

Analiza izolacionih moći dvostrukih pregrada -laboratorijska merenja

Dragana Šumarac Pavlović, Miloš Dinić, Vlada Bezbradica, Miloš Bjelić

Apstrakt— Zahtevi iz domena energetske efikasnosti usloveli su sve češće korišćenje dvostrukih masivnih zidova sa termoizolacionim slojem između njih. U literaturi postoji relativno malo podataka o laboratorijski izmerenim vrednostima izolacione moći takvih pregradnih zidova. Zbog toga se u praksi javljaju greške koje se naknadno veoma teško mogu korigovati. Merenja u novoizgrađenim zgradama pokazala su neočekivano male vrednosti izolacije takvih zidova, manje od očekivanih prema poznatoj teoriji o masivnim monolitnim pregradama. U ovom radu su analizirani rezultati laboratorijskih merenja standardnih konfiguracija dvostrukih zidova. Na osnovu toga su izvedeni zaljucci o uticaju pojedinih parametara takve konstrukcije na očekivane vrednosti zvučne izolacije i o mehanizmima prenosa zvučne energije kroz njih.

Ključne reči—Zvučna izolacija, dvostruke pregrade, terenska izolaciona moć

I. UVOD

U savremenom građevinarstvu pregrade između susednih stambenih jedinica moraju da zadovolje stroge uslove termoizolacije. Razlog tome je ušteda utrošene energije za grejanje prostorija, a to direktno znači i ušteda u novcu. Naime, u slučaju da se jedan stan iz nekih razloga ne greje, potrebno je obezbediti da toplotna energija iz grejanog stana ne odlazi preko pregradnog zida u susedni, negrejeni stan. Pregradama u tehnologiji suve gradnje jednostavno se mogu postići potrebni uslovi za zahtevanu termoizolaciju između stanova. Međutim, ovaj tip pregrada uglavnom ne zadovoljava neke druge uslove. Na primer, postoji pitanje protivprovalne zaštite stanova. Takođe, postoji izvestan otpor prema suvoj gradnji, pa ljudi uglavnom preferiraju da im u stanovima budu svi zidovi masivni. Kao razlog često se pominje neophodna nosivost zida zbog vešanja elemenata nameštaja.

Sve ovo kao posledicu ima pojavu da se između stanova najčešće pojavljuju dvostruke masivne pregrade sa nekim termoizolacionim slojem u međuprostoru. Ovakve pregrade zadovoljavaju i termičke zahteve i uslov da u stana postoji

Dragana Šumarac Pavlović – Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: dsumarac@etf.rs).

Miloš Dinić – Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: dinimilosh@gmail.com).

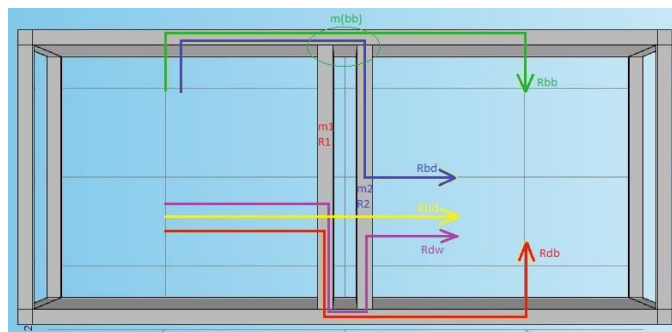
Miomir Mijić – Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: emijic@etf.rs).

Vlada Bezbradica – URSA d.o.o., Beograd, Srbija (e-mail: vlada.bezbradica@ursa.com).

Miloš Bjelić – Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: bjelic@etf.rs).

čvrsta zidna površina zbog nosivosti ili nekih drugih praktičnih razloga. Termičko ponašanje ovakvih pregrada detaljno je analizirano u brojnoj literaturi (na primer [1]).

Kada se ovakve strukture formiraju sa čvrstim spojevima po obodu, a to je u Srbiji uobičajeno zbog seizmičkih zahteva i stabilnosti zidova, njihova izolaciona moć postaje neočekivano mala, jer su očekivanja zasnovana na vrednostima estimiranim za slučaj potpune dilatacije među oblogama. Merenja su pokazala da su te vrednosti uglavnom za nekoliko decibela (3 - 5 dB) manje od terenskih izolacionih moći jednostrukih pregrada iste površinske mase. To znači da se problem izolacije pojavljuje kada se dvostruka pregrada dobija deljenjem jedne monolitne pregrade na dva dvostruko tanja sloja sa izvesnim razmakom među njima. Iako je u pitanju ista količina masivnog materijala, dolazi do smanjenja vrednosti izolacione moći.



Slika 5. Putevi prolaska zvuka u slučaju dvostrukih pregrada

Na slici 1 šematski je prikazan slučaj takve dvostruke pregrade postavljene između dve susedne prostorije. Na slici su označene sve putanje prolaska zvuka. I ovde postoji izolaciona moć R_{dd} koja kvantifikuje direktan prenos kroz pregradu kao i kroz monolitne pregrade (označena žutom bojom). Na toj putanji prva obloga prima energiju iz vazduha i kroz vazdušni međuprostor je prosleduje ka drugoj pregradi i dalje u susednu prostoriju. Jasno je da ovakav direktan prenos kroz dvostruku pregradu zbog diskontinuiteta sredine ima veće slabljenje, to jest izolaciona moć je veća, nego kod jednostrukih pregrada iste površinske mase.

Nažalost, postojanje krutih veza između slojeva dvostruke pregrade razlog su uspostavljanju paralelnih puteva prolaska zvuka, što dovodi do smanjenja ukupne izolacione moći pregradne konstrukcije. U konfiguraciji dvostruke pregrade energija koju je primila prva obloga prenosi se na drugu oblogu preko zajedničkog čvorišta. Uticaj te putanje kvantifikuje se izolacionom moći R_{dw} (označena ljubičastom

bojom). Time se neumitno umanjuje izolaciona moć koja se postiže razdvajanjem pregrade na dva dela. Direktni prenos kroz takvu pregradu, umesto jedne putanje koja postoji kod monolitnog zida, sada se odvija preko nekoliko paralelnih putanja koje se formiraju na spojevima sa sve četiri granične površine.

U prenosu zvučne energije postoje i ostale uobičajene bočne putanje prenosa zvuka između dve prostorije. One idu preko jedne od obloga i bočnih zidova. Oni su označeni sa Rdb i Rbd (plava i crvena linija). Ovakve putanje postoje i kod monolitnih pregrada, ali se one ovde formiraju kroz pregrade koje imaju manju površinsku masu i čija su izolaciona svojstva zbog toga manja. Iz istih razloga je promenjeno slabljenje na njihovim spojevima u odnosu na ono koje bi bilo kada je na istom mestu monolitna masivna pregrada zbirne površinske mase. Sve su to fizičke pojave koje dodatno umanjuju očekivani efekat dvostrukog zida.

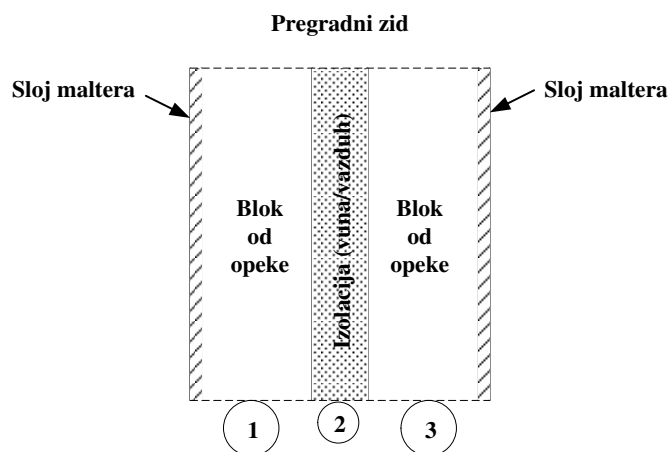
U literaturi se teško mogu pronaći podaci o izolacionim svojstvima dvostrukih pregrada koji uključuju strukturni prenos kroz bočne pregrade, odnosno njene delove, kao što je to označeno na slici 1. Najčešći podaci o dvostrukim pregradama podrazumevaju potpunu dilataciju između njihovih slojeva, a to se retko sreće u lokalnoj graditeljskoj praksi. Za razliku od masivnih dvostrukih zidova, dvostruki laki zidovi od gipsanih ploča su analizirani u brojnoj literaturi jer u državama zapadnog sveta predstavljaju široko primenjivani oblik pregrada, takozvana „suva gradnja“ (na primer [2,3]) Postoje i brojne publikacije proizvođača materijala i sistema za suhu gradnju u kojima se obrađuju i njihova izolaciona svojstva.

U novije vreme intenzivna primena dvostrukih masivnih pregrada dovela je do nekih ozbiljnih problema u realizovanim zgradama gde je konstatovano da zvučna izolacija ne zadovoljava postavljene norme. Na taj način je ta tema došla u žižu interesovanja među projektantima i graditeljima stambenih zgrada. Problemi sa zvučnom izolacijom koji su se javili u praksi inicirali su, između ostalog, razna laboratorijska merenja izolacionih svojstava dvostrukih pregrada različite materijalizacije. Merenja su inicirali investitori i proizvođači izolacionih materijala sa ciljem da se utvrde minimalne karakteristike pojedinih elemenata dvostruke masivne pregrade da bi se postigle zadate vrednosti izolacione moći između susednih stanova. Koristeći tako dobijene rezultate, u ovom radu je prikazan pregled laboratorijski izmerenih vrednosti izolacione moći dvostrukih pregrada u njihovim različitim konfiguracijama uzetih iz građevinske prakse. Na tim primerima je objašnjena suština problema zvučne izolacije sa takvim pregradama i pokazani su neki efekti koji se javljaju.

II. LABORATORIJSKA ANALIZA IZOLACIONIH SVOJSTAVA DVOSTRUKIH PREGRADA

Načehća konfiguracija dvostrukog masivnog zida koja se danas sreće u praksi prikazana je šematski na slici 2. Ovu konfiguraciju čine dva sloja od opeke ili nekog bloka sa vazдушnim prostorim između njih koji je potpuno ili

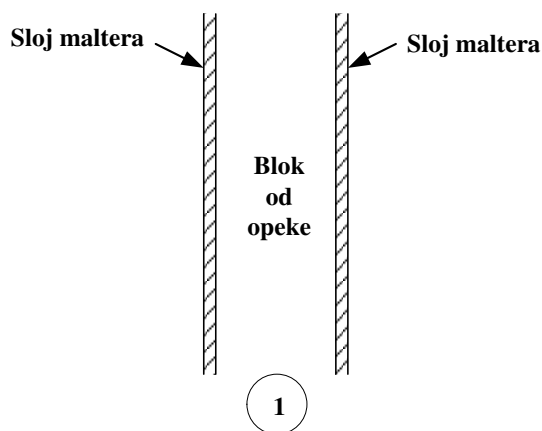
delimično popunjava mineralnom vunom. Na toj poziciji vuna ima funkciju termoizolacionog materijala, čime se obezbeđuje zahtevana toplotna izolacija između stanova. Na toj poziciji se koriste i neki drugi termoizolacioni materijali. Opeka je standardno malterisana sa spoljne strane, to jest svaki pojedinačni zid u ovom sistemu je malterisan sa jedne svoje strane. Uobičajena ukupna debljina ovakvih zidova u savremenoj stanogradnji je oko 30 cm.



Sl. 2. Tipična konfiguracija dvostrukog zida

Za analizu zvučne izolacije koja se postiže ovakvim pregradama u ovom radu su odabrane konfiguracije zidova koje se najčešće sreću u novogradnjama. Detaljni podaci o konfiguracijama koje su analizirane u ovom radu prikazane su u tabeli 1. Vidi se da su to pregrade izgrađene od pune silikatne opeke. Njihove gustine su od $\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$ do $\rho = 1900 \text{ kg/m}^3$, a debljine od 115 mm do 175 mm. U njima postoje šupljine malog prečnika koje su potrebne zbog vađenja opeke iz kalupa prilikom izrade.

Da bi se uporedile razlike između izolacionih moći dvostrukih i jednostrukih pregrada od istih materijala u analizu su uključene i jednostruke pregrade radi poređenja vrednosti postignute izolacione moći. Njihova konfiguracija je šematski prikazana na slici 3, a tačne dimenzije i vrednosti parametara upotrebljenih materijala prikazane su u tabeli 2.



Sl. 3. Tipična konfiguracija jednostruke masivne pregrade

TABELA 1: DIMENZIJE I PARAMETRI MATERIJALA OD KOJIH JE FORMIRANA DVOSTRUKA PREGRADA (SLIKA 2)

Oznaka rezultata	Sloj 1	Sloj 2		Sloj 3	Sloj maltera	R _w (dB)	
R ₁	Puna opeka (120x250x65) ρ = 1650 kg/m ³ , d = 120 mm	Mineralna vuna d = 30 mm		Isto kao sloj 1	Produžni krečni malter ρ = 1450 kg/m ³ d = 15 mm	53	
R ₂	Puna opeka (120x250x65) ρ = 1650 kg/m ³ , d = 120 mm	mineralna vuna ρ = 1600 kg/m ³ d = 28 mm	vazduh d = 10 mm	Isto kao sloj 1	Produžni krečni malter ρ = 1450 kg/m ³ d = 15 mm	54	
R ₃	Puna opeka (120x250x65) ρ = 1650 kg/m ³ , d = 120 mm	mineralna vuna ρ = 2000 kg/m ³ d = 24 mm	vazduh d = 10 mm	Isto kao sloj 1	Produžni krečni malter ρ = 1450 kg/m ³ d = 15 mm	54	
R ₄	KIMABLOC (120x380x238) ρ = 970 kg/m ³ , d = 120 mm	mineralna vuna ρ = 1600 kg/m ³ d = 28 mm	vazduh d = 10 mm	Isto kao sloj 1	Produžni krečni malter ρ = 1450 kg/m ³ d = 15 mm	49	
R ₅	Puna silikatna opeka ρ = 1800 kg/m ³ , d = 115 mm	staklena vuna ρ = 30 kg/m ³ , d = 40 mm		Isto kao sloj 1	Cementni malter ρ = 1800 kg/m ³ d = 15 mm	53	
R ₆	Puna silikatna opeka ρ = 1800 kg/m ³ , d = 115 mm	staklena vuna ρ = 15,5 kg/m ³ , d = 50 mm		Isto kao sloj 1	Cementni malter ρ = 1800 kg/m ³ d = 15 mm	52	
R ₇	Puna silikatna opeka ρ = 1900 kg/m ³ , d = 115 mm	staklena vuna ρ = 30 kg/m ³ , d = 40 mm		Isto kao sloj 1	Cementni malter ρ = 1800 kg/m ³ d = 15 mm	53	
R ₈	Puna silikatna opeka ρ = 1900 kg/m ³ , d = 115 mm	kamena vuna ρ = 50 kg/m ³ , d = 40 mm		Isto kao sloj 1	Cementni malter ρ = 1800 kg/m ³ d = 15 mm	54	
R ₉	Puna silikatna opeka ρ = 1900 kg/m ³ , d = 115 mm	staklena vuna ρ = 30 kg/m ³ , d = 40 mm		Puna silikatna opeka ρ = 1400 kg/m ³ d = 175 mm	Cementni malter ρ = 1800 kg/m ³ d = 15 mm	55	
R ₁₀	Puna silikatna opeka ρ = 1900 kg/m ³ , d = 115 mm	staklena vuna ρ = 68 kg/m ³ d = 20 mm	gipsana ploča d = 15 mm	staklena vuna ρ = 68 kg/m ³ d = 20 mm	Isto kao sloj 1	Cementni malter ρ = 1800 kg/m ³ d = 15 mm	53
R ₁₁	Puna silikatna opeka ρ = 1400 kg/m ³ , d = 115 mm	vazduh d = 40 mm		Isto kao sloj 1	Krečni malter ρ = 1400 kg/m ³ d = 5 mm	50	

TABELA 2: DIMENZIJE I PARAMETRI MATERIJALA OD KOJIH JE FORMIRANA JEDNOSTRUKA PREGRADA (SLIKA 3)

Rezultati izolacionih moći	Sloj 1	Sloj maltera	R _w (dB)
R ₂₁	Puna silikatna opeka (male šupljine punjene cementnim malterom) d = 175 mm	Krečni malter d = 20 mm	56
R ₂₂	Puna silikatna opeka (male šupljine punjene cementnim malterom) d = 200 mm	Tankoslojni krečni malter d = 10 mm	56
R ₂₃	Puna silikatna opeka (male šupljine NISU punjene) d = 200 mm	Tankoslojni krečni malter d = 5 mm	53

Sve pregrade u tabelama označavane su slovom R i brojom. Dvostruke pregrade imaju oznake od R₁ do R₁₁, a jednostruke pregrade imaju oznake od R₂₁ do R₂₃. Uposlednoj koloni tabela 1 i 2 prikazane su laboratorijski izmerene merodavne vrednosti izolacione moći svih prikazanih jednostrukih i dvostrukih pregrada.

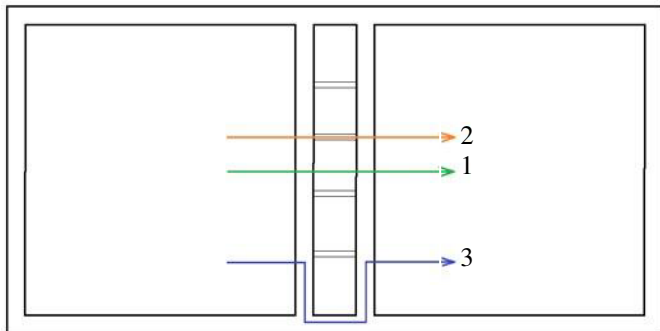
III. DISKUSIJA REZULTATA

Kada se zidovi ispituju u laboratorijskim uslovima izmerene vrednosti izolacione moći odnose se samo na direktne putanje prolaska zvuka kroz pregradu, jer

laboratorijski uslovi isključuju standardne putanje bočnog provođenja. Međutim, u slučaju dvostrukih pregrada postoji više direktnih putanja kroz pregradu. To su „laboratorijske“ putanje i one su šematski označene na slici 4. To su:

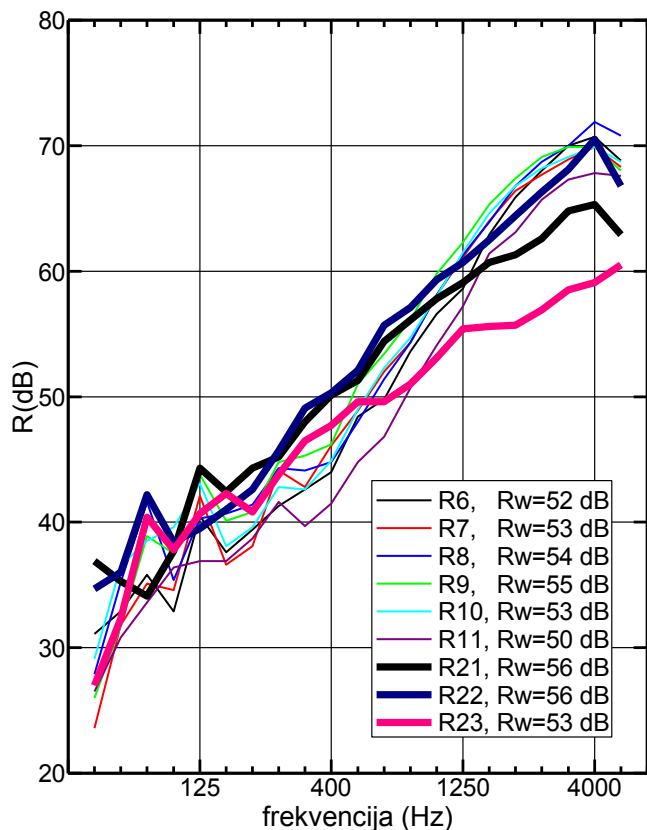
- direktni prenos zvuka kroz slojeve pregrade (1),
 - prenos preko vezivnih elemenata kojima se postiže statička stabilnost pregrade, najčešće komadi betonske armature ili limene trake(2)
 - strukturni prenos iz jedne obloge zida u drugu preko zajedničkog čvorišta na sve četiri bočne pregrade (3).
- Putanje su na slici označene brojevima navedenim u

zgradama.



Slika 4. Putanje prolaska zvuka kroz dvostruku pregradu u laboratorijskim uslovima (direktne putanje)

Prvi korak u analizi je međusobno poređenje svih rezultata. Na slici 5 zbirno su prikazani dijagrami izolacione moći izmerenih dvostrukih i jednostrukih pregrada koje imaju načelno istu materijalizaciju, pa to omogućava njihovo međusobno poređenje. U legendi dijagrama pregrade su naznačene svojim oznakama iz tabela uz navođenje merodavne vrednosti izolacione moći. Vidi se da sve pregrade sa slike 5 imaju izolacionu moć u intervalu od 50 dB do 56 dB. Takođe se vidi da sve one imaju vrlo sličan tok.

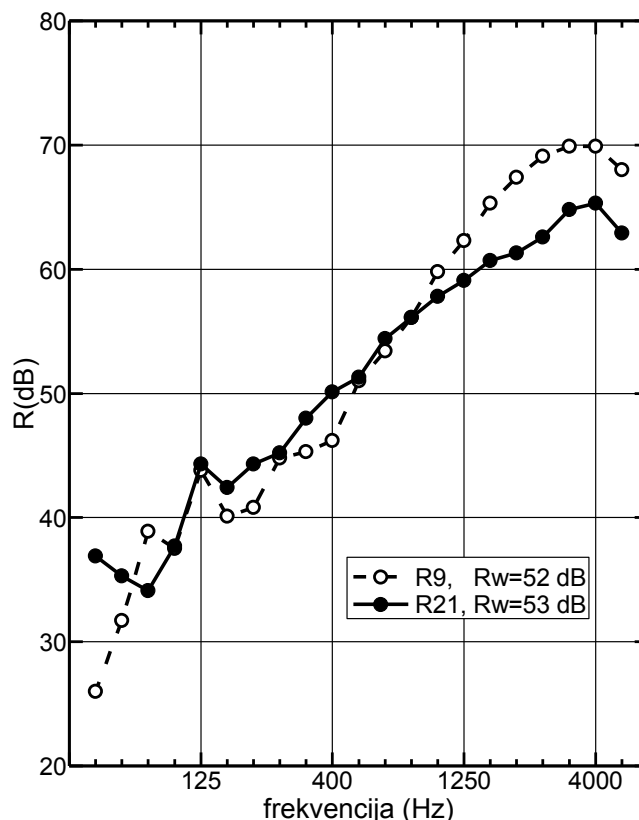


Slika 5. Dijagrami laboratorijskih izolacionih moći analiziranih dvostrukih i jednostrukih pregrada slične materijalizacije

Sa slike 5 se vidi da analizirane jednostruke pregrade imaju nešto veće vrednosti izolacione moći na srednjim

frekvencijama od dvostrukih, dok na visokim frekvencijama dvostruke pregrade imaju nešto veće vrednosti. Tome svakako doprinosi i prisustvo apsorpcionog materijala u međuprostoru između dva masivna sloja. Pri tome, jednostruka pregrada označena sa R21 jednaka je samo jednom sloju iz dvostruke pregrade označene sa R9. Ostale dve analizirane jednostruke pregrade označene sa R22 i R23 imaju površinsku masu koja je bliska zbirnoj vrednosti mase ostalih dvostrukih pregrada. Zbog manjih vrednosti izolacione moći na srednjim frekvencijama (slika 5) merodavna izolaciona moć dvostrukih pregrada je generalno manja nego kod jednostrukih pregrada napravljenih od istog materijala, čak i kada dvostruka pregrada ima nešto veću ukupnu površinsku masu.

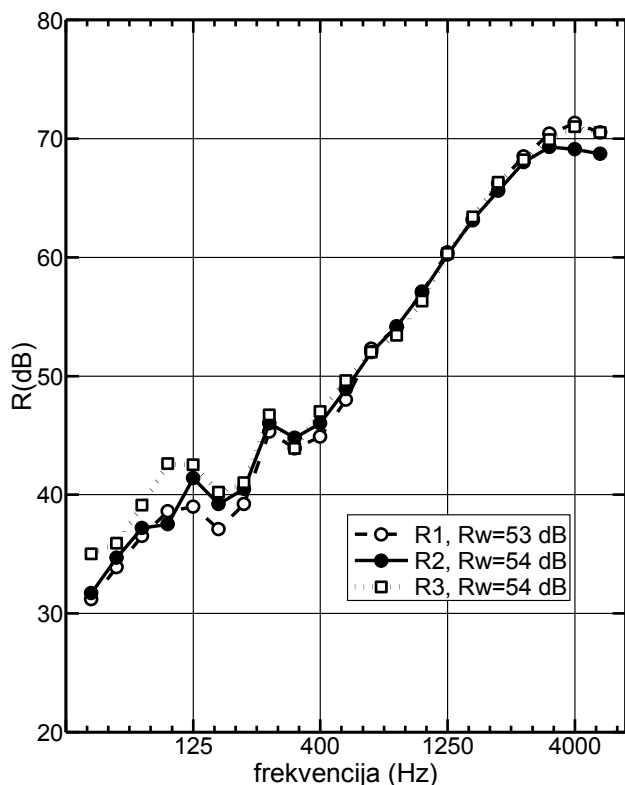
Da bi se jasnije sagledala ova razlika na slici 6 su izdvojene izolacione moći jednostruke pregrade označene sa R21 napravljene od blokova debljine 175 mm i dvostruke pregrade označene sa R9 u kojoj je jedan njen sloj odentičan ovoj jednostrukoj pregradi, i kome je dodat drugi sloj debljine 115 mm. Vidi se da ova dvostruka pregrada ispoljava veću izolacionu moć od jednostruke tek na višim frekvencijama, iznad 1000 Hz. Međutim, zbog manjih vrednosti na nižim frekvencijama jednobrojna vrednost izolacione moći je veća kod jednostruke pregrade za 1 dB. Ovaj primer jasno pokazuje da pri udvostručavanju slojeva pregrade postoje porcesi koji umanjuju izolacionu moć u odnosu na teorijska očekivanja.



Slika 6. Izolacione moći dvostruke pregrade R9 i jednostruke pregrade R21

Raspoloživi rezultati omogućavaju da se jasnije sagleda realna uloga direktne putanje (označena sa 1 na slici 4) u ukupnom rezultatu. Na slici 7 prikazani su rezultati merenja

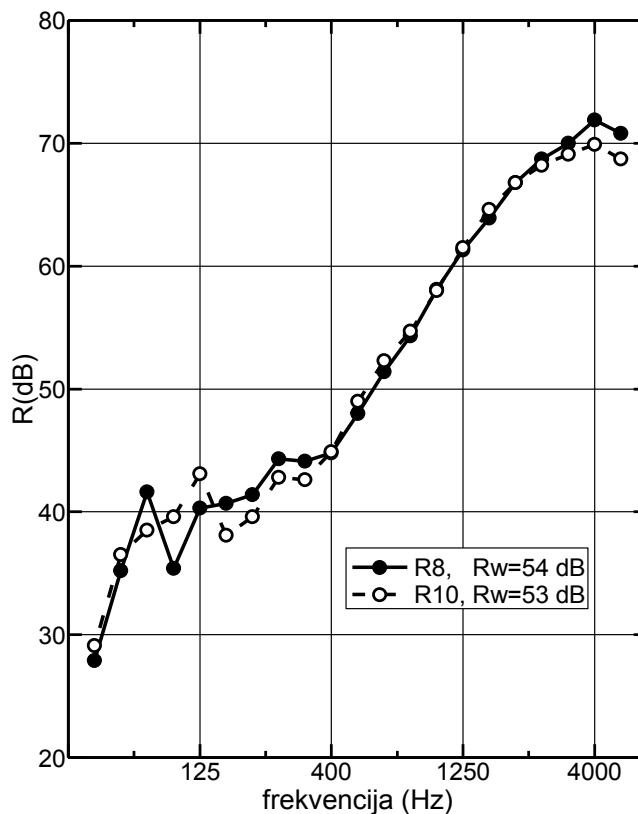
pregrada označenih u Tabeli 1 sa R1, R2 i R3. Oni imaju jednake masivne slojeve, i razlikuju se samo u punjenju međuprostora, to jest varirane su debljina i gustina vune. Vidi se da se dijagrami vrlo malo razlikuju, a na srednjim frekvencijama se praktično poklapaju. Prema tome, rezultat pokazuje da promene u vrsti izolacionog materijala ne utiču na zvučnu izolaciju pregrade.



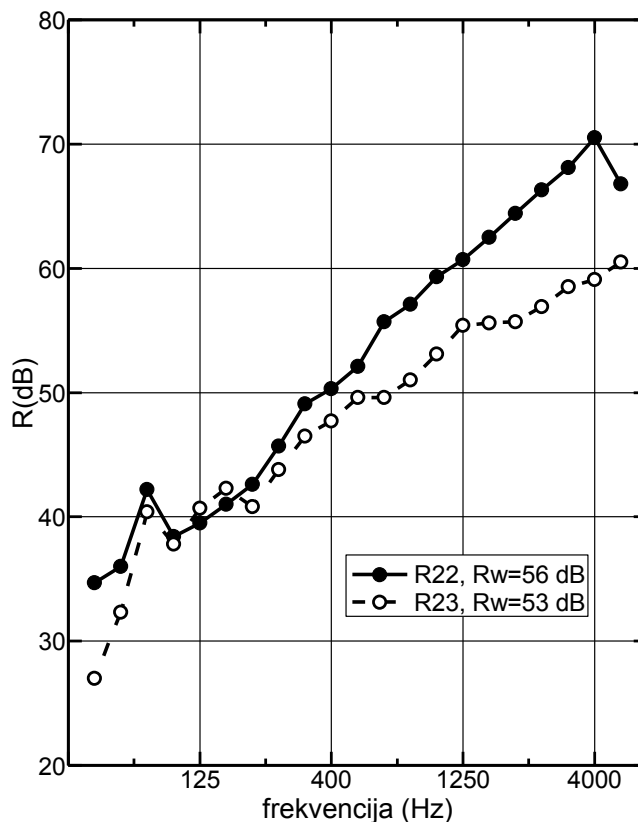
Slika 7. Izolacione moći iste dvostruke pregrade sa varijacijama debljine i gustine mineralne vune u međuprostoru pregrade

Još jedan dokaz minimalnog uticaja direktne putanje zvuka kroz dvostruke pregrade prikazan je na slici 8. To su rezultati merenja na istoj dvostrukoj pregradi kod koje je u međuprostor ubačena dodatna pregrada od gipsane obloge. Pretpostavka je bila da dodatna gipsana ploča povećava slabljenje zvučne energije na putanji 1 sa slike 4. To su pregrada označena sa R8, koja je bez dodatne obloge u međuprostoru, i ista takva pregrada kada je u međuprostor ubačena dodatna obloga od gipsa, označena sa R10. Sve ostale karakteristike su im jednake.

Sa dijagrama se vidi da su razlike u izmerenoj izolacionoj moći minimalne. Izvesne razlike postojen samo na niskim frekvencijama. Merodavne vrednosti u ova dva slučaja se razlikuju samo za 1 dB. Prema tome, može se zaključiti da poboljšanje zvučne izolacije dvostrukih masivnih zidova nije moguće postići bilo kakvim varijacijama onoga što se nalazi u njihovom međuprostoru – debljine i gustine mineralne vune ili umetanjem dodatnih lakih pregrada. Očigledno je da se poboljšanja mogu postići samo intervencijama na preostale dve vrste direktnih putanja, označenih na slici 4 sa 2 i 3.



Slika 8. Izolacione moći dvostruke pregrade sa dodatnom gipsanom oblogom u međuprostoru (R8 i R10)



Slika 8. Izolaciona moć pregrade sa popunjenim šupljinama u blokovima (R22) i sa otvorenim šuljinama (R23)

Rezultati merenja prikazani u tabelama sadrže i podatke koji mogu da ukažu na jedan mogući put za poboljšanje izolacione moći dvostrukih zidova. Činjenica je da se u njihovoj izgradnji najčešće koriste razni blokovi. U analiziranim pregradama to su bili silikatni blokovi. Oni u sebi sadrže male vertikalne otvore. Za demonstraciju uticaja tih otvora na izolaciona svojstva pregrade izdvojeni su rezultati merenja jednostrukog zida u dve varijante: kada su šupljine u blokovima popunjene (rezultat R22), i kada su ti otvori prazni (R23). Ove dve krive su prikazane na slici 8. Vidi se da povećanje površinske mase pregrade koje nastaje punjenjem šupljina u bloku cementnim malterom povećava izolacionu moć. To je postupak koji se može primeniti i na dvostruke pregrade.

IV. ZAKLJUČAK

Dvostruki masivni zidovi uobičajeno napravljeni od nekih blokova, i sa termoizolacionim materijalom u međuprostoru, u laboratoriji ne pokazuju izolaciona svojstva koja se možda očekuju s obzirom na postojanje diskontinuiteta. Razlog tome je dominantan uticaj putanja zvuka preko bočnih čvorišta. Terenska izolaciona moć dvostrukih pregrada neumitno je još manja od ovde prikazanih vrednosti jer se pojavljuju i uobičajene putanje bočnog provođenja.

Prikazani rezultati otvaraju dve značajne teme u daljem razvoju tehnologije dvostrukih masivnih pregrada. Prva je istraživanje mogućnosti da se u što većoj meri prekinu krute veze slojeva sa prepregradama duž njihovog obima, a da se pri tome ne ugrozi statička stabilnost zida. U okviru iste teme je i pitanje modifikacija krutih međuveza između slojeva da bi se minimizirale krute veze.

Druga je pitanje postupaka proračuna zvučne izolacije sa dvostrukim pregradama, što postojeći standardi iz serije EN 12354 ne definišu. To podrazumeva da se uzmu u obzir promene koje nastaju u slabljenju zvučne energije na spojevima pregrada, s obzirom na podeljene mase koje se spajaju sa bolnim pregradama.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je napravljen kao deo istraživanja u okviru projekta broj TR36026 koga finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] H. Hens, A. Janssens, W. Depraetere, J. Carmeliet, "Brick Cavity Walls: A Performance Analysis Based on Measurements and Simulations", *Journal of Building Physics*, Vol 31, No 2, 2007. 95-124
- [2] A.C.C. Warnock and J.D. Quirt, Control of Sound Transmission through Gypsum Board Walls, National Research Council of Canada, Construction Technology Update No. 1, 1997, 1-6, ISSN 1206-1220
- [3] R.E. Halliwell, T.R.T. Nightingale, A.C.C. Warnock, J.A. Birta, „Gypsum Board Walls: Transmission Loss Data“, National Research Council of Canada, IRC-IR-761, 1998,

ABSTRACT

The requirements in energy efficiency have caused more frequent use of double wall with thermal insulation layer between them. In the literature there is relatively little information about laboratory measurements of such partitions. Therefore, in practice errors occur that are very difficult to correct later. Measurements in new buildings have shown unexpectedly low value of sound insulation index of such walls, less than according to known theory of massive monolithic barriers. In this paper the results of laboratory measurements of standard double wall configuration are analyzed. On that basis, a discussion concerned with the influence of certain parameters of the structures on the expected value of the sound insulation and the mechanisms of transmission of sound through them.

Analysis of double walls sound insulation index – laboratory measurement approach

Dragana Šumarac Pavlović, Miloš Dinić,
Vlada Bezbradica, Miloš Bjelić