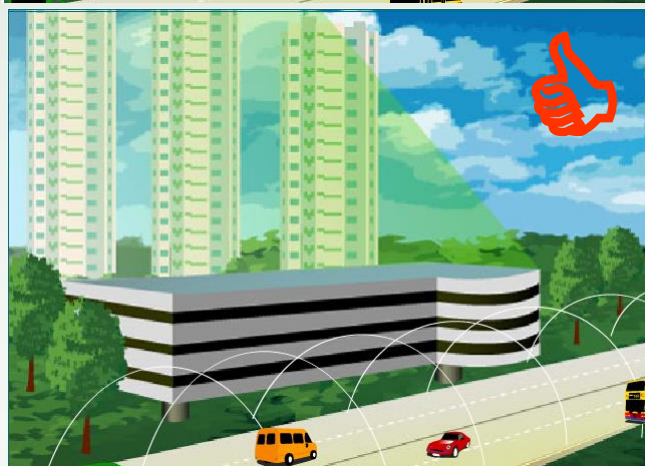
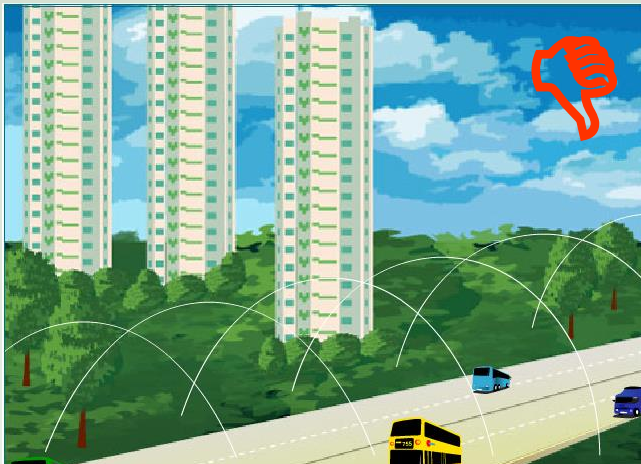
Primer:

Odvajanje industrijske zone od zone stanovanja tampon zonom.

Redukcija buke pravilnim planiranjem (3)

- Objekti na koje buka ima manji uticaj (višespratno parkiralište, tržni centri) mogu se pozicionirati između izvora buke (drumski saobraćaj) i stambenih zgrada čime se buka u zoni senke objekta “tolerantnog” na buku smanjuje.

Primer:



objekat “tolerantan” na buku

cilj zaštite

glavni izvor buke

Redukcija buke pravilnim planiranjem (4)

- Uticaj buke se može smanjiti pravilnom dispozicijom osetljivih zona na buku (stambenih objekata) u odnosu na glavne izvore buke. Stambeni objekti se udaljavaju što je moguće više od saobraćajnica.

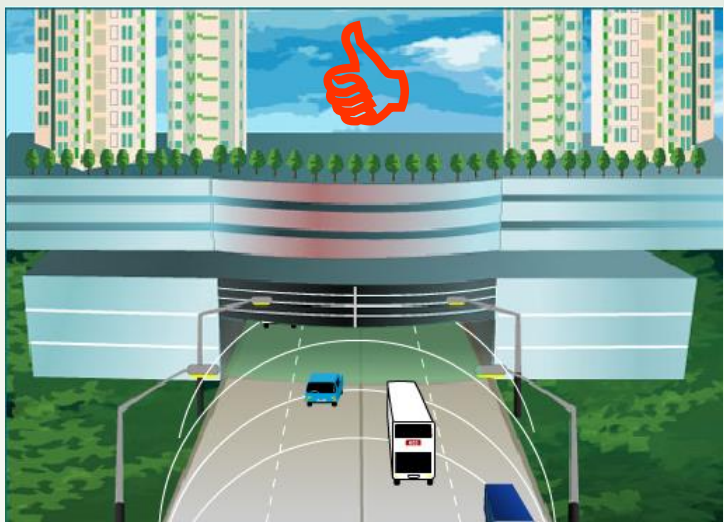
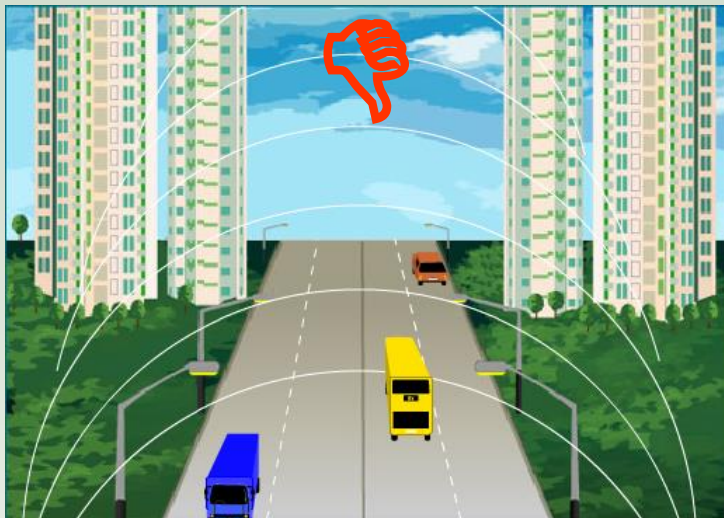


Primer:



Redukcija buke pravilnim planiranjem (5)

- Uticaj buke se može smanjiti trasiranjem saobraćajnica ispod nivoa osetljivih zona na buku (stambenih objekata).



Primer:



Redukcija buke pravilnim planiranjem (6)

- Uticaj buke se može smanjiti lociranjem osetljivih zona na podijumima koji se mogu koristiti za drugu namenu (parking, tržni centar).



Primer:



Proračun redukcije nivoa buke barijerama (1)

- Primarna funkcija barijere je da redukuje nivo buke koji se direktnim putem prenosi od mesta izvora do mesta prijema.
- Pri proračunu barijere potrebno je zadovoljiti:
 - ⊕ Akustičke zahteve
 - ⊕ Povećati redukciju nivoa buke na mestu prijemnika
 - ⊕ Ublažiti povećanje nivoa buke na strani izvora buke
 - ⊕ Neakustičke zahteve
 - ⊕ Estetski izgled barijere
 - ⊕ Bezbednost (vozača, ptica!)
 - ⊕ Održavanje
- Step en redukcije nivoa buke određen je:
 - ⊕ Materijalom barijere
 - ⊕ Lokacijom barijere
 - ⊕ Dimenzijama barijere
 - ⊕ Oblikom barijere

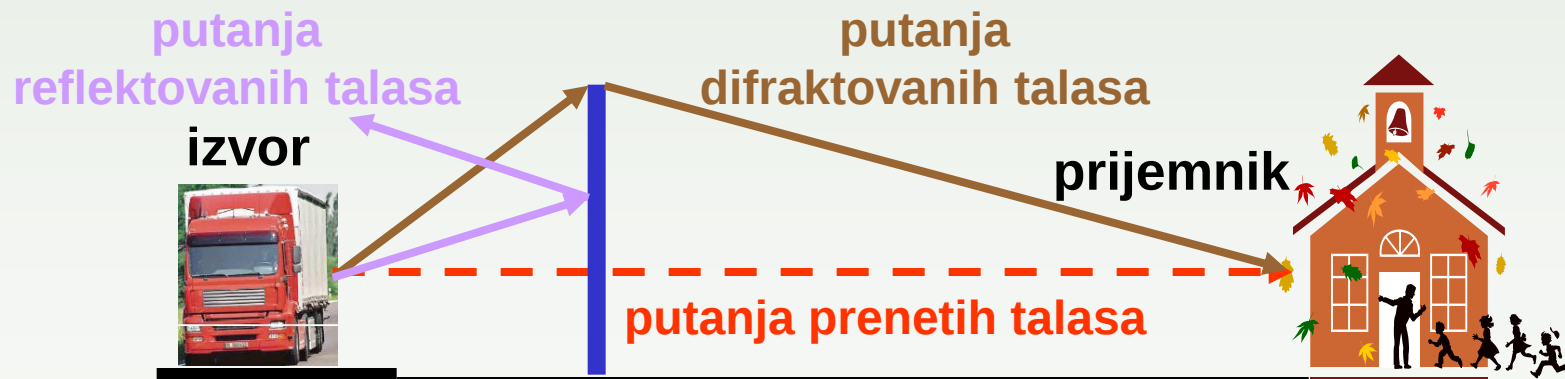


Proračun redukcije nivoa buke barijerama (2)

- Bez barijere zvučni talasi se direktnom putanjom prostiru od izvora buke do prijemnika.

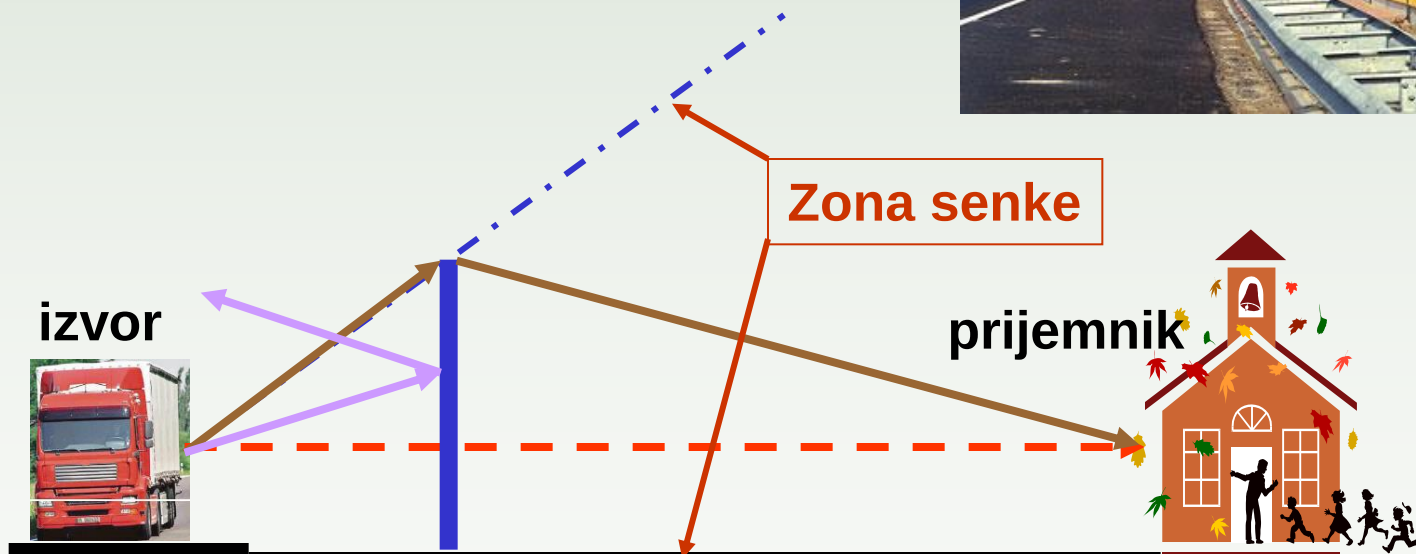


- Postavljanjem barijere deo energije se reflektuje od pregrade, deo energije se apsorbuje pregradom a deo energije, oslabljen zbog izolacionih karakteristika pregrade, nastavlja da se prostire do prijemnika. Deo energije, zbog efekta difrakcija, savija se oko gornje i bočnih ivica pregrade i nastavlja da se prostire do prijemnika.



Proračun redukcije nivoa buke barijerama (3)

- U zoni senke, iza barijere, nivo buke je određen delom energije (oslabljena) koja se prenese kroz pregradu i delom energije zvučnih talasa koji skreću sa prave putanje i savijaju se ka prijemniku (i ova energije se oslabljena).
- Efekat povećava nivoa buke na strani izvora može se umanjiti oblaganjem barijera sa te strane apsopricionim materijalom, čime se smanjuje reflektovana energija.



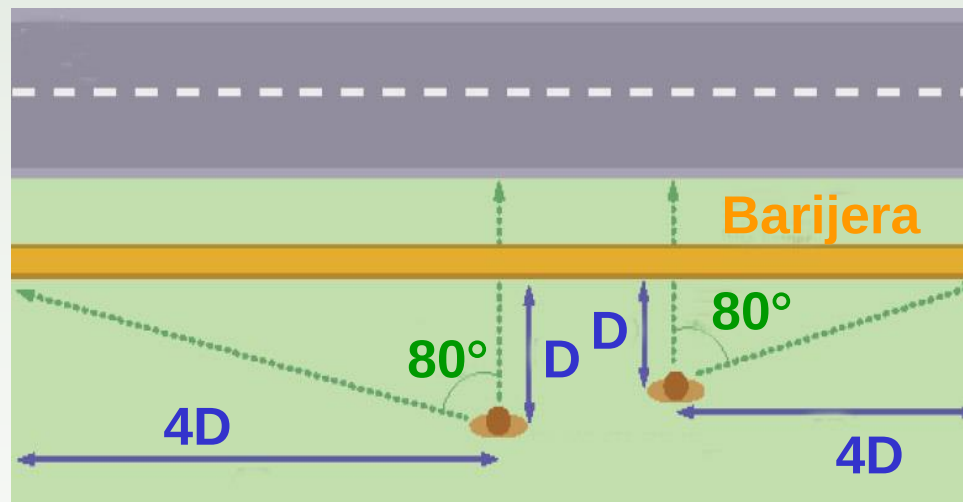
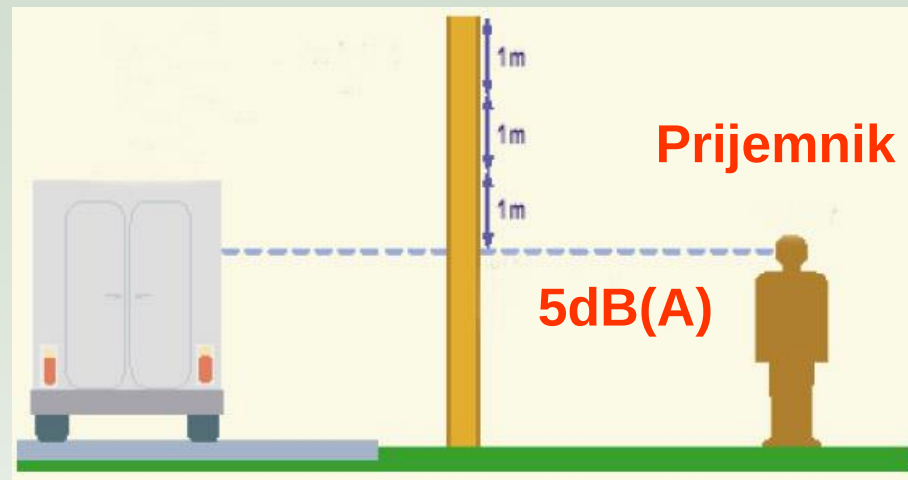
Proračun redukcije nivoa buke barijerama (4)

- Deo energije koja se prenese kroz pregradu određen je izolacionim karakteristikama materijala od kojeg je sagrađena barijera. Da bi efekat barijere bio potpun taj deo energije mora biti zanemarljiv u odnosu na deo energije koju nose difraktovani talasi.
- Izolaciona moć pregrade treba da obezbedi da nivo buke prenetih talasa na mestu prijemnika bude 10dB ispod nivoa buke difraktovanih talasa.
- Izolaciona moć pregrade treba da ima vrednost koja je za najmanje 10dB veća od nivoa redukcije buke koja se želi postići.

Materijal	d[mm]	M[kg/m ²]	R[dB]
Iverica	13	8.3	20
Drvo	25	18	21
Čelik	0.95	7.3	22
Aluminijum	1.59	4.4	23
Laki betonski zid	100	161	36
Zid od opeke	150	288	40

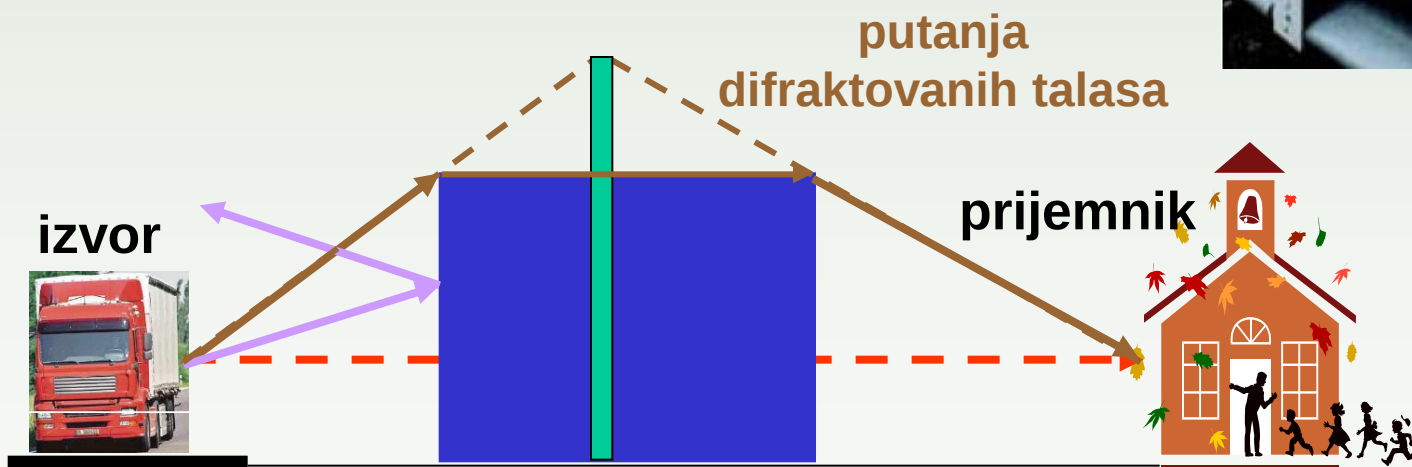
Proračun redukcije nivoa buke barijerama (5)

- Deo energije koja se prenesi difraktovanim talasima zavisi od lokacije, dimenzija i oblika barijere.
- Redukcija buke iznosi 5dB(A) ako je visina barijere dovoljna da blokira direktnu vidljivost izvora i prijemnika. Dodatna redukcija buke od 1.5dB(A) dobija se za svako povećanje visine barijere od 1m .
- Širina barijere mora da bude najmanje 8 puta veća od rastojanja prijemnika do barijere da bi se sprečio uticaj difraktovanih talasa oko bočnih ivica barijere.



Proračun redukcije nivoa buke barijerama (6)

- Debljina prepreke utiče na dodatnu redukciju nivoa buke time što se povećava dužina putanje kojom se prostiru difraktovani talasi.
- Isti efekat redukcije ima i tanja pregrada čija se efektivna visina određuje postupkom prikazanim na slici.



Proračun redukcije nivoa buke barijerama (7)

- Slabljenje nivoa buke barijerom određeno je razlikom dužine puta koji pređe difraktovani talas i dužine puta koji bi prešao direktan talas.

RLS 90

$$C_B = -7 \cdot \log \left[5 + \left(\frac{70 + 0.25 \cdot s_{\perp}}{1 + 0.2 \cdot z_{\perp}} \right) \cdot z_{\perp} K_{w\perp}^2 \right]$$

SCHALL 03

$$z_{\perp} = A_{\perp} + B_{\perp} + C_{\perp} - s_{\perp}$$

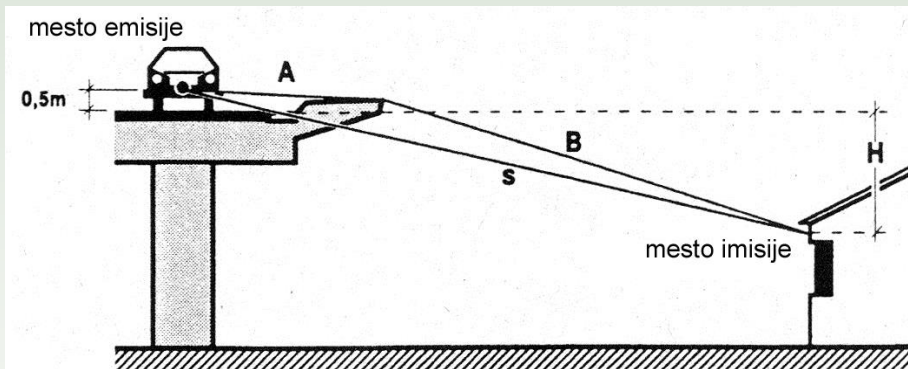
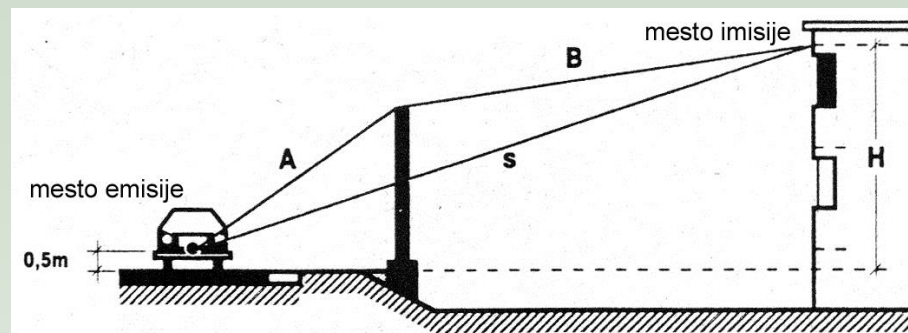
$$K_{w\perp} = \exp \left(- \frac{1}{2000} \cdot \sqrt{\frac{A_{\perp} \cdot B_{\perp} \cdot s_{\perp}}{2 \cdot z_{\perp}}} \right)$$

- ✚ $s_{\perp}$ – najkraće rastojanje prijemne do emisione tačke
- ✚ $z_{\perp}$ – razlika dužina difrakcione i direktne putanje
- ✚ $A_{\perp}$ – rastojanje izvora do gornje ivice barijere
- ✚ $B_{\perp}$ – rastojanje prijemnika do gornje ivice barijere
- ✚ $C_{\perp}$ – suma rastojanja prelomnih ivica kod barijera sa više prelomnih ivica
- ✚ $K_{w\perp}$ – meteorološka korekcija

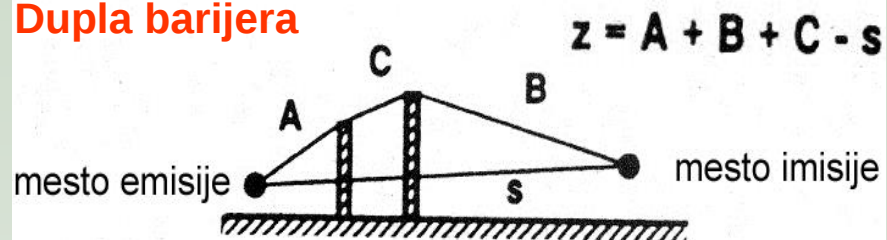
Napomena: Kada postoji barijera zanemaruje se slabljenje zbog apsorpcije terena i meteoroloških uslova $C_G=0$.

Proračun redukcije nivoa buke barijerama (8)

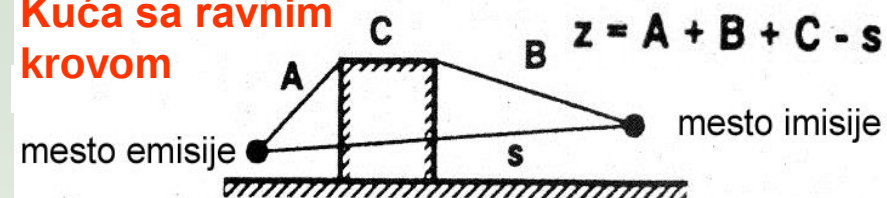
► Primeri izračunavanja razlike dužine difrakcione i direktne putanje.



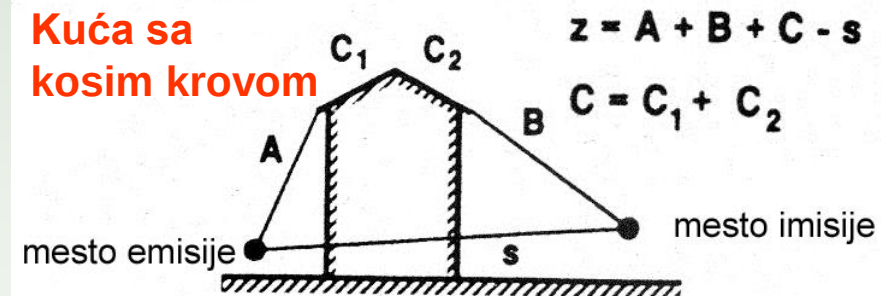
Dupla barijera



Kuća sa ravnim krovom



Kuća sa kosim krovom



Zemljani nasip

