

AKUSTIČKI KOMFOR

(i kako ga postići)

Miomir Mijić
Elektrotehnički fakultet, Beograd



Akustički komfor se kao pojam javio zajedno s nekim drugim vrstama komfora definisanim u arhitekturi.

Akustički komfor u nekoj prostoriji je definisan standardom ISO 6242-3 i predstavlja okolnost u kojoj su zadovoljena tri zahteva čula sluha :

- da su neželjeni zvukovi neprimetni (zaštita od buke),
- da sopstvene aktivnosti ne mogu čuti drugi (zaštita privatnosti),
- da su željeni zvukovi adekvatnog nivoa i kvaliteta.

ZVUČNA ZAŠTITA

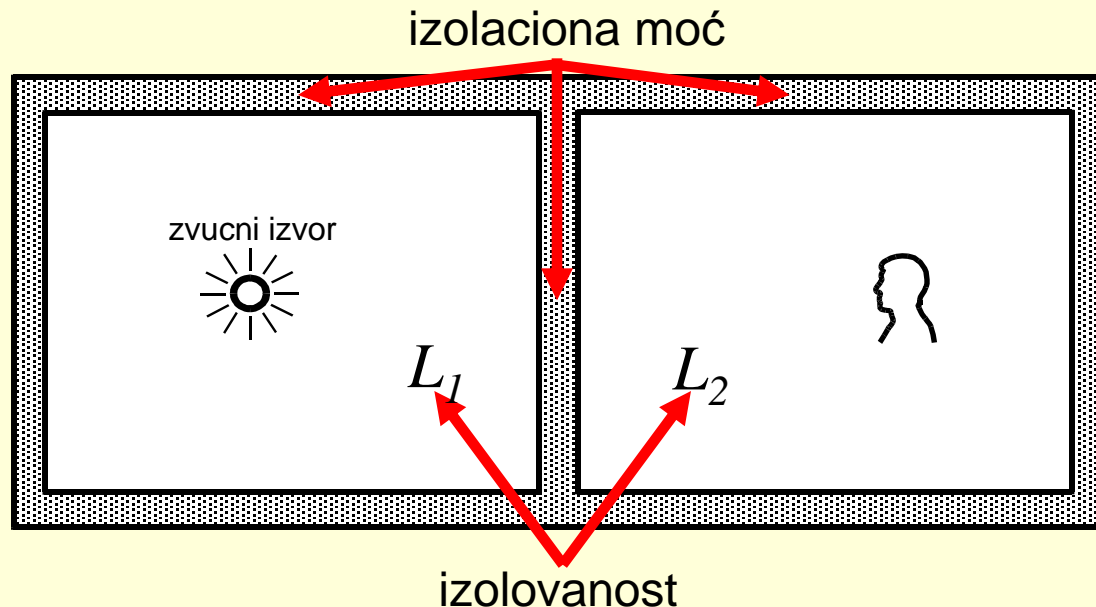
**AKUSTIČKI DIZAJN
PROSTORIJA**

Kako se postiže zvučna zaštita u zgradi?

ISO 6242-3:

- da su neželjeni zvukovi neprimetni (zaštita od buke),
- da sopstvene aktivnosti ne mogu čuti drugi (zaštita privatnosti),

Problem zvučne zaštite u zgradama svodi se na odnos dva prostora: u kome je izvor zvuka i u kome je slušalac.



Definicije osnovnih pojmova:

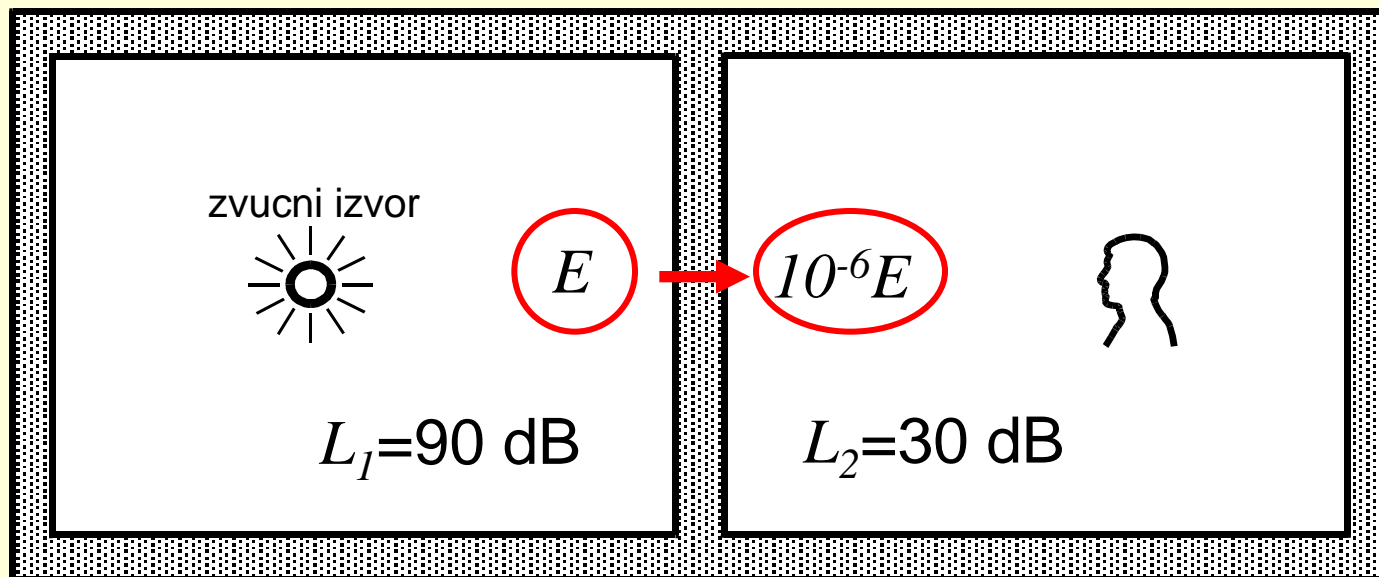
izolovanost D - $L_1 - L_2$

izolaciona moć R - svojstvo pregrade da zadrži zvuk

Zvučna zaštita se bavi podešavanjem izolovanosti između relevantnih prostora u zgradi.

Problem u realizaciji zvučne zaštite je u tome što čulo sluha ima ekstremne zahteve, pa su u apsolutnom smislu potrebna velika slabljenja zvučne energije u pregradama.

jedna ilustracija zahteva zvučne izolacije



Ovo je prvi uzrok složenosti rešavanja zvučne zaštite

Kako zaustaviti zvuk u zgradi?

Da bi se razumeli principi zvučne zaštite, potrebno je razumeti šta je to zvuk.

Opšta definicija zvuka: – vremenski promenljivi mehanički poremećaj u elastičnoj sredini

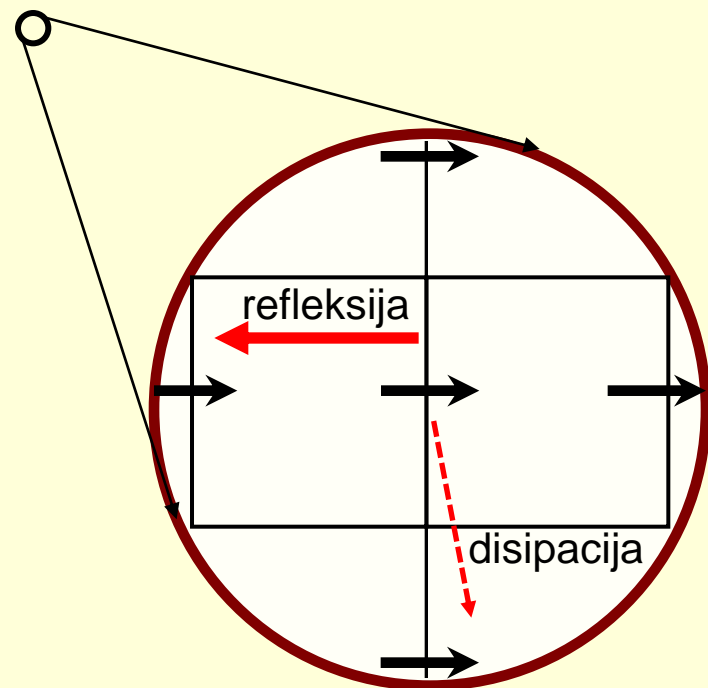
Zaključak:

zvuk je mehanička pojava

(sa svim posledicama koji proizilaze iz te činjenice)

Mehanička priroda zvuka uzrok je svih specifičnosti zvučne zaštite u zgradama

U razmatranju zvučne zaštite postoji neka mehanička energija koja se prenosi kroz prostor tako što prelazi od jednog do drugog elementa zapremine medija kroz koji se prostire.

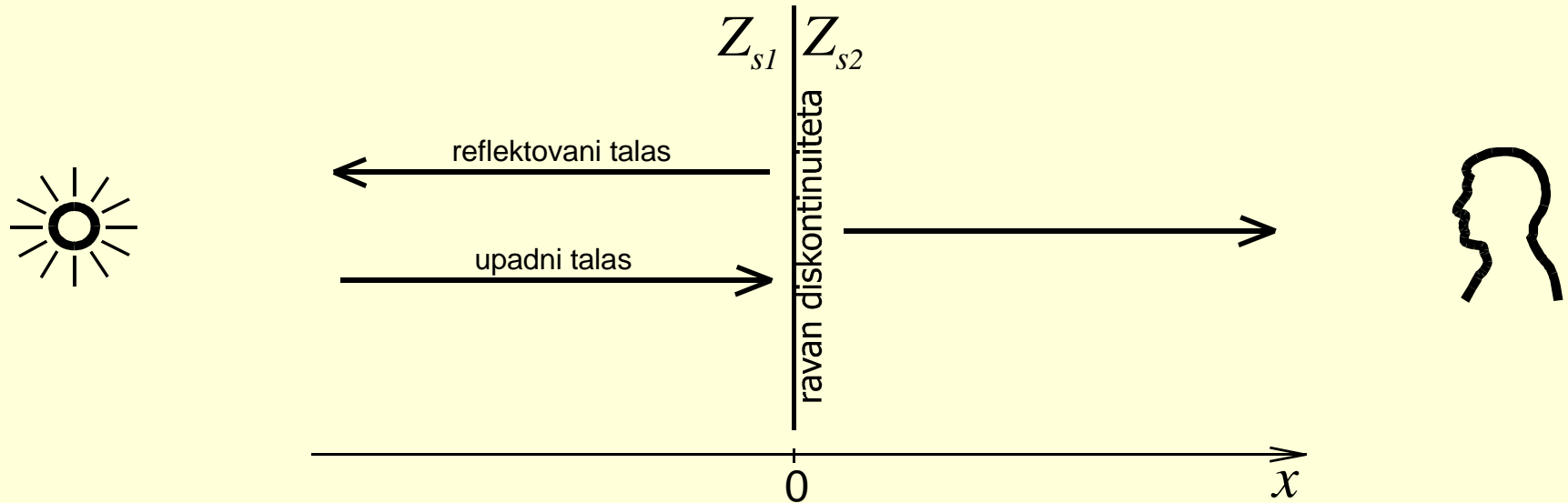


Sprečavanje prolaska energije u zvučnoj zaštiti moguće je na dva načina:

- pretvaranjem mehaničke energije zvuka u toplotu (disipacijom)
- vraćanjem energije nazad (refleksijom)

Disipacija energije sama ne može biti dovoljno efikasna u realnom vremenu, pa je refleksija osnovno sredstvo zaštite

Vraćanje energije nazad (refleksija) dešava se kada talas naiđe na diskontinuitet sredine



$$Z_s = \rho c$$

ρ je gustina medija (kg/m^3),
 c je brzina zvuka (m/s)

REZIME

Zvuk se u zgradama može zaustaviti u potrebnoj meri samo diskontinuitetima sredine kroz koju se prostire zvuk

Diskontinuiteti mogu biti

- u vazduhu (pregrade) i
- u građevinskom materijalu (fuge, dilatacije, kombinacija materijala različitih fizičkih svojstava)

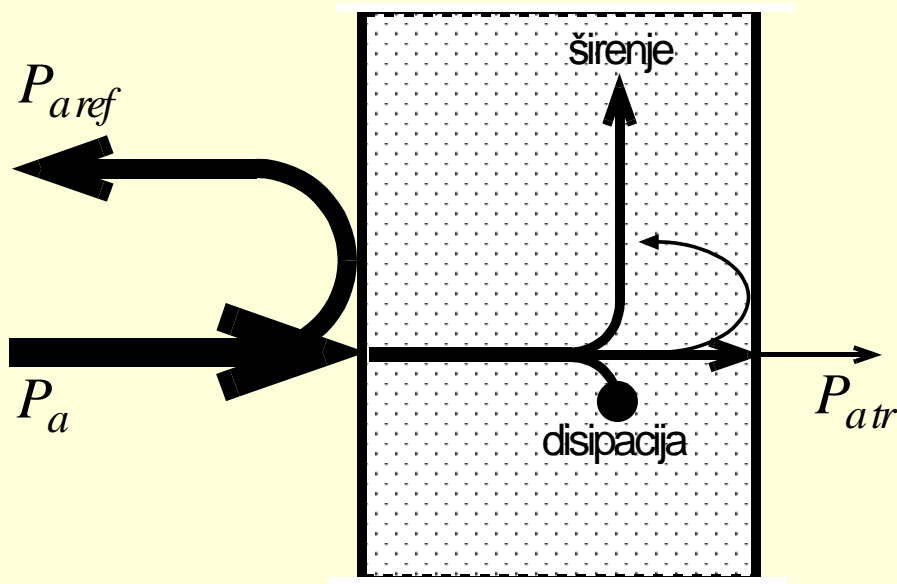
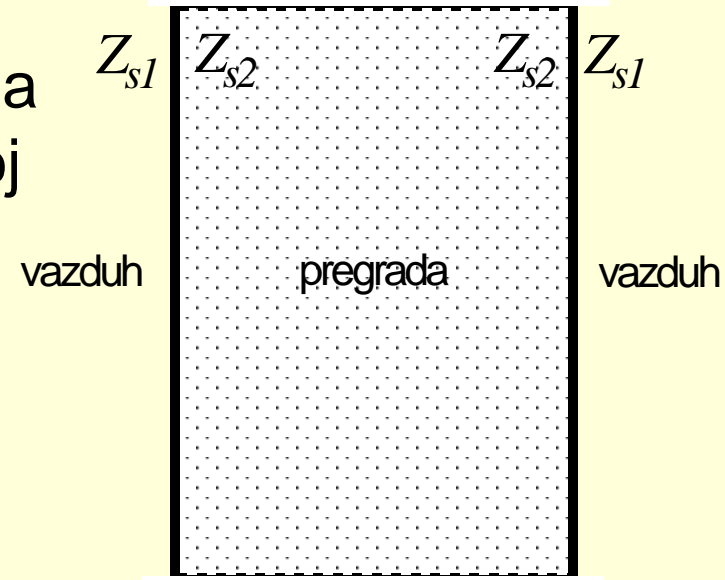
U dvostrukim i višestrukim pregradama efekat diskontinuiteta se povećava dodavanjem disipacije (to se dešava u vuni)

Vuna je aditiv, a ne izolator!

Pregrade kao diskontinuiteti

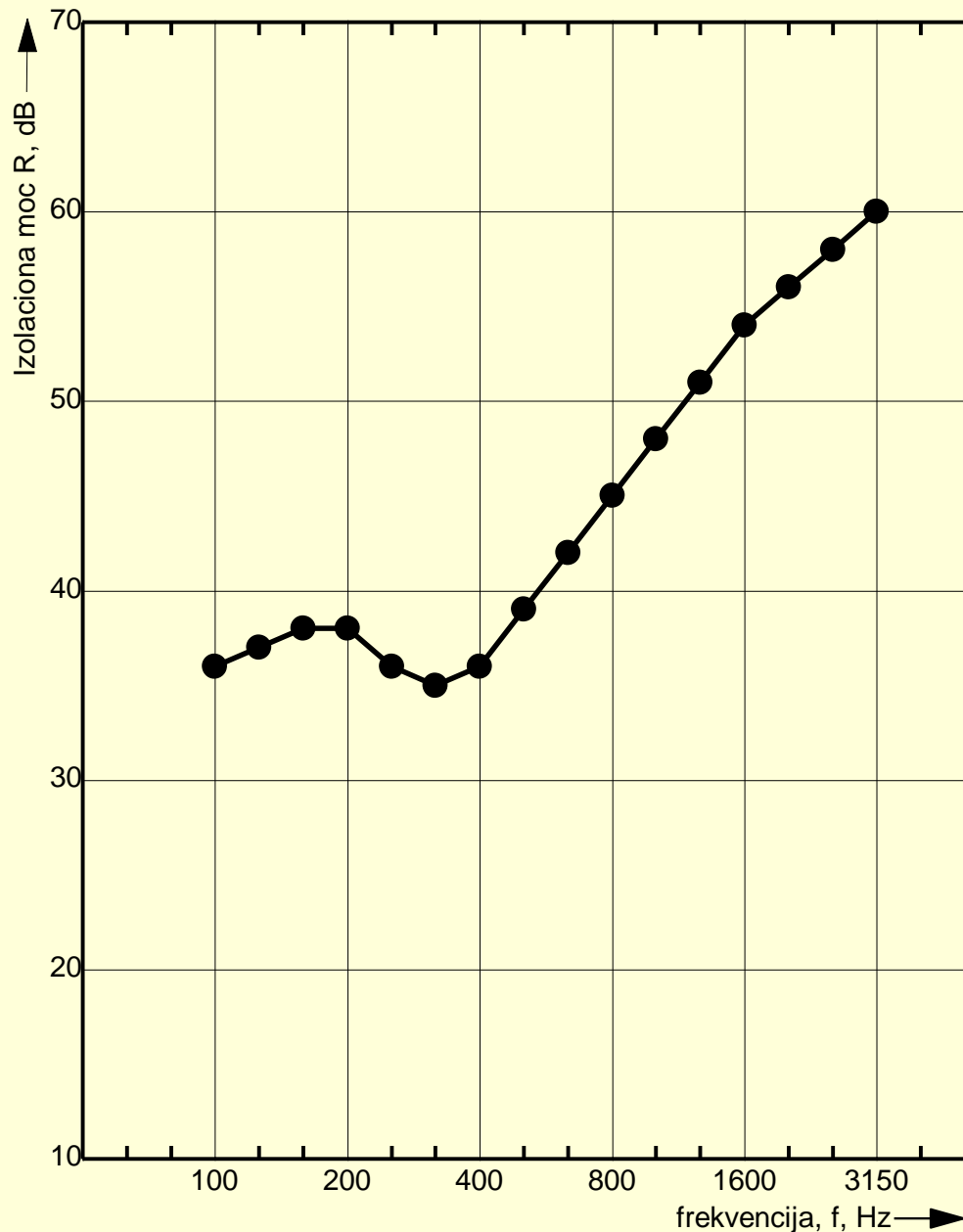
Pregrada u akustičkom smislu predstavlja diskontinuitet između dva medija i na njoj se pojavljuje refleksija

Na pregradi postoji dva diskontinuiteta.



Definiše se izolaciona moć zida:

$$R = 10 \log \frac{P_a}{P_{atr}} \text{ [dB]}$$



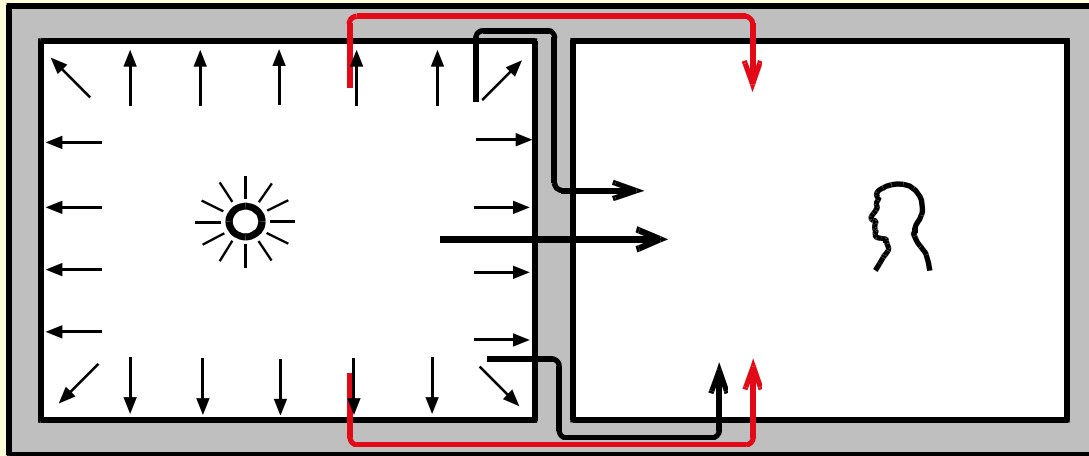
Izolaciona moć R zavisi od površinske mase pregrade m_s (kg/m^2)

Izolaciona moć uvek raste sa frekvencijom, uz razne devijacije koje su posledica talasnih fenomena u pregradi

Kuda prolazi zvuk između prostorija?

Do sada je prikazan mehanizam prolaska zvuka kroz jednu pregradu, ali zgrada predstavlja složeni sistem različitih pregrada!

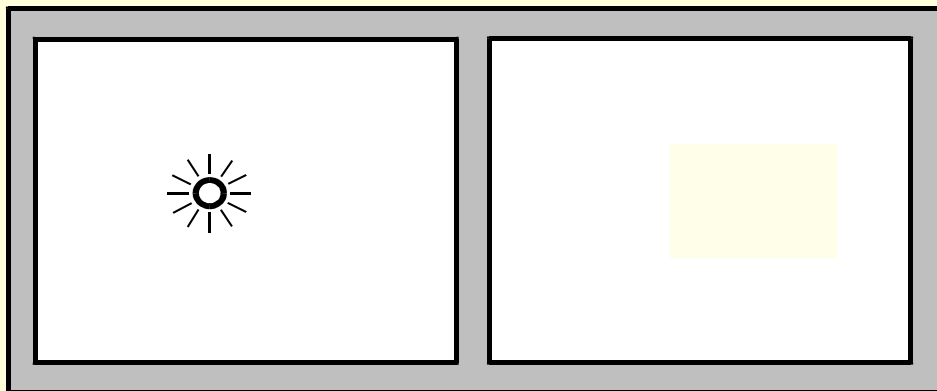
Osnovi korak u rešavanju zvučne izolacije je razumevanje puteva kojim zvučna energija prolazi.



Kad radi neki zvučni izvor zvučna energija je približno konstantna po prostori i na svih šest površina prelazi u građevinski materijal.

Ovo je drugi uzrok složenosti rešavanja zvučne zaštite

Primer 1 (prema SRPS EN 12354-1):

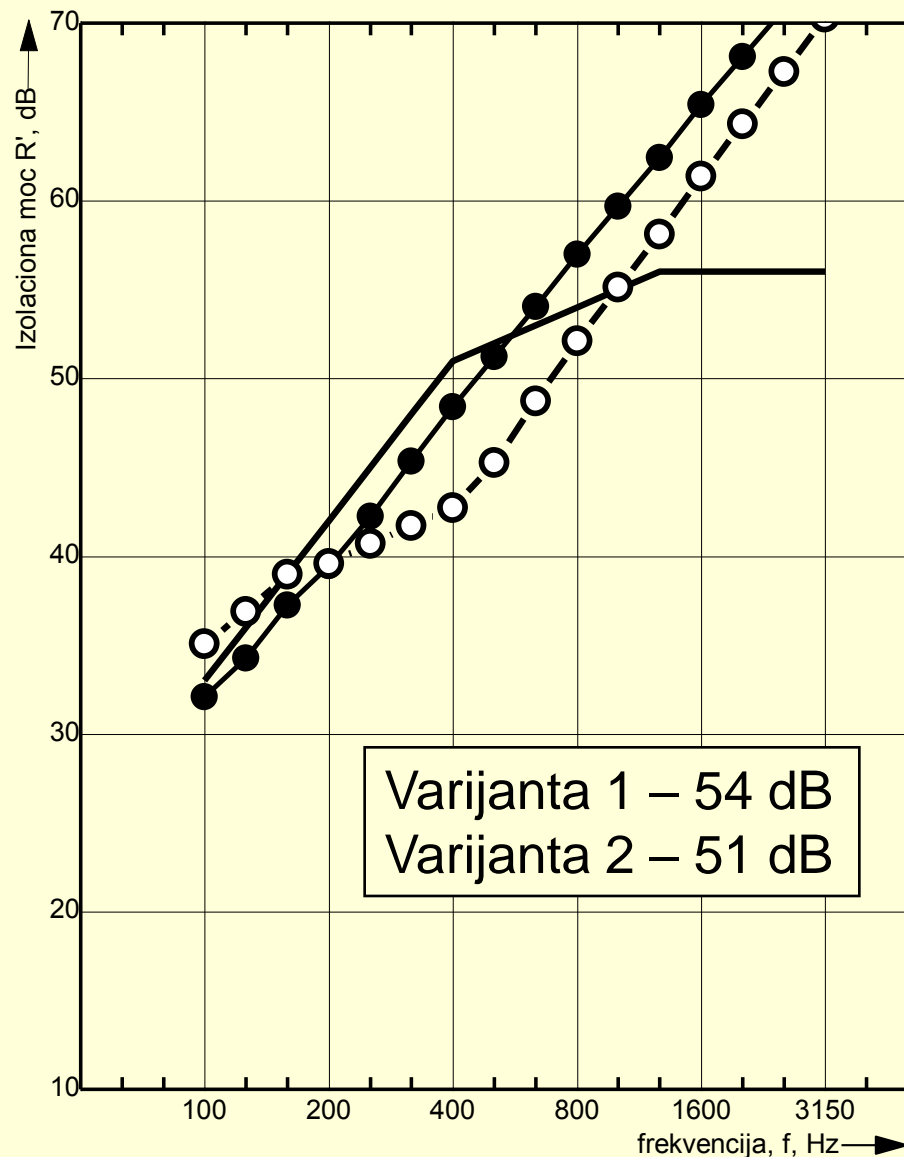


Varijanta 1

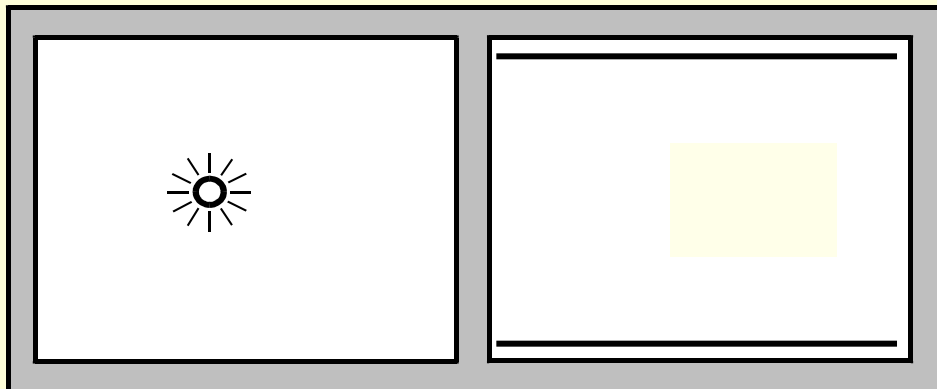
-sve pregrade od AB 20 cm

Varijanta 2

- tavanice i pregradni zid beton 20 cm
- bočni zidovi od blokova debiljine 7 cm
- svi spojevi kruti



Primer 2 (prema SRPS EN 12354-1):

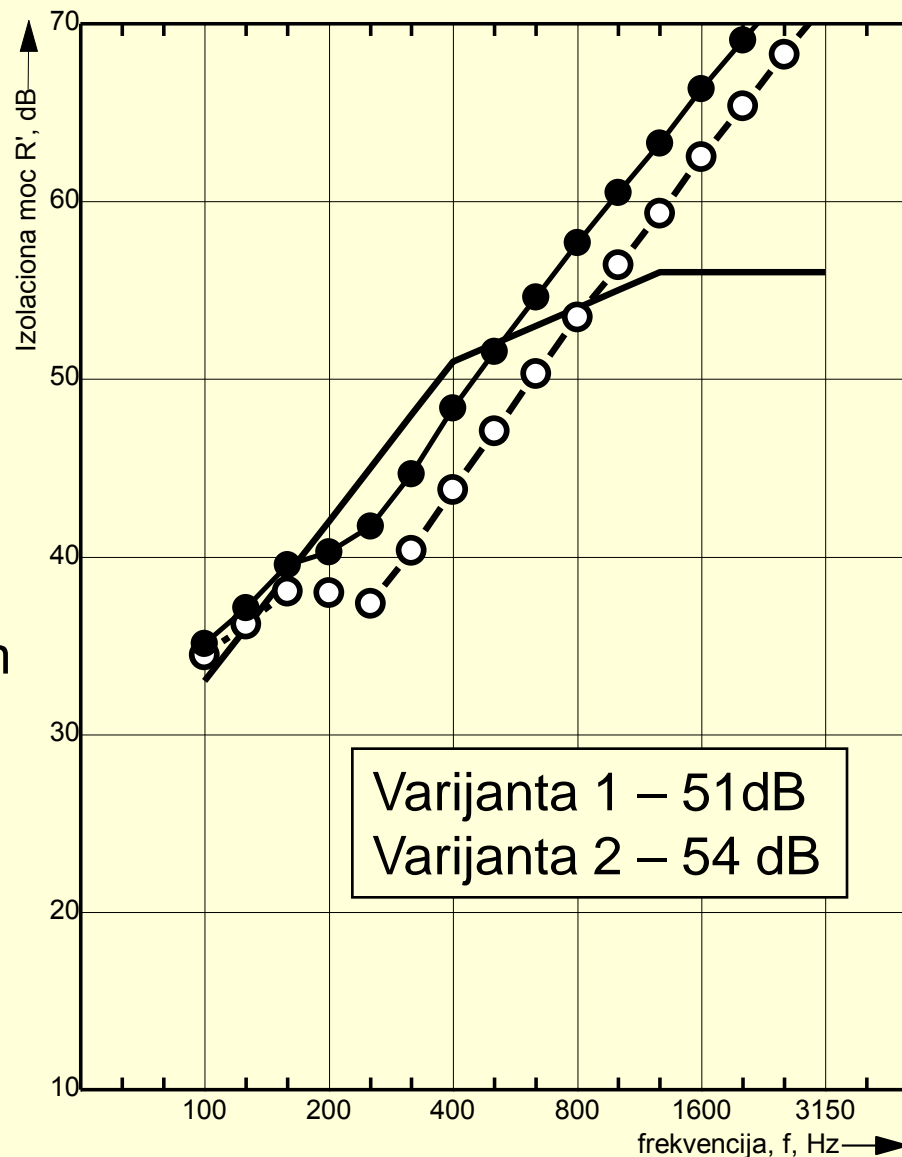


Varijanta 1

- tavanice i pregradni zid beton 20 cm
- bočni zidovi od blokova debiljine 10 cm
- svi spojevi kruti

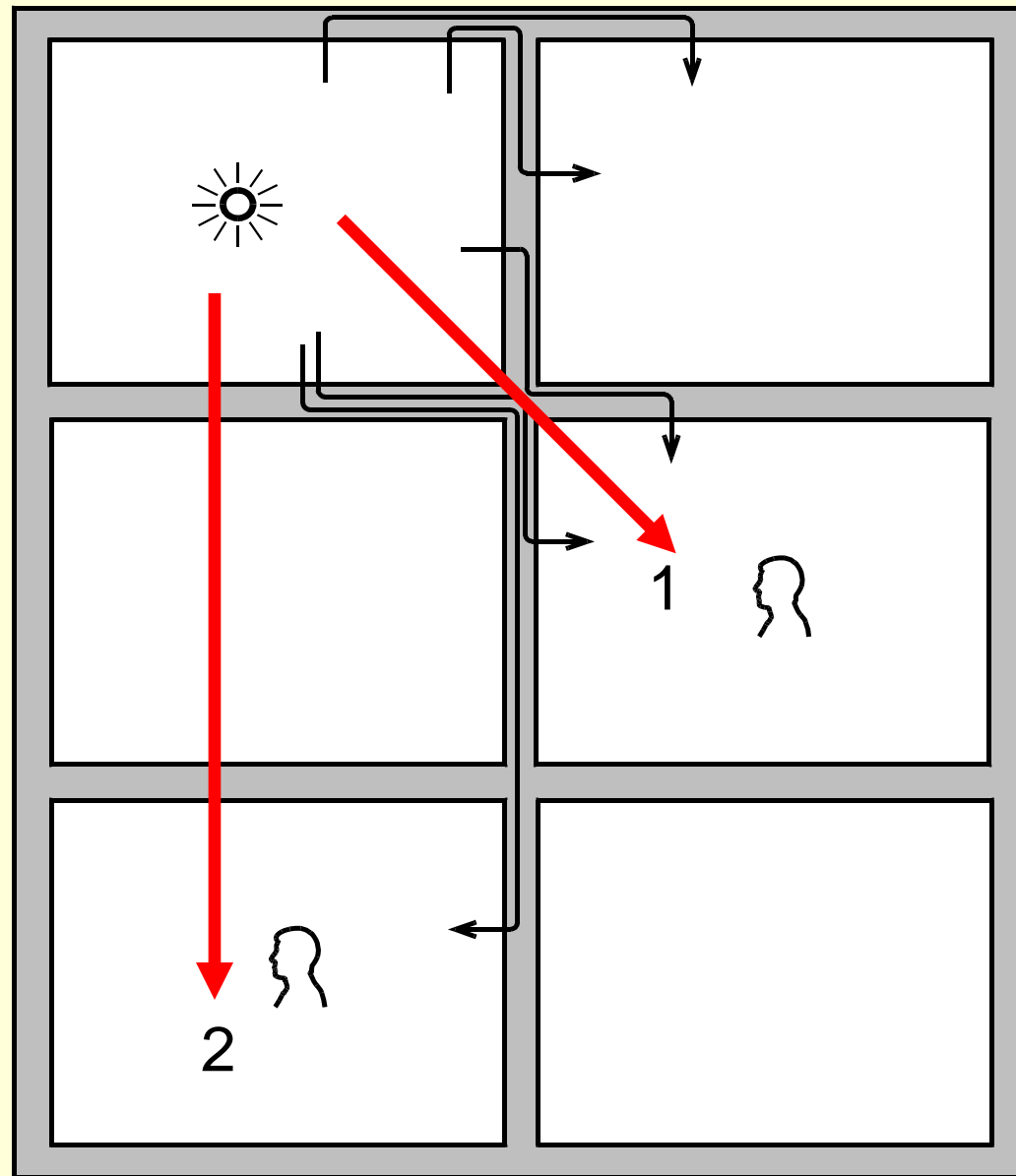
Varijanta 2

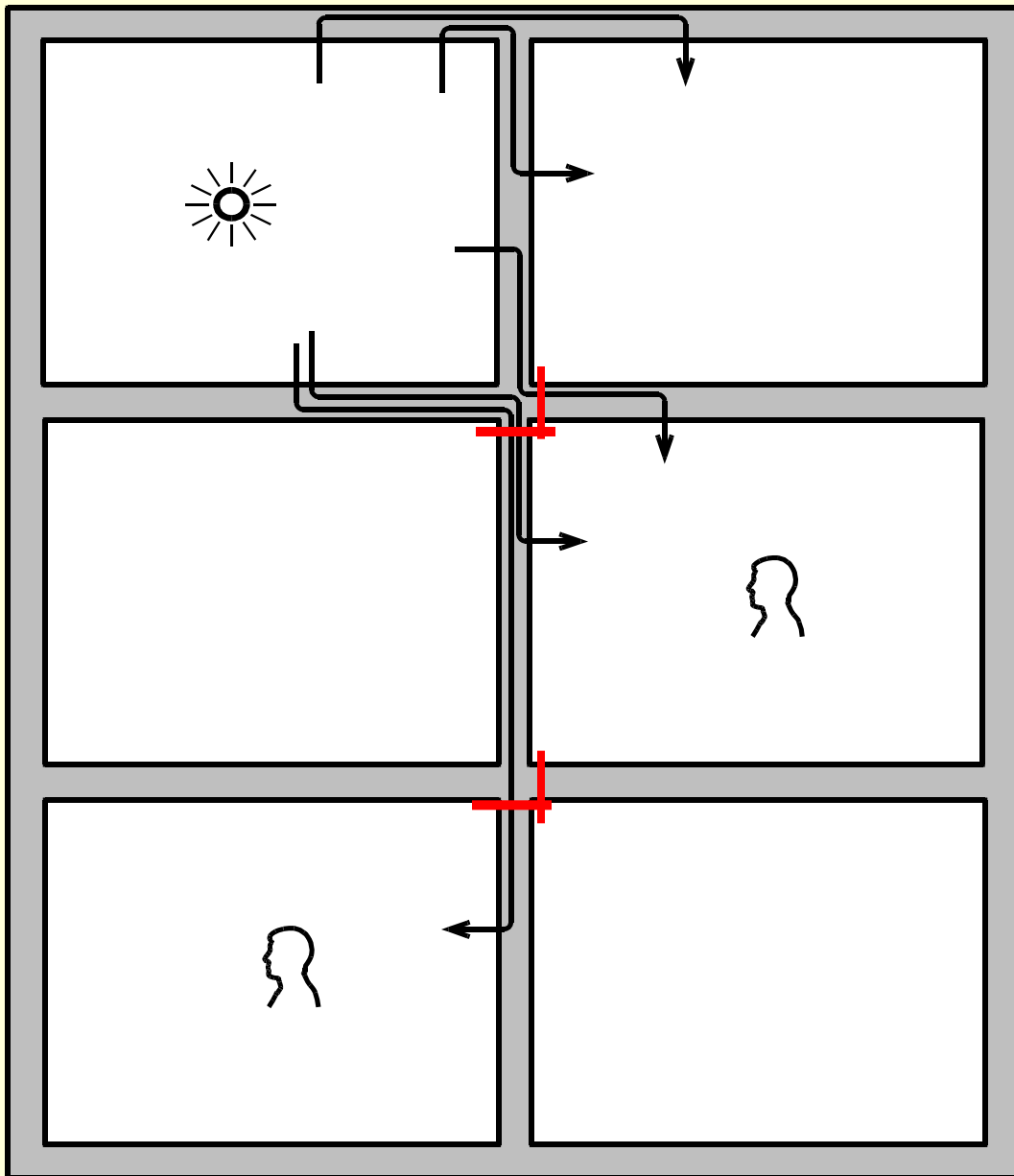
- sve isto, samo dodata gipsana obloga na bočnom zidu 2x12,5mm na potkonstrukciji, sa vunom u međuprostoru



Kad jednom dospe u materijal konstrukcije zgrade, zvučna energija se širi kroz zidove i tavanice

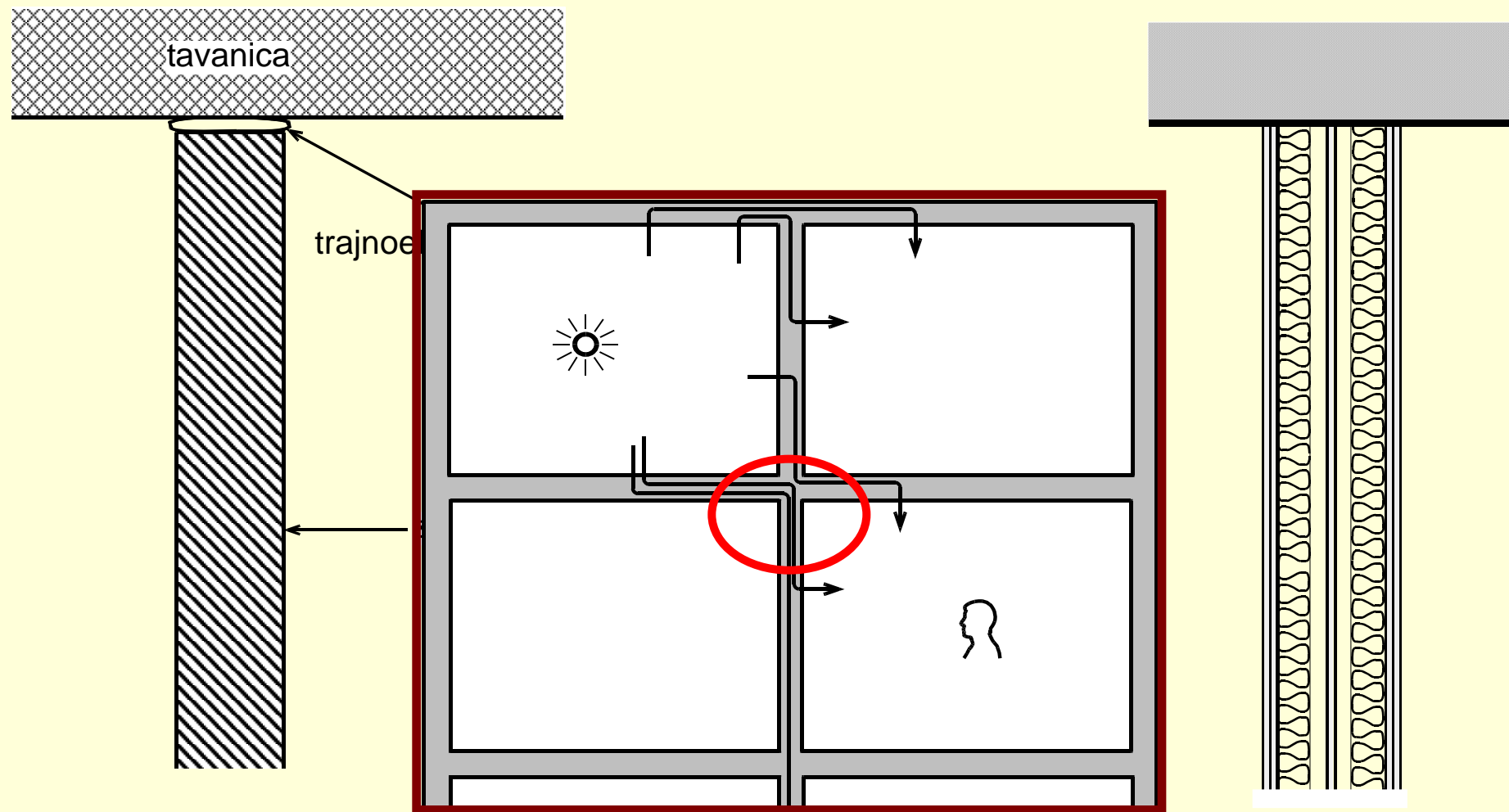
Tako zvuk dospeva do dijagonalno postavljene prostorija (1), ali i do udaljenih prostorija (2)





Jedini način da se ograniči prostiranje zvuka kroz konstrukciju zgrade je diskontinuitetima u materijalu od kojih je zgrada sastavljena.

Primeri diskontinuiteta u građevinskom materijalu



Primer: diskontinuitet u konstrukciji stepeništa



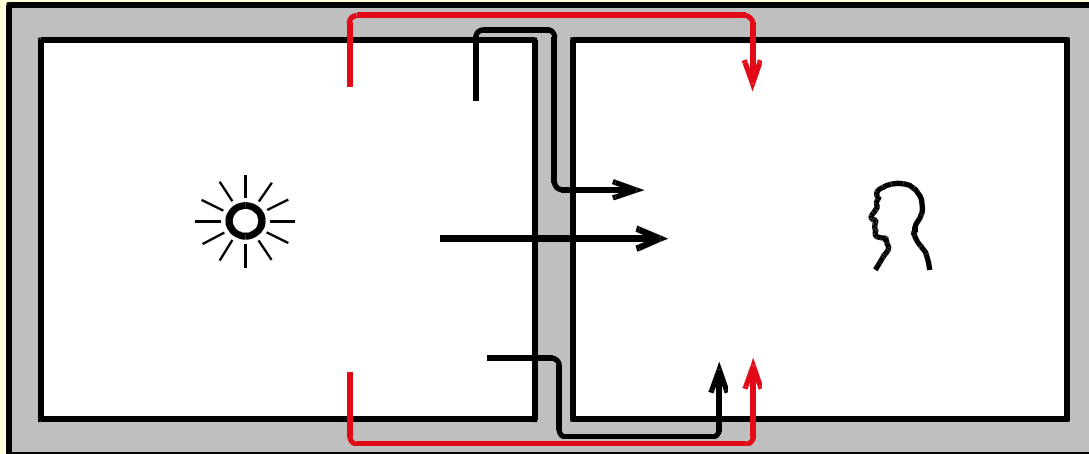
Heavy Construction

Typical Errors – STAIRS



Rigid contact between
stairs and wall or floor

ZAKLJUČAK:

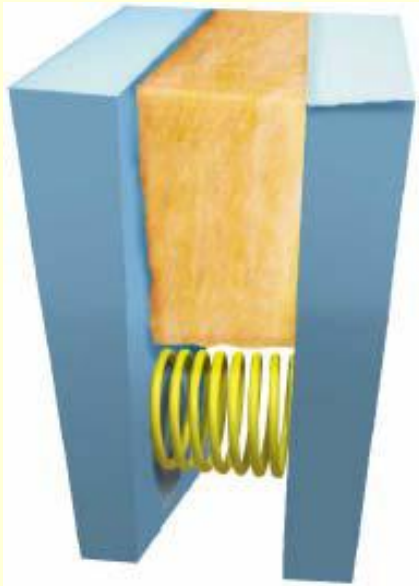
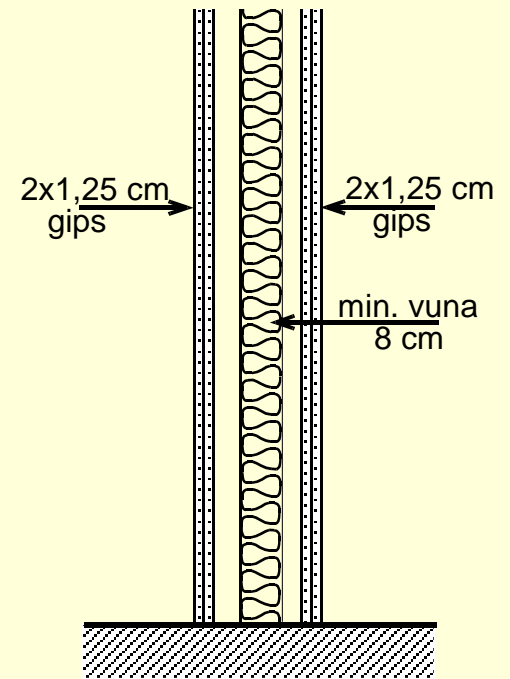


Zvučna izolacija u zgradama je pitanje stanja stvari na svim putanjama prolaska zvuka, a to znači:

1. mase pregrada
2. broja i veličine diskontinuiteta
3. detalja u izvođenju svega toga

Poseban slučaj pregrada sa više diskontinuiteta – gipsani zidovi

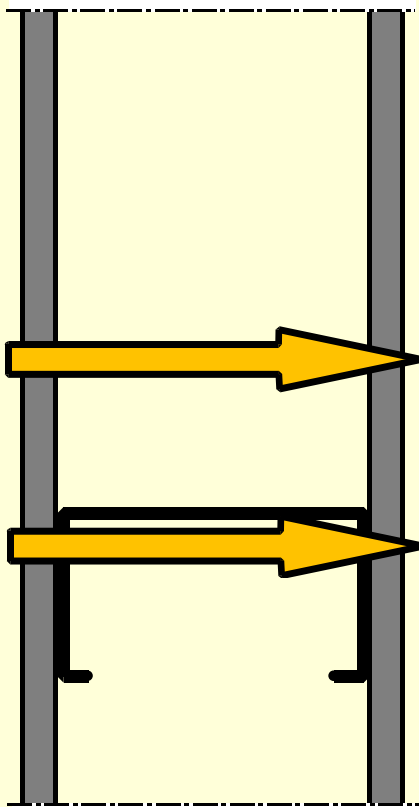
Efekat u izolaciji gipsanih zidova postiže se višestrukim diskontinuitetima i vunom kao dodatkom koji unosi disipaciju energije unutar pregrade



Ideja se zasniva na minimizaciji veza između obloga, zbog čega se koriste elastični elementi limene podkonstrukcije.

Maksimum izolacije se postiže odvojenim podkonstrukcijama, jer se eliminišu sve unutrašnje veze u pregradi.

Postoje dva puta prolaska zvuka kroz ovakvu pregradu:

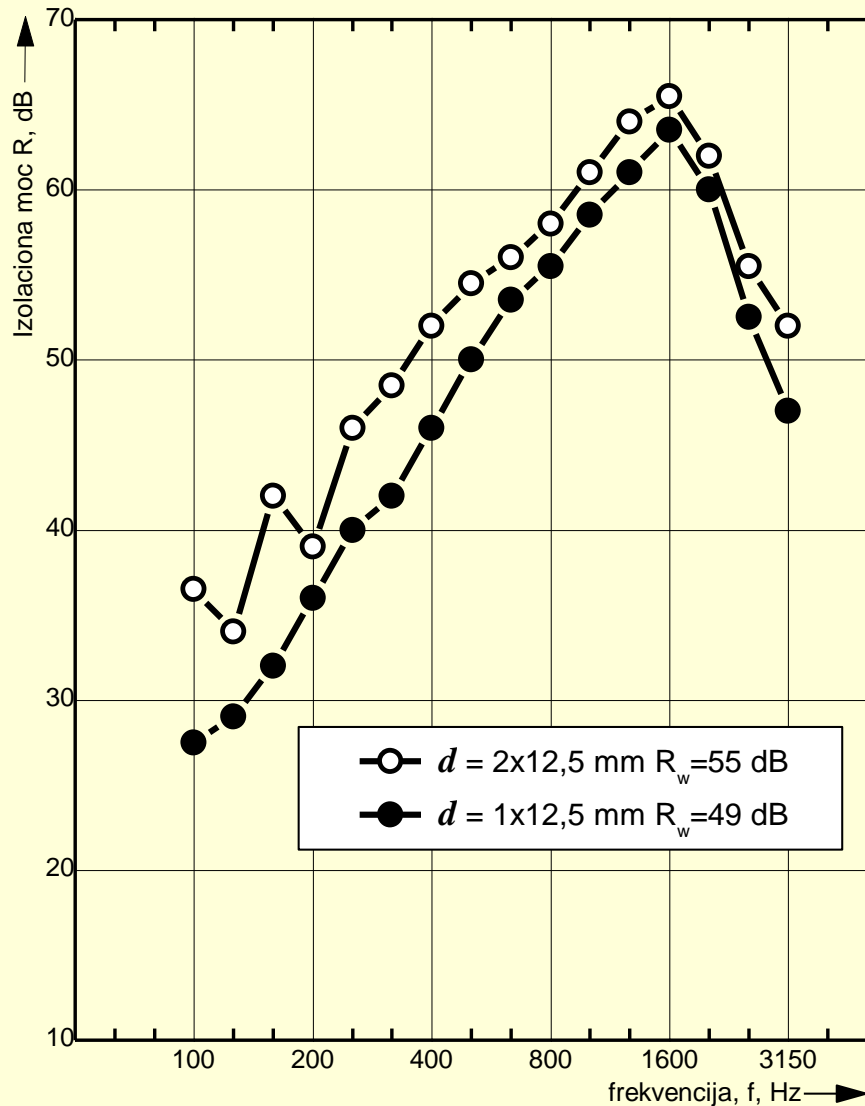


- kroz vazдушnu šuljinu između ploča
- kroz elemente potkonstrukcije

Zato njihova izolaciona moć zavisi od:

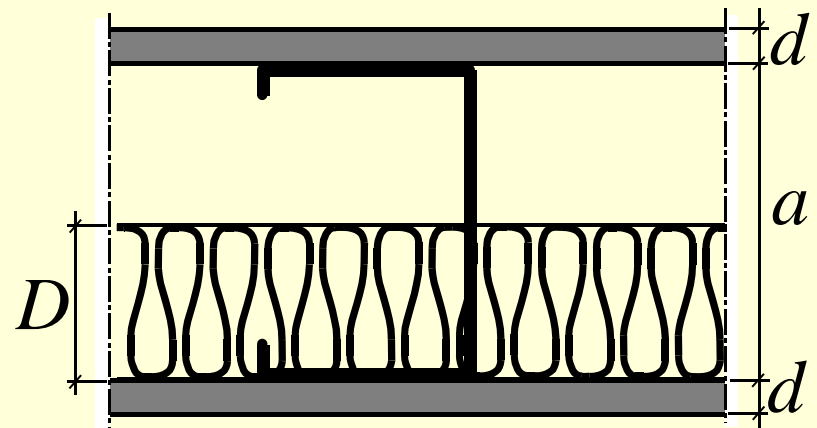
- mase gipsanih obloga
- rastojanja između obloga
- elastičnosti veza u potkonstrukciji
- količine mineralne vune
- broja diskontinuiteta unutar pregrade
- detalja u izvođenju

Uticaj mase gipsanih obloga



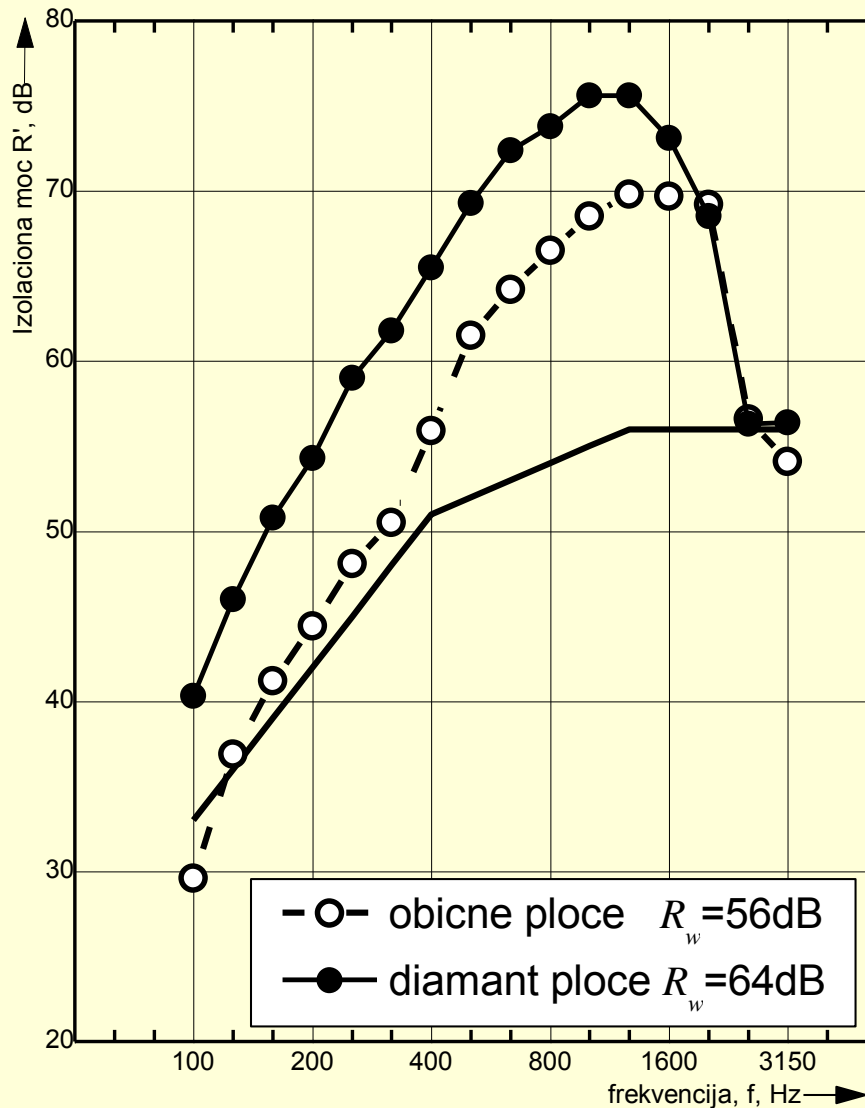
Primer: uticaj povećanja broja ploča u oblogama

$a = 100 \text{ mm}$
 $D = 40 \text{ mm}$



Udvajanje ploča povećava izolacionu moć za 6 dB

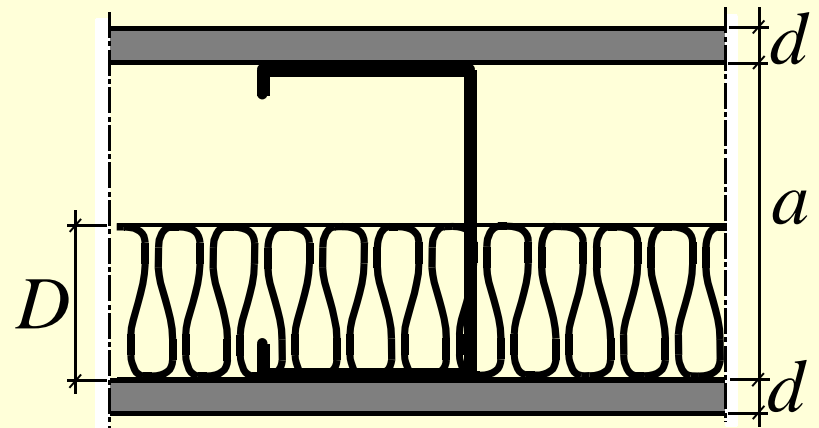
Uticaj mase gipsanih obloga



Primer: uticaj primene težih ploča u oblogama (dvostruke ploče obostrano)

$$a = 100 \text{ mm}$$

$$D = 80 \text{ mm}$$

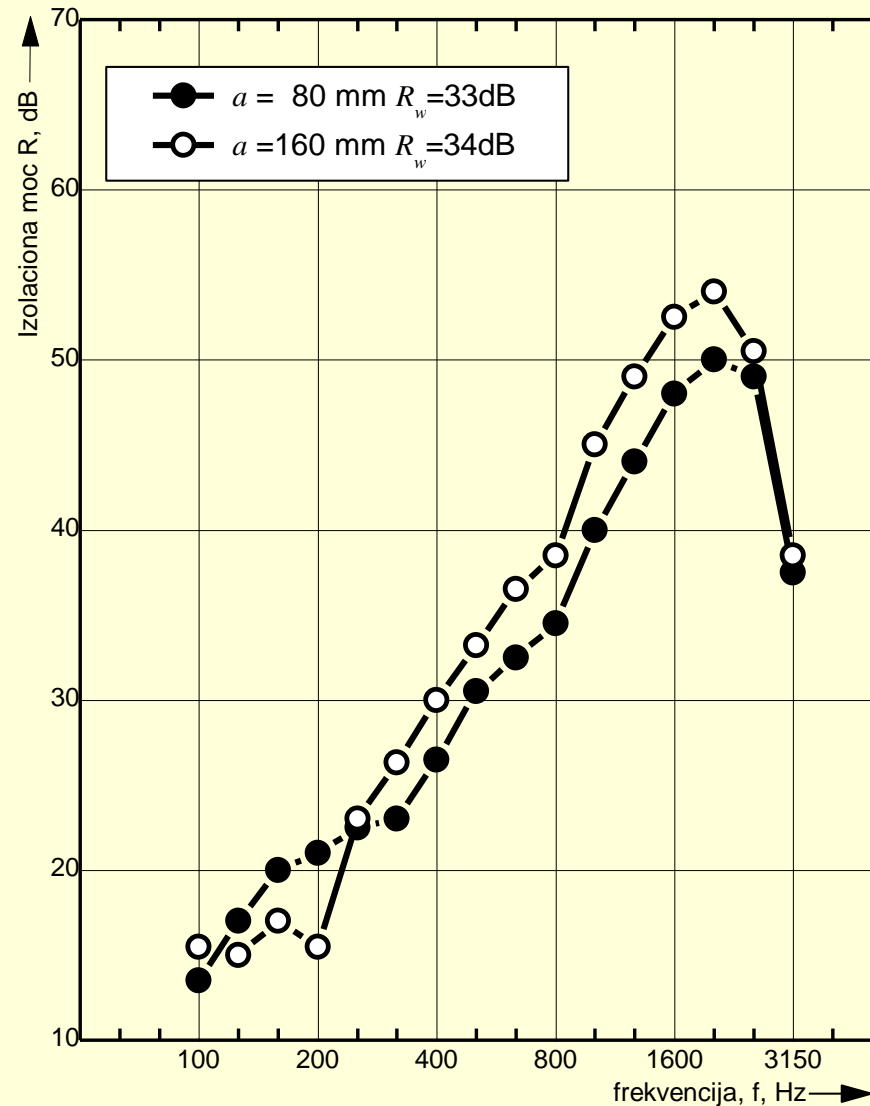
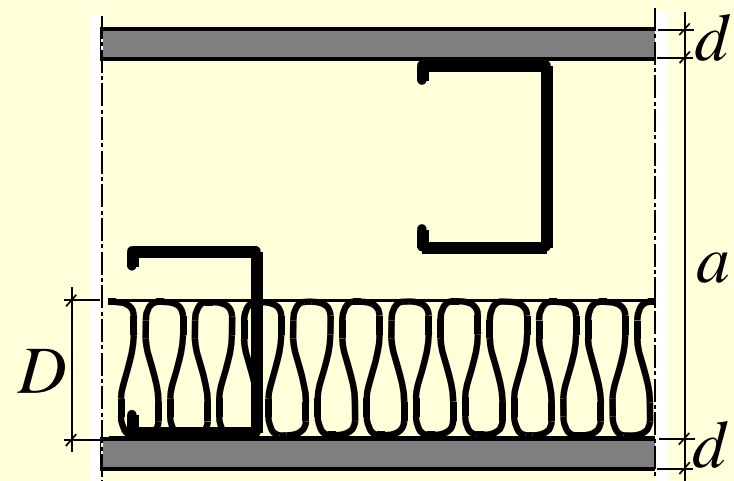


Uticaj rastojanja između ploča

Primer: pregrada sa po jednom pločom sa obe strane, na nezavisnim podkonstrukcijama

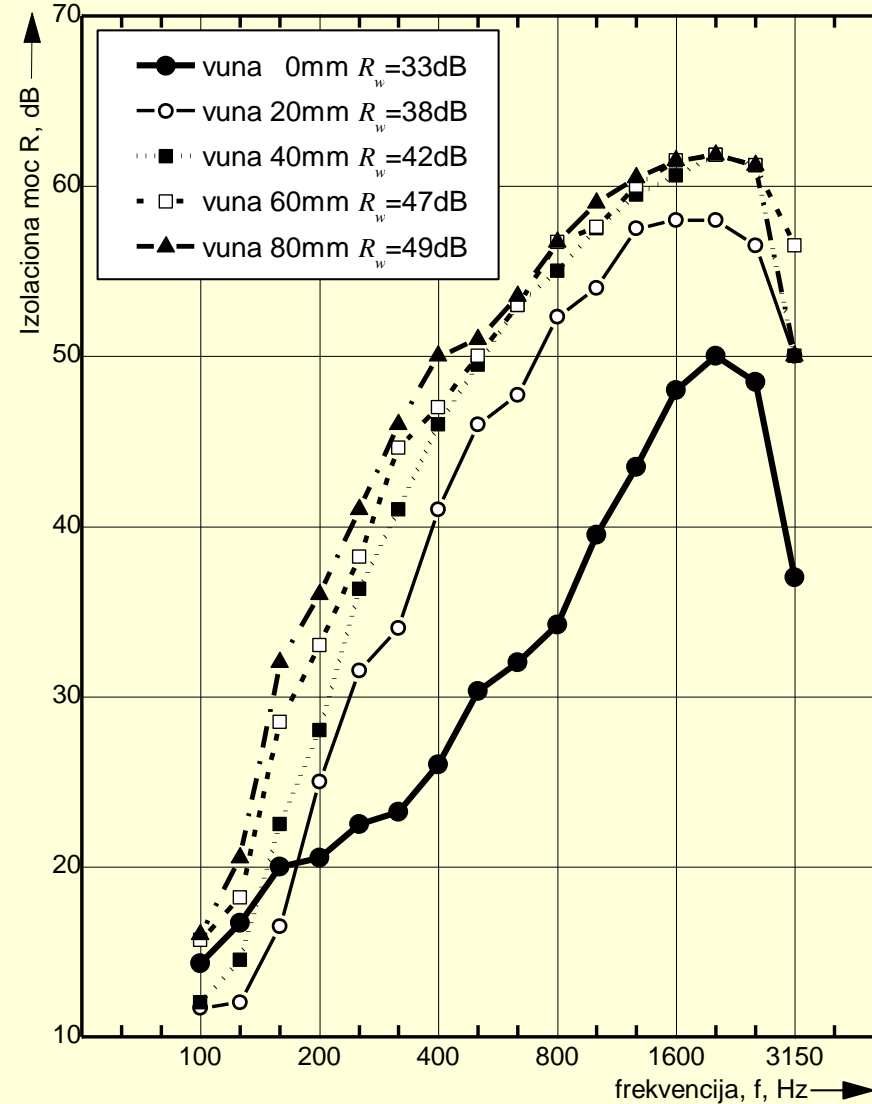
$$d = 9,5 \text{ mm}$$

$$D = 0$$



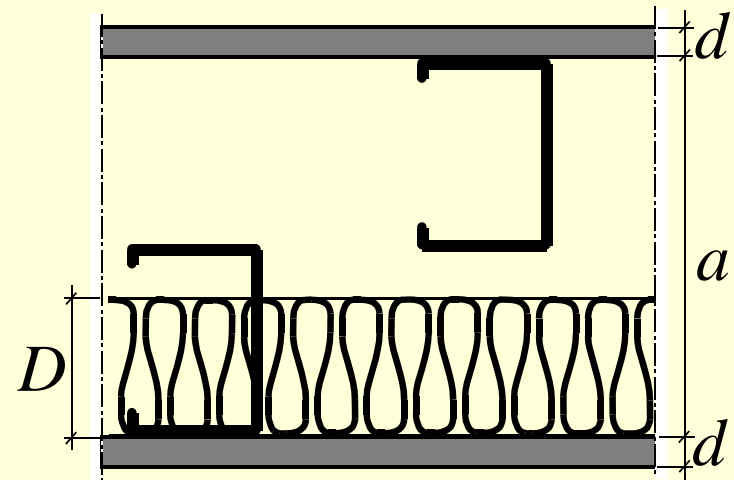
Uticaj debljine (količine) vune

Primer: pregrada sa po jednom pločom gipsa sa obe strane, na nezavisnim potkonstrukcijama



$$d = 9,5 \text{ mm}$$

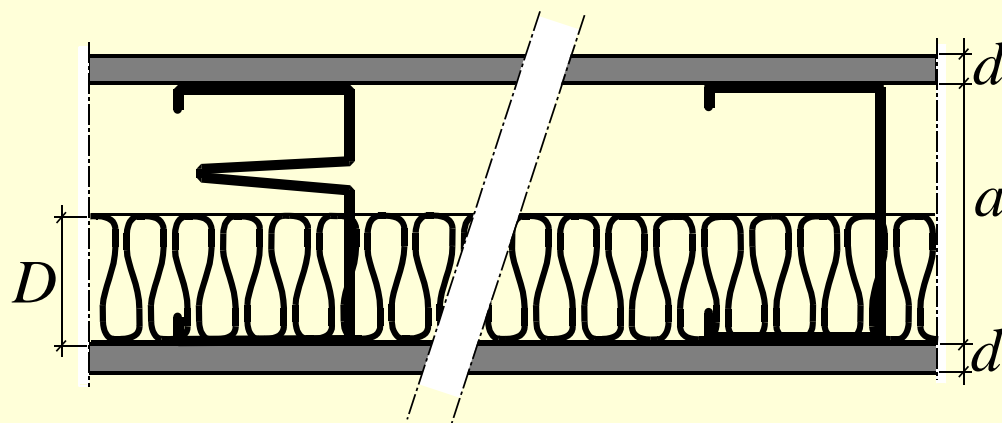
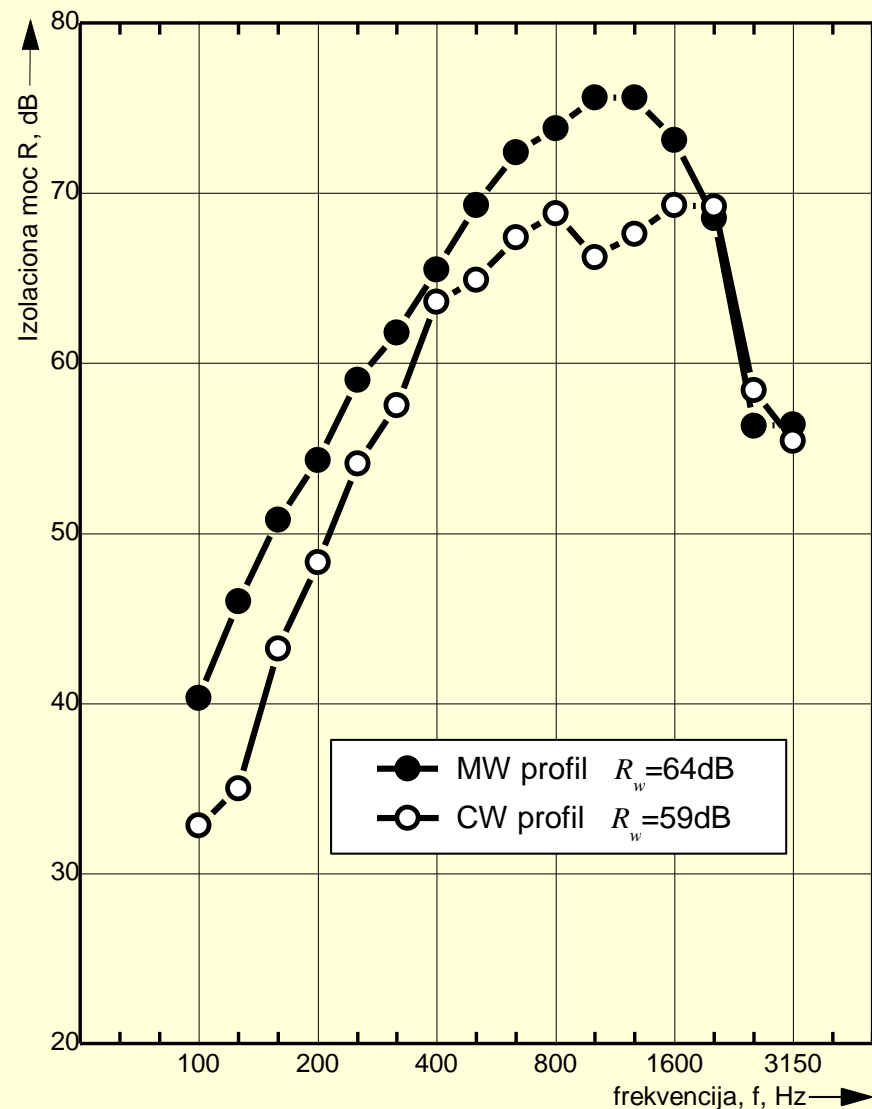
$$a = 80 \text{ mm}$$



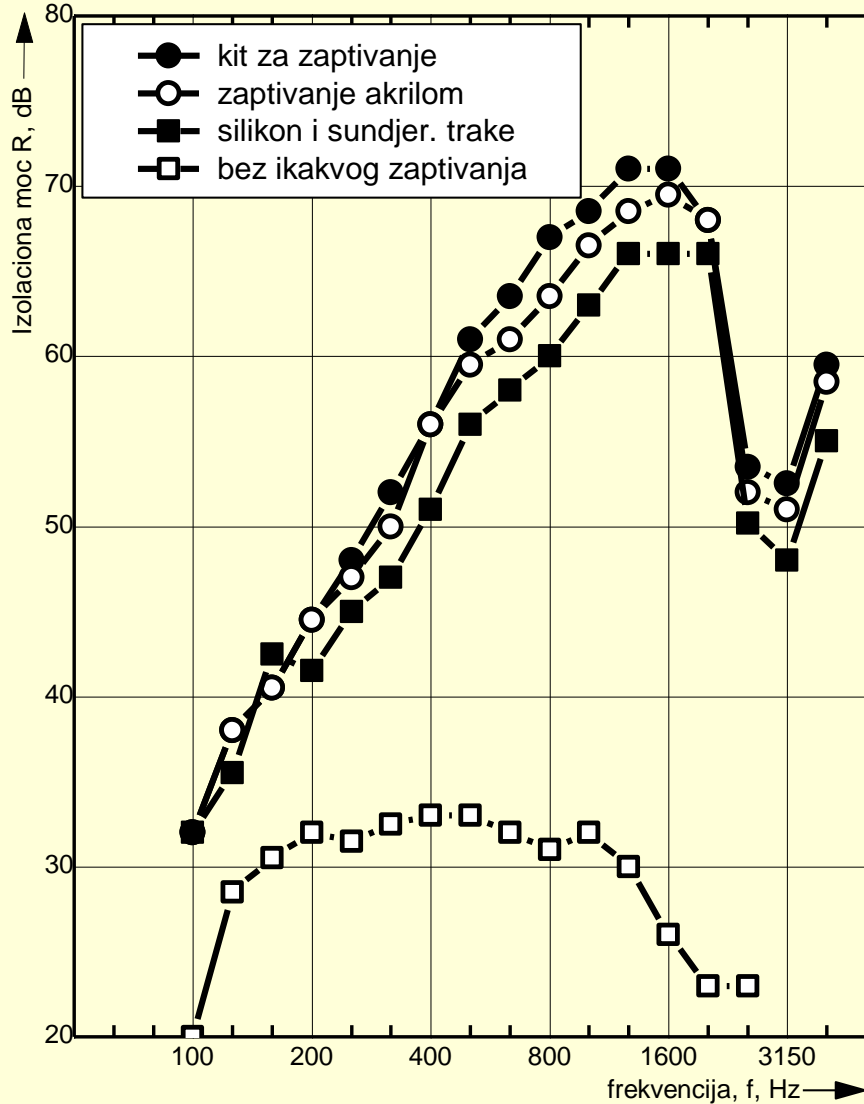
Primer uticaja elastičnosti veza u potkonstrukciji

Primer: pregrada sa po dve ploče gipsa na različitim potkonstrukcijama

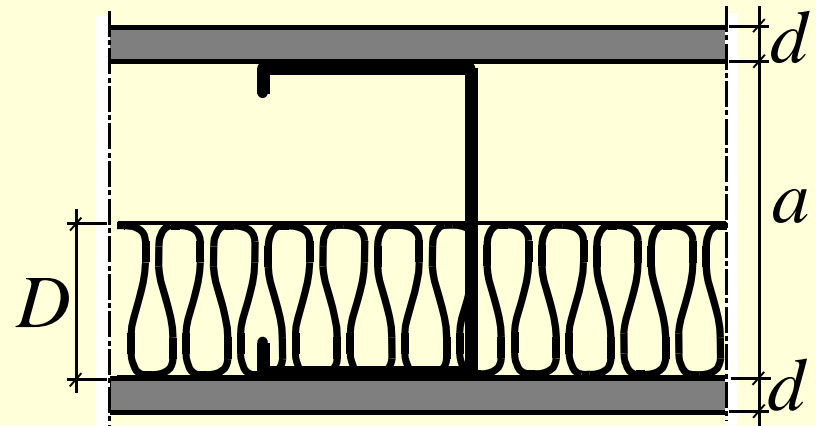
$d = 2 \times 12,5 \text{ mm}$ (ploča 13 kg/m²)
 $a = 100 \text{ mm}$
 $D = 80 \text{ mm}$



Uticaj detalja u izvođenju



Uticaj zaptivanja fuga između ploča i materijala kojim se vrši zaptivanje



Uticaj detalja u izvođenju

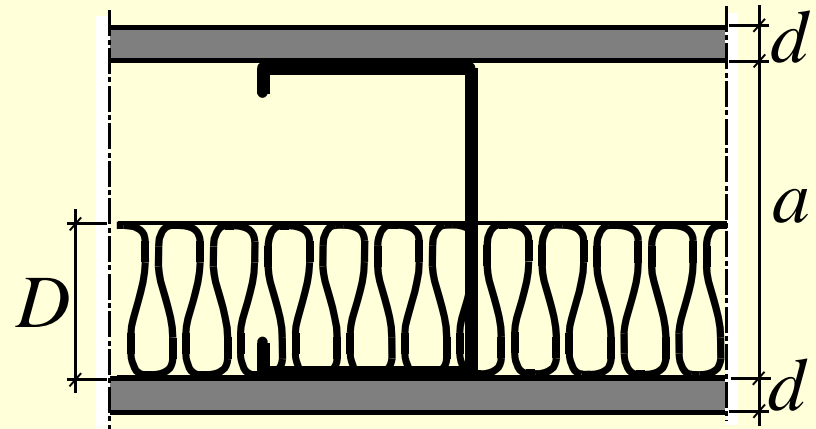
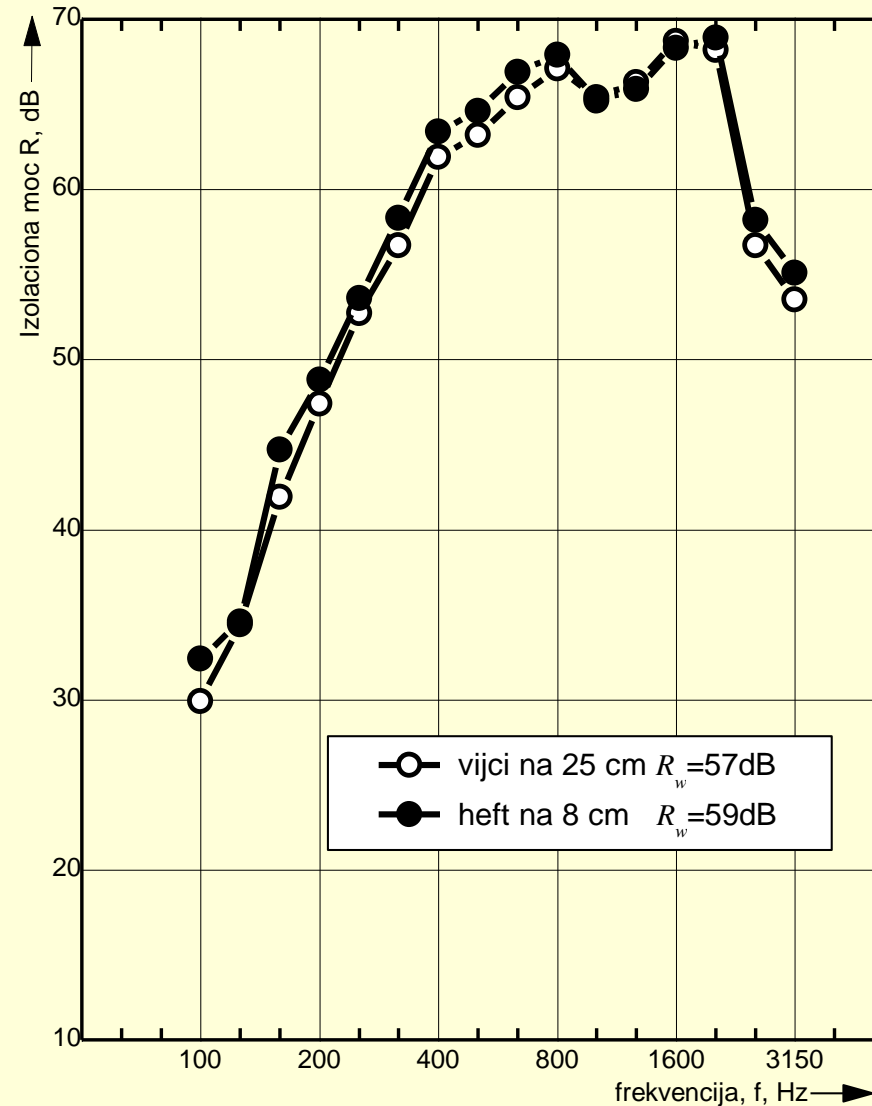
Uticaj načina pričvršćenja druge ploče:

- vijcima na rastojanju 25 cm
- heftano na rastojanju 8 cm

$$a = 50 \text{ mm}$$

$$d = 2 \times 12,5 \text{ mm (ploča } 13 \text{ kg/m}^2)$$

$$D = 40 \text{ mm}$$



Novi trendovi u tretiranju zvučne zaštite u zgradama

Savremeni normativi uveli su jedan sasvim novi pristup u posmatranju zaštite u zgradama. To su standardi:

SRPS EN 12354 “Akustika u građevinarstvu – ocena zvučne zaštite zgrada na osnovu akustičkih performansi građevinskih elemenata”, i to:

SRPS EN 12354-1 Deo 1: Zvučna izolacija između prostorija

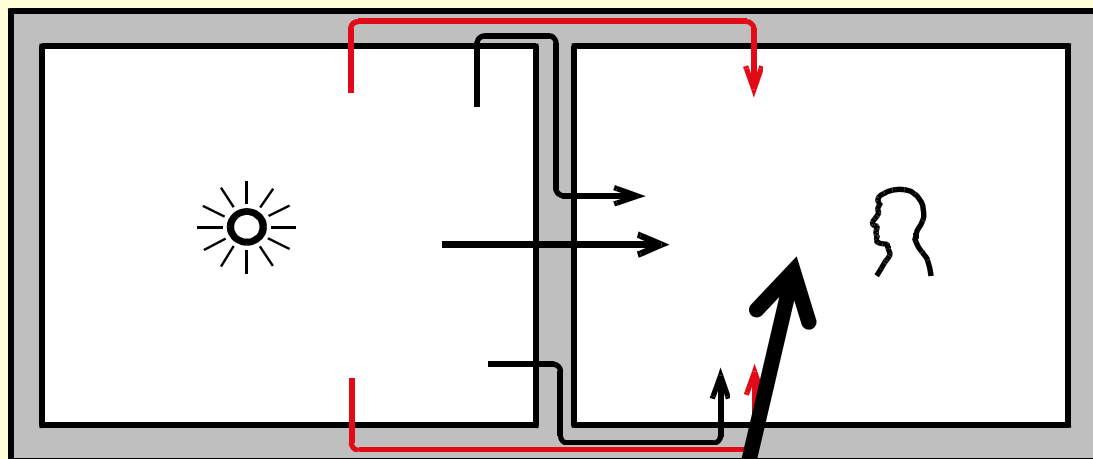
SRPS EN 12354-2 Deo 2: Izolacija od zvuka udara između prostorija

SRPS EN 12354-3 Deo 3: Zvučna izolacija od spoljašnje buke

U čitavoj Evropi zvučna zaštita u projektovanju mora se tretirati prema zahtevima ovih normi (u Sloveniji od 1.1.2013.)

Šta novo donose ovi standardi?

Zahtev je da se izolacija između prostorija posmatra kompleksno, uzimajući u obzir doprinos svih puteva prolaska zvuka.



Stanje izolacije ne zavisi samo od pregradnog zida, već i od svih okolnih konstrukcija (bočni zidovi, tavanice), kao i od njihovih spojeva

ŠTA JE VAŽNO NA KRAJU:

Centralni problem u praksi zvučne zaštite je nerazumevanje kompleksnosti i zanemarivanje nekog od pobrojanih faktora

Ne postoji neki materijal koji bi stavili na zidove i time umanjili prolazak zvuka (to jest neki “zvučni izolator”)

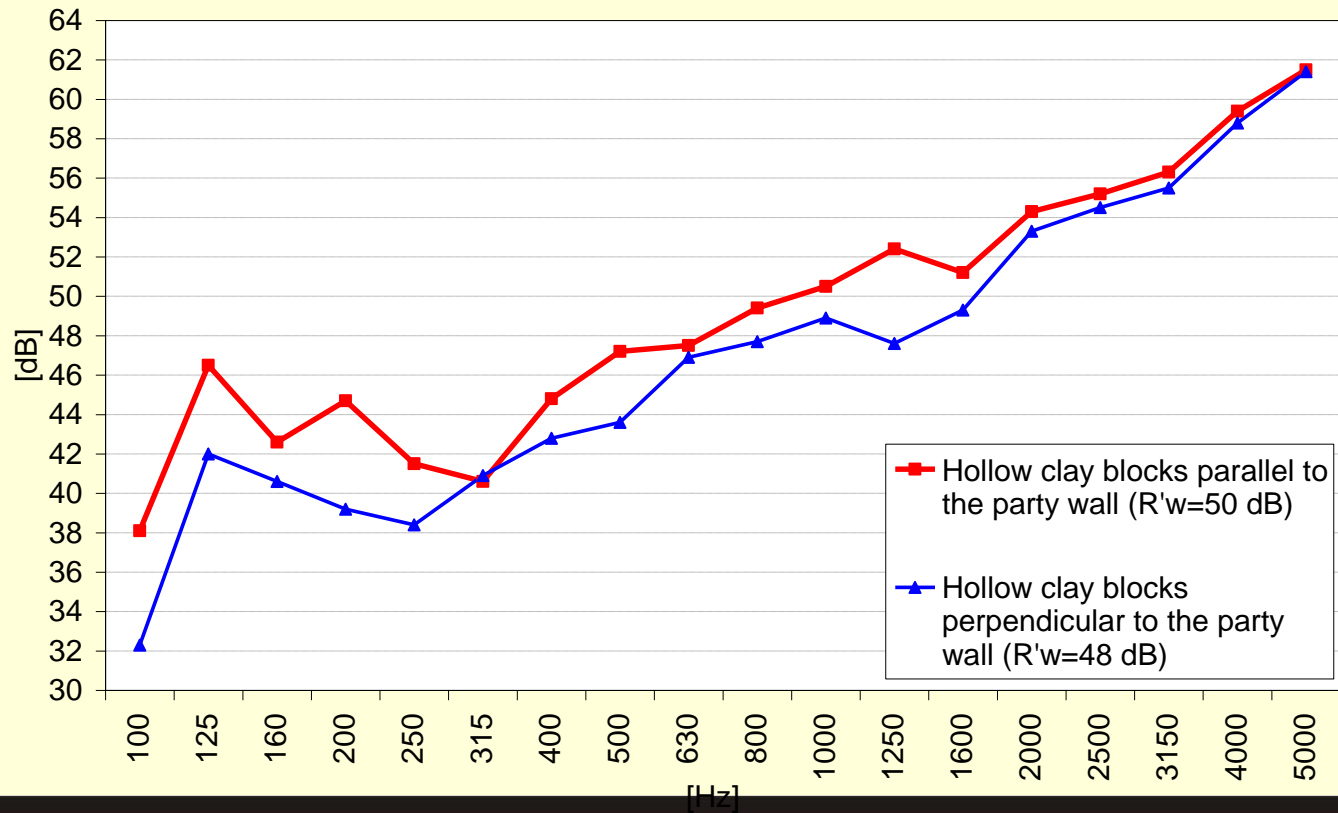
Akustički komfor (zvučna izolacija) u zgradama postiže se trojstvom:

- masa pregrada,
- diskontinuiteti u njima i
- detalji

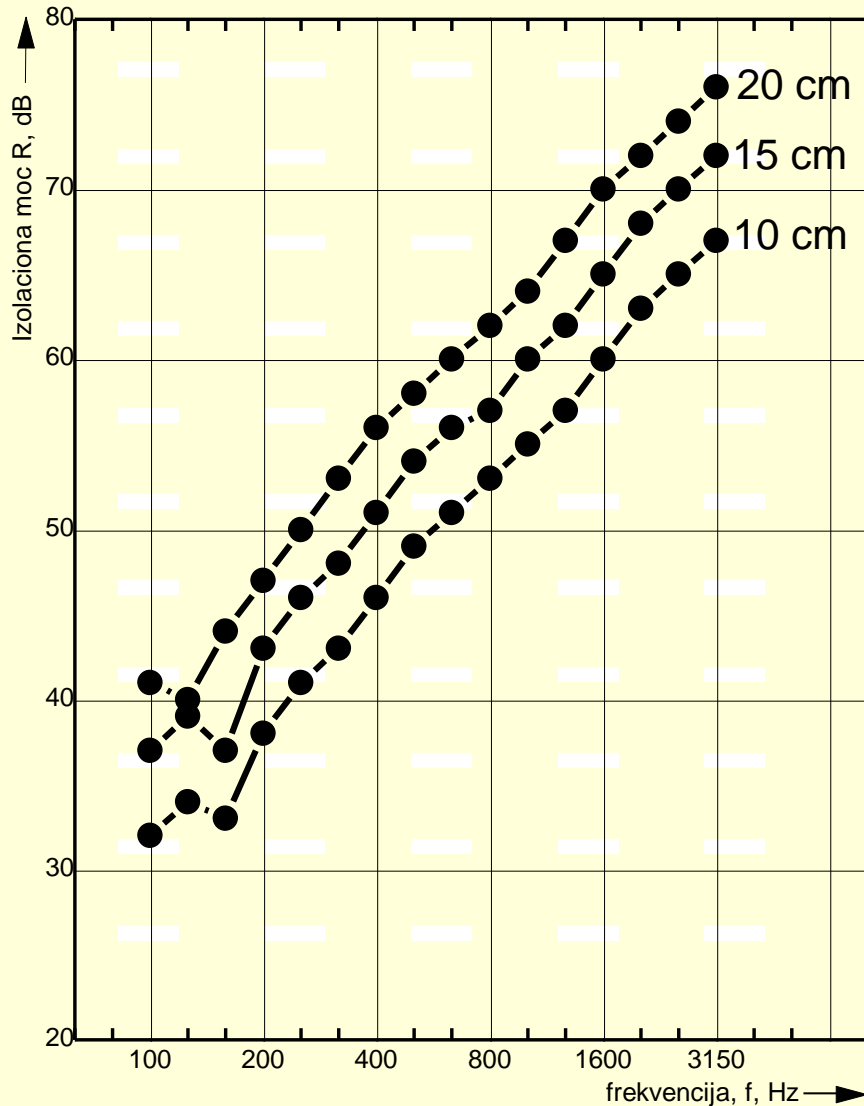
(i držati oko na onome što projektuju i rade razni instalateri)

U svojoj gradnji, sa zadatim tipskim pregradama, detalji su ključ za postizanje nominalne izolacije

Hvala na pažnji



Uticaj mase pregrade na izolacionu moć



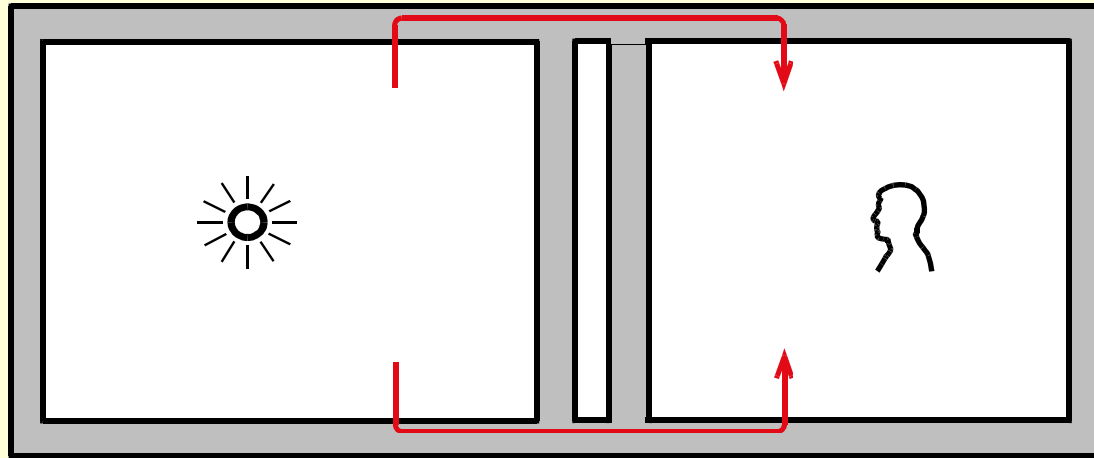
Primer: izolaciona moć pregrade od armiranog betona

(parametar označen na dijagramu je debljina pregrade)

Izolaciona moć pregrade direktno je srazmerna njenoj površinskoj masi

Povećavanje broja diskontinuiteta na putu zvuka – dvostruke pregrade

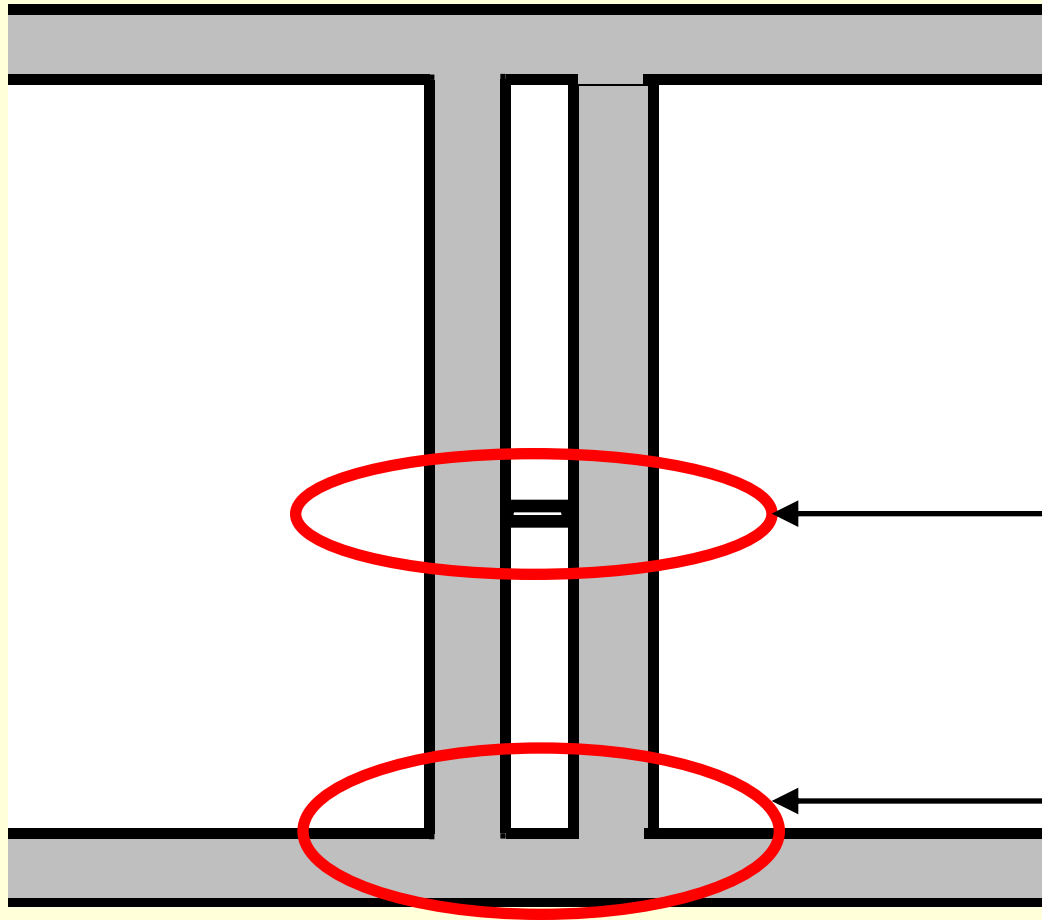
Kada se zahtevaju izolacije koje jednostruka pregrada ne može da ostvari primenjuju se pregrade sa većim brojem diskontinuiteta – dvostruke i višestruke pregrade.



Kod dvostrukih pregrada zvuk nailazi na četiri diskontinuiteta sredine (kod višestrukih pregrada i više)

Ali: i sa dvostrukom pregradom postoji bočno provođenje koje umanjuje efekat povećavanja broja diskontinuiteta

Kod dvostrukih pregrada postoje parazitske putanje zvuka koje umanjuje efekat povećanog broja diskontinuiteta između slojeva



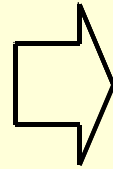
To su:

Fizičke veze između slojeva

Oslonci na ivicama slojeva

Za koeficijent transmisije se definiše logaritamski ekvivalent koji se naziva izolaciona moć R (engl. *sound reduction index*):

$$\tau = \frac{P_{atr}}{P_a}$$



$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} [dB]$$

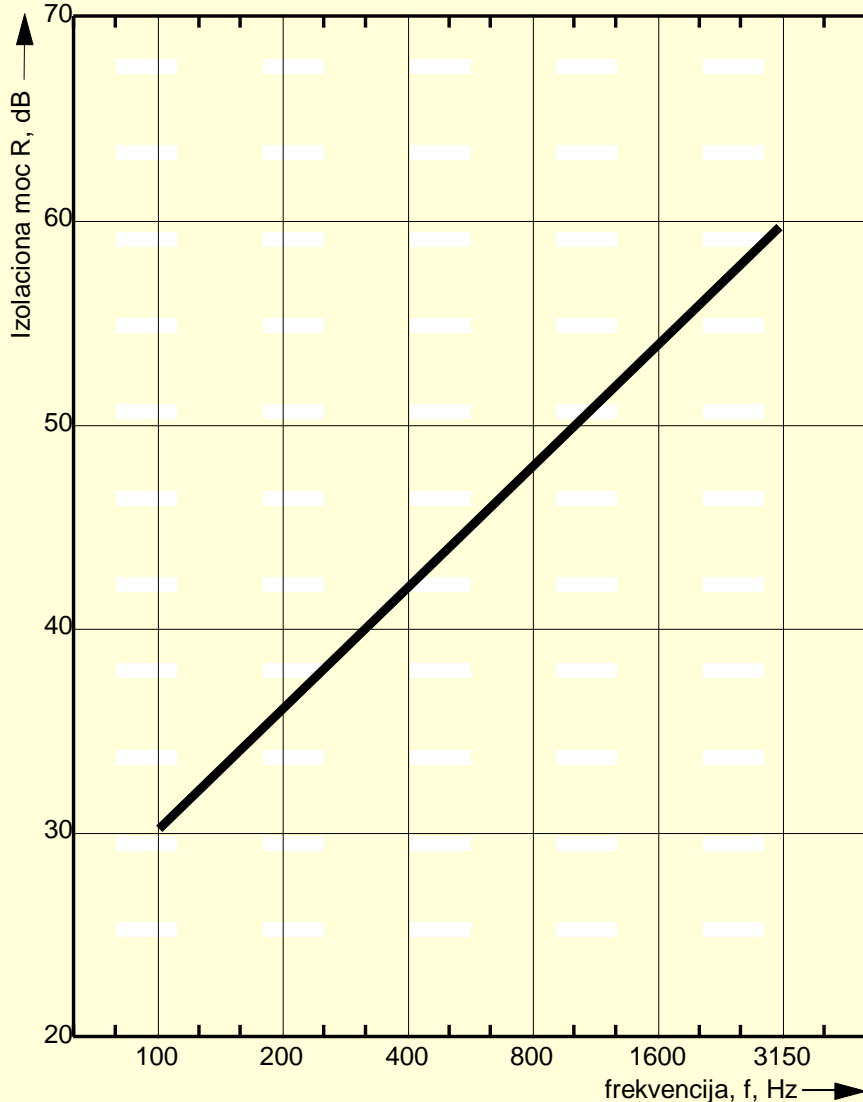
Izolaciona moć jednostruke masivne pregrade je srazmerna:

$$R \propto 20 \log (f m_s)$$

gde je: f - frekvencija (Hz)
 m_s - površinska masa pregrade (kg/m^2).

Ova relacija se naziva “zakon mase”

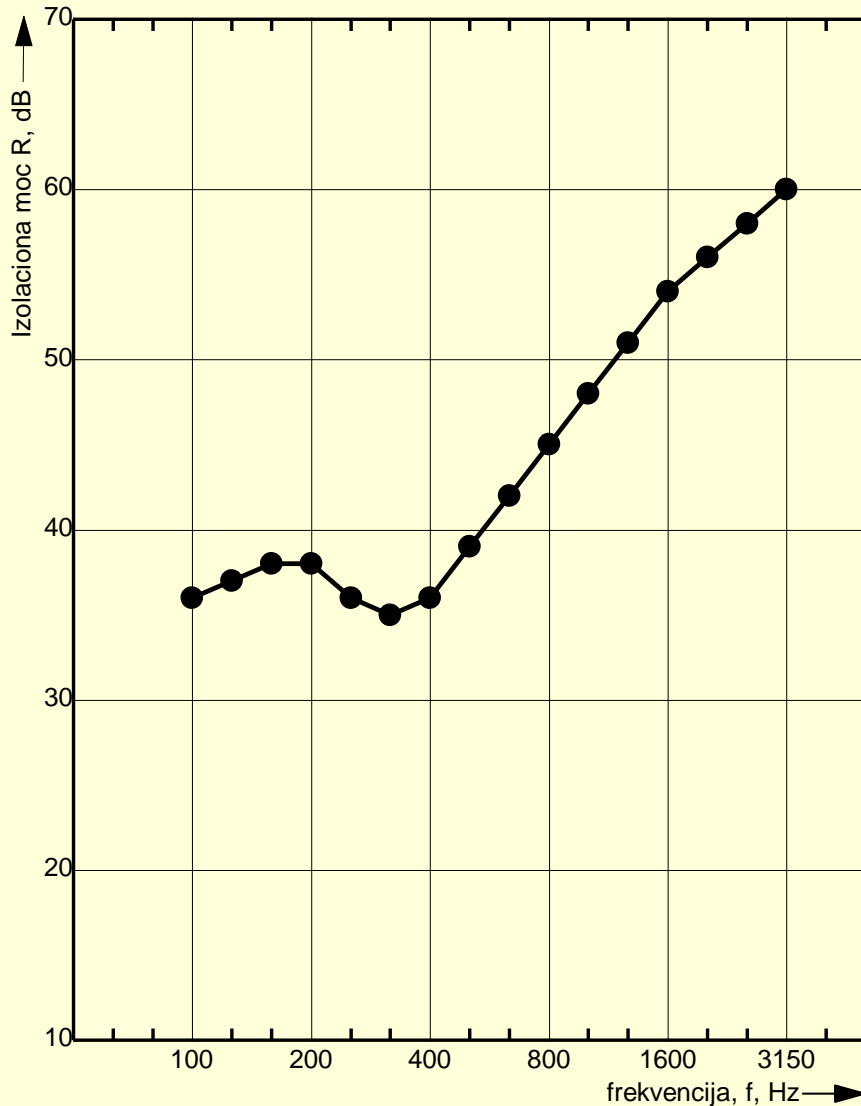
Uticaj frekvencije na izolacionu moć pregrade



Principijelni izgled krive R prema zakonu mase za neku pretpostavljenu masu

Izolaciona moć svake pregrade raste sa frekvencijom

Realne pregrade u manjoj ili većoj meri odstupaju od idealnog zakona mase

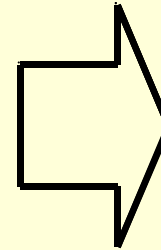
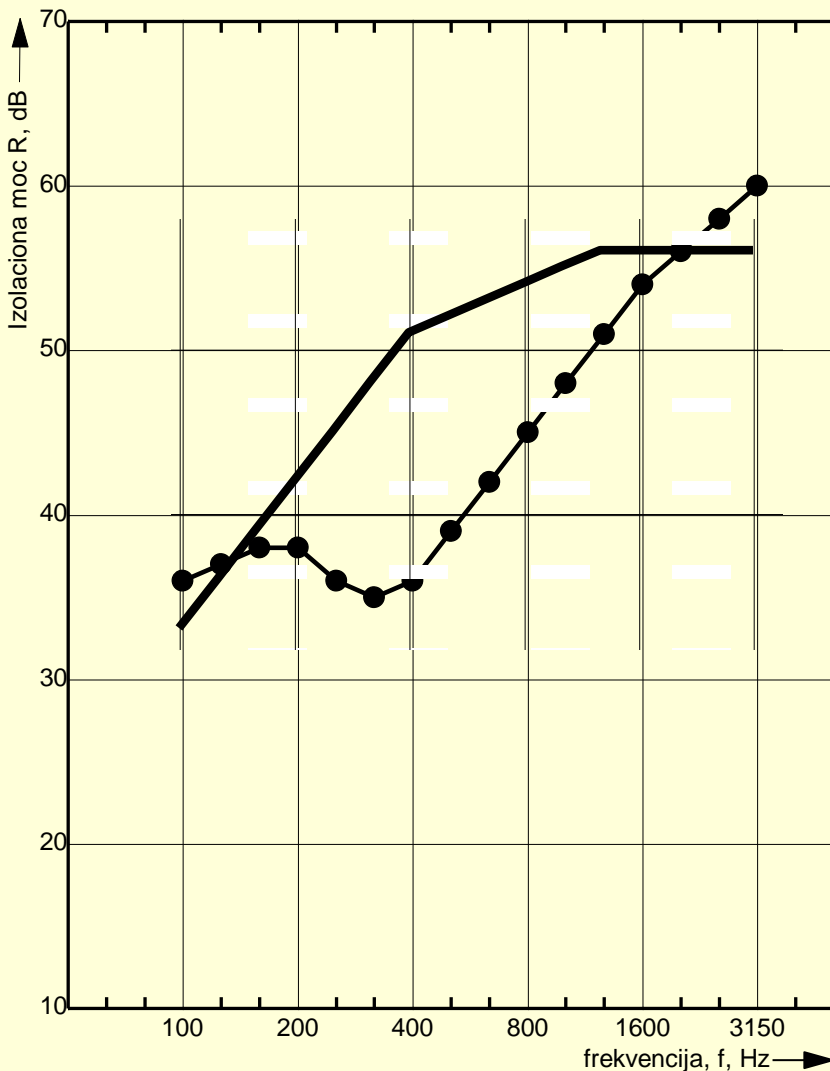


Primer: izmerena izolaciona moć jedne realne pregrade

Odstupanje je uvek smanjenje u odnosu na teorijski zakon mase

Uzrok tome su talasni fenomeni koji se javljaju u pregradi

U praksi je pogodno da se umesto krive (ili tabele) koristi neki pokazatelj izolacione moći koji se izražava jednim brojem.



XX dB

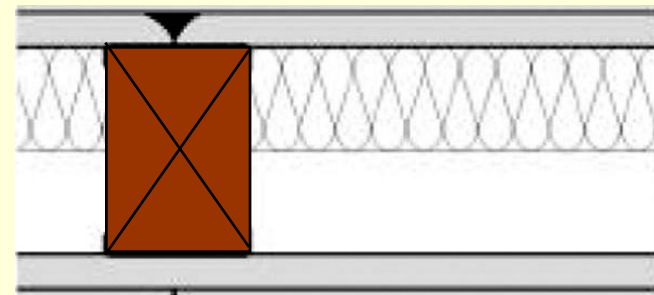
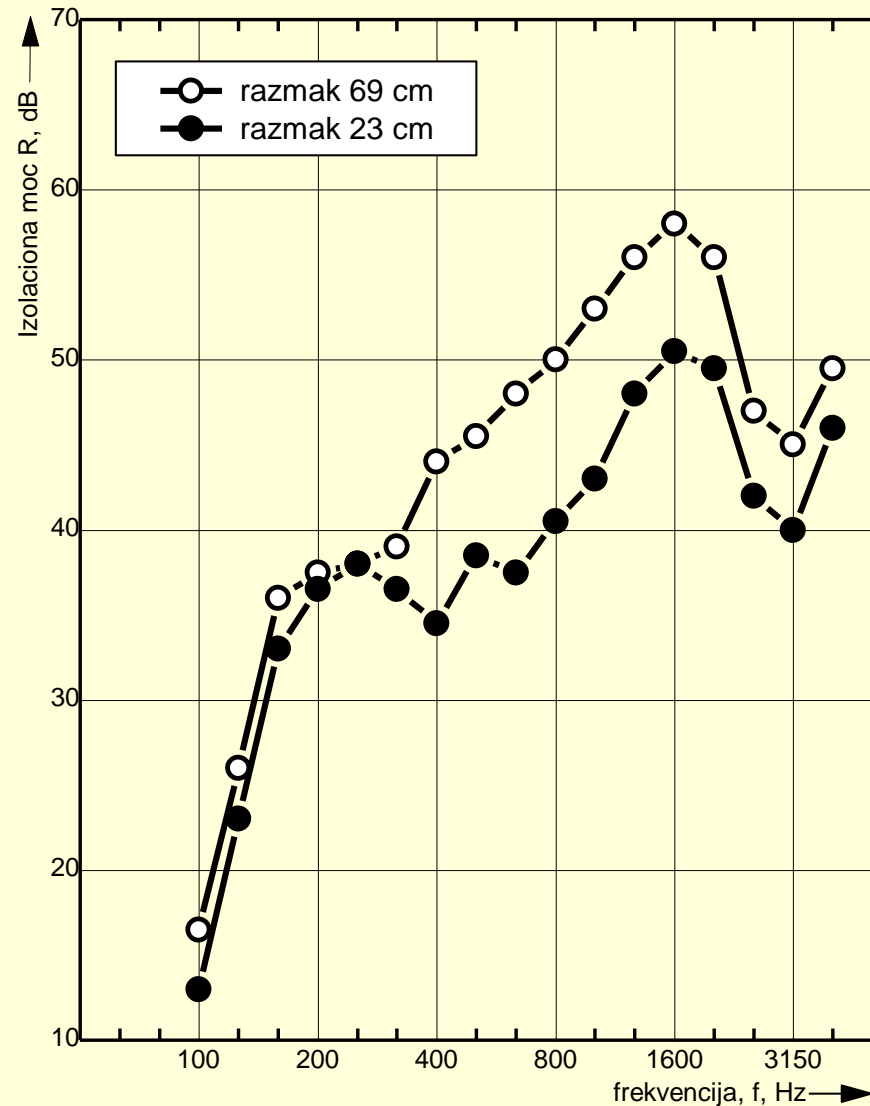
Takva jednobrojna vrednost se naziva merodavna (engleski: *rated*) izolaciona moć

To se postiže uvođenjem jedne standardne krive koja služi za poređenje sa krivom izolacione moći pregrade.

Uticaj detalja u izvođenju

Uticaj rastojanja između susednih vijaka

(mereno na pregradi sa drvenom podkonstrukcijom)



Schallschutzplatte Silentboard

