

# Dileme u proceni izolacionih osobina dvostrukih masivnih pregrada pomoću procedura iz standarda SRPS 12354-1

Miloš Dinić, Dragana Šumarac Pavlović, Miloš Bjelić, Ivana Ristanović

**Apstrakt**— Povećani zahtevi u pogledu termičke izolacije u zgradarstvu uslovlili su sve veću upotrebu dvostrukih masivnih zidova sa termoizolacionim materijalom u međuprostoru. Standard SRPS 12354-1 definiše pristupke proračuna zvučne izolacije od vazdušnog zvuka, ali ne obuhvata ovakve konstrukcije. Kod dvostrukih masivnih pregrada postoje dve paralelne putanje prolaska zvuka. Jedna je direktna putanja kroz pregradu, a druga predstavlja dodatnu bočnu putanju. Ta dodana bočna putanja dominantno određuje ukupna izolaciona svojstva dvostrukog zida. Kod dvostrukih masivnih pregrada izolaciona svojstva bočnih putanja su promenjena, obzirom da u njima učestvuju dve tanje pregrade. U radu prikazan je predlog jednog mogućeg pristupa za proračun dvostrukih pregrada po načelima metodologije definisane za jednostruke masivne pregrade iz standarda SRPS 12354-1. Na primeru uobičajenih konstrukcija koje se koriste danas u stanogradnji prikazane su vrednosti dobijene predloženim proračunom i upoređene sa rezultatima laboratorijskih merenja.

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

## I. UVOD

Savremene tendencije u građevinarstvu podstaknute potrebom za povećanjem energetske efikasnosti uslovile su neke promene u strukturama pregradnih elemenata. Promena regulative u oblasti termike uvela je zahtev za odgovarajućim nivoom termičke izolacije između susjednih stanova. Da bi se to postiglo kao pregradni elementi ne mogu se više koristiti monolitni zidovi. Drugi važan zahtev koji ovakva pregrada između dva stana treba da zadovolji je da obe stambene jedinice imaju u sobama čvrstu površinu pregradne konstrukcije koja im omogućava sve one prednosti koje imaju pregrade od tvrdih građevinskih materijala kao što su nosivost i slično. Zbog toga su u stanogradnji u najširu primenu ušle dvostruke monolitne pregrade. One se sastoje od dva masivna sloja, beton, opeka, blokovi, između kojih se postavlja neki termoizolacioni material.

Razdvajanje jedne masivne pregrade u dva sloja menja

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

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

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

Ivana Ristanović – Visoka škola tehničkih strukovnih studija u Čačku, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija (e-mail: ivana.ristanović@vstss.com)..

ukupna izolaciona svojstva same pregrade, to jest direktan prenos kroz njena dva sloja, a takođe unosi i izvesne promene u izolaciona svojstva pojedinačnih slojeva. Primeri iz prakse pokazali su da u određenim okolnostima dvostruki zidovi, ukoliko njihovi slojevi imaju manju površinsku masu, daju kao rezultat nedovoljno dobre izolacione karakteristike u odnosu na one koje se zahtevaju propisima. Postoje brojni primeri iz prakse koji pokazuju neočekivano male vrednosti terenske izolacione moći izmerene u zgradama u kojima su između stanova ugrađene takve dvostruke pregrade.

Dvostruku masivnu pregradu čine dve tanje pregrade od masivnog materijala sa vazdušnim međuslojem koji može biti ispunjen apsorpcionim materijalom. Zbog specifičnog načina prolaska zvuka kroz dvostruku pregradu, koja se ogleda u postojanju više paralelnih puteva direktno kroz pregradu i preko strukturne veze između dva sloja pregrade, nije jednostavno proceniti ukupnu izolacionu moć ovakvih struktura. Jedan od problema je i u tome što opšte usvojenim standardom za proračun izoacije od vazdušnog zvuka SRPS12354-1 nije obuhvaćen slučaj dvostrukih pregrada [1].

U radu je prikazan jedan od mogućih načina prilagođavanja standardnih procedura za proračun terenske vrednosti zvučne izolacije od vazdušnog zvuka za proračun dvostrukih pregrada. Predložena procedura podrazumeva promenu načina proračuna svih bočnih putanja u skladu sa putanjama koje se u slučaju dvostrukih pregrada pojavljuju kao nove, koje ne postoje u slučaju jednostrukih pregrada, kao i dodatna putanja nastala strukturnim prenosom zvuka između dva sloja pregrade.

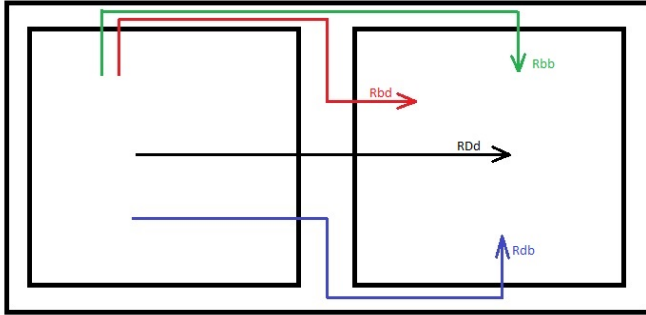
## II. STRUKTURA BOČNOG PROVOĐENJA KOD JEDNOSTRUKIH I DVOSTRUKIH PREGRADA

Standard SRPS12354-1 za proračun izolacije od vazdušnog zvuka ne obuhvata slučaj dvostrukih pregrada. Da bi se procedure definisane u njemu na neki način primenile i za proračun terenske izolacione moći kada se između soba nalazi dvostrukih pregrada analizirane su nove i promenjene bočne putanje koje u tom slučaju postoje. One utiču na ukupnu terensku izolacionu moć dvostruke pregrade

Putevi prenosa zvuka između predajne i prijemne prostorije kada se između njih nalazi jednostruka pregrada šematski su prikazani na slici 1. Ukupan broj putanja prenosa zvuka za slučaj prikazan na slici je ukupno 13. To su: jedna direktna putanja i za svaki spoj bočnih stranica po 4 putanje (ukupno 12). Faktori koji utiču na vrednost izolacione moći bočnih putanja sa slike su

- izolacione moći bočnih pregrada,
- izolaciona moć glavne pregrade i
- slabljenja na spojevima dve pregrade preko kojih se prenosi zvučna energija.

Slabljenje na spojevima određeno je vrstom spoja (krstasti ili T spoj), načinom njihovog vezivanja (elastični ili čvrsti spoj) i odnosom površinskih masa pregrada koje čine posmatrani spoj.



Slika 1. Šematski prikaz paralelnih puteva prolaska zvuka uslučaju jednostruke pregrade

Proračun terenske izolacione moći pregradne konstrukcije zasniva se na laboratorijskim vrednostima izolacionih moći osnovne i bočnih pregarada ili vrednostima koji su za masivne jednostruke pregrade dobijeni proračunom prema Aneksu B standarda SRPS 12354-1. Približan izraz za proračun izolacionih moći bočnih putanja dat je sledećim izrazom:

$$R_{ij} = \frac{R_i}{2} + \frac{R_j}{2} + \Delta R_i + \Delta R_j + K_{ij} + 10 \log \frac{S_s}{l_0 l_{ij}} \quad (1)$$

gde su  $R_i$  i  $R_j$  laboratorijski dobijene vrednosti izolacione moći pregrada u spoju,  $\Delta R_i, \Delta R_j$  poboljšanja izolacionih moći usled obloga na zidovima (ako pregrade imaju obloge),  $S_s$  je površina osnovne pregrade,  $l_0$  je jedinična dužina 1 m, a  $l_{ij}$  je dužina spoja dve pregrade.

U standardu SRPS 12354-1 prikazana su, grafički i analitički, slabljenja za različite vrste spojeva u funkciji odnosa površinskih masa pregrada koje se spajaju. U analizi koja je prikazana u nastavku smatraće se da su spojevi čvrsti, jersu za njih standardom definisane karakteristike slabljenja. Ove karakteristike su prikazane na slikama 2 i 3.

Ukupna terenska izolaciona moć definisana je sledećim izrazima:

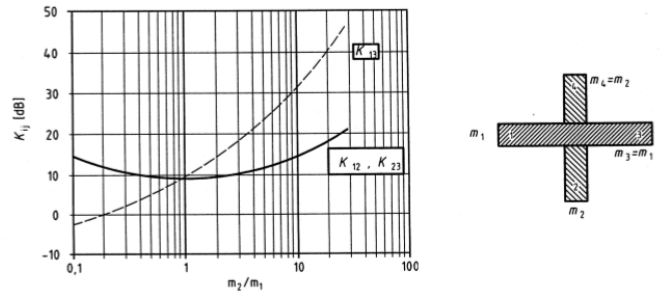
$$R' = -10 \log \tau'$$

$$\tau' = \tau_d + \sum_{i=1}^4 \tau_{bb(i)} + \sum_{i=1}^4 \tau_{db(i)} + \sum_{i=1}^4 \tau_{bd(i)}$$

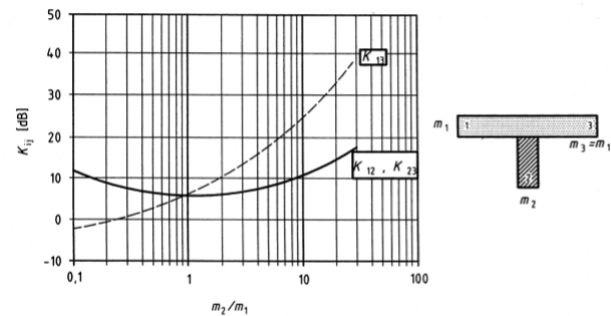
Na proceduri zasnovanoj na prikazanim fomulama zasniva se proračun zvučne izolacije koji se danas široko primenjuje u projektantskoj praksi. Postoje brojni programi koji služe za proračune zvučne izolacije. U njima se koriste algoritmi prema prikazanim formulama.

Kod dvostrukih pregrada prenos zvučne energije između prostorija postale nešto složeniji. Kroz osnovnu pregradu prenos se odvija preko tri paralelne putanje. One su šematski prikazane na slici 4. To su:

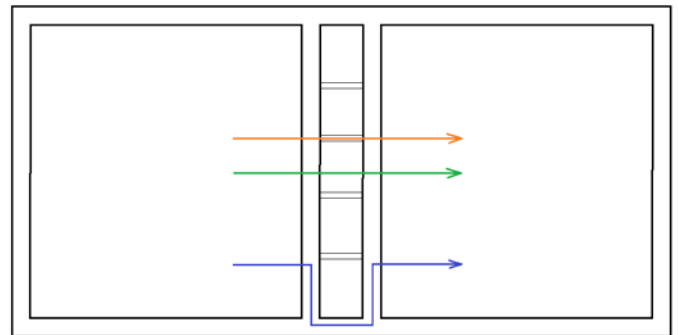
1. direktnim putem preko jedne pregrade, vazdušnog međuprostora i druge pregrade;
2. preko čvrstih spojeva između dva sloja koji se u toku gradnje postavljaju radi povećanja krutosti pregarde;
3. preko zajedničkog oslonca – strukturnim prenosom.



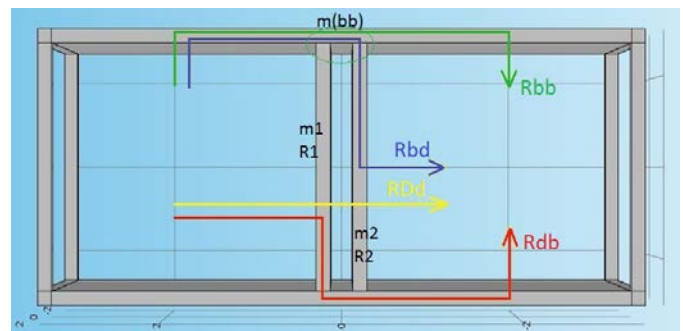
Slika 2. Karakteristike slabljenja u krstastom neelastičnom spoju



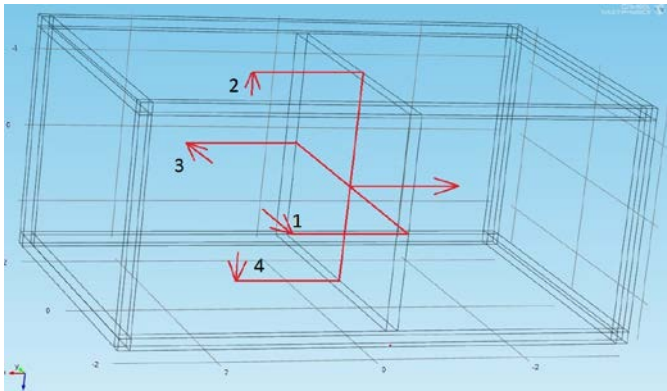
Slika 3. Karakteristike slabljenja u T neelastičnom spoju



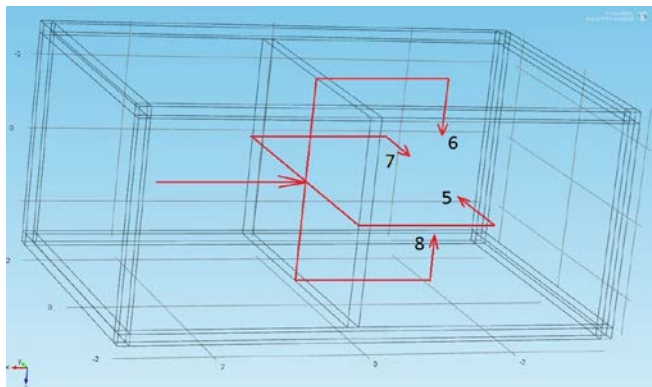
Slika 4. Šematski prikaz paralelnih putanja zvuka direktno kroz dvostruku pregradu



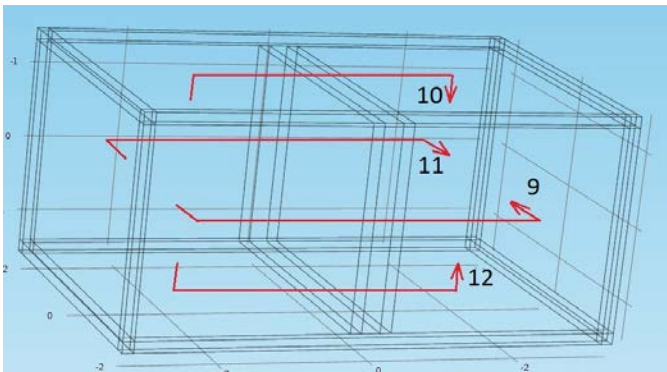
Slika 5. Šematski prikaz putanja prolaska zvuka između prostorija u slučaju dvostruke pregrade



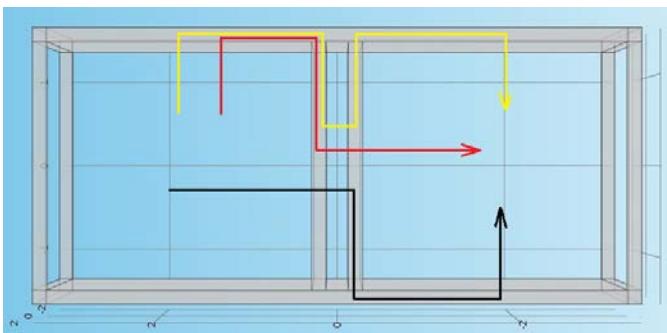
Slika 6. Bočne putanje iz bočnih zidova kroz pregradu



Slika 7. Bočne putanje iz glavne pregrade preko bočnih



Slika 8. Bočne putanje preko bočnih zidova, poda i tavanice



Slika 9. Bočne putanje sa većim brojem spojeva

U slučaju dvostrukih pregrada osim direktnog prolaska kroz dve pregrade prikazanog na slici 4 postoji veći broj bočnih puteva. Njihov broj je uvećan jer se prenos može odvijati i

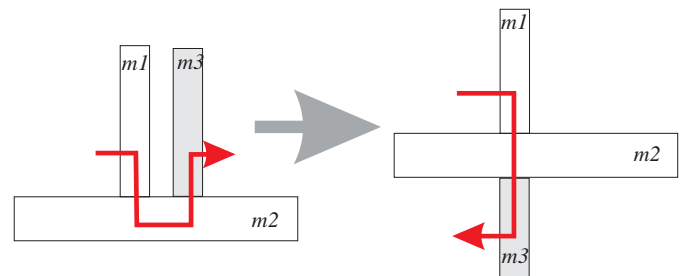
preko jedne i preko druge masivne pregrade koji čine dvostruku pregradu. Na slici 5 šematski su prikazani dominantni putevi prolaska zvuka u slučaju dvostrukih pregrada. Pošto se taj proces dešava u trodimenzionalnoj strukturi zgrade, ukupan broj takvih putanja je 18, i to 12 putanja bočnog provođenja, jedna direktna putanja kroz pregradu, jedna preko čvrstih veza između masivnih pregrada i 4 putanje preko zajedničkog oslonca dva sloja dvostruke pregrade. Da bi se lakše sagledale sve te putanje, na slikama 6, 7 i 8 one su predstavljene u trodimenzionalnom prikazu pregradnih konstrukcija kojima su formirane prostorije.

Osim putanja označenih na slikama 6, 7 i 8 postoji još i putanje koje zbog velikog slabljenja nisu uzete u obzir. Tu spadaju putanje koje prolaze kroz dva spoja pregrada, čime se povećava ukupno slabljenje. Takve putanje su prikazane na slici 9.

### III. METODOLOGIJA PRORAČUNA BOČNIH PUTANJA

Proračun ukupne izolacione moći konstrukcija kod kojih je glavna pregrada dvostruka sastavljena od dve masivne pregrade sa vazдушnim međuprostorom između njih zahteva proračun nešto izmenjenih bočnih putanja kao i proračun složenog načina prolaska zvuka kroz samu pregradu, ukupnu direktnu putanju. Direktna putanja prolaska zvuka osim osnovnih putanja kroz vazdušni međuprostor i preko elementa za učvršćivanje konstrukcije (slika 4) sadrži i nove 4 putanje koje se ostvaruju kroz prvi i drugi masivni element dvostruke pregrade preko zajedničkog čvorišta, nazvaćemo ih bočne putanje kroz dvostruku pregradu  $R_{dw}$  (slika 5).

Proračun izolacionih moći različitih bočnih putanja izvršen je na osnovu proračuna koji je naveden u standardu 12354-1. U slučaju dvostruke glavne pregrade prenos  $R_{bd}$  i  $R_{db}$  (slika 5) se ostvaruje kroz bočne zidove (i pod i tavanicu) i jedan sloj dvostruke pregrade. To znači da u proračunu izolacione moći te putanje glavna pregrada ulazi sa izolacionom moći jednog svog dela (jednog sloja) i sa površinskom masom samo jednog sloja. Time se menja vrednost  $R_i$  i  $R_t$  u jednačini (1) kao i vrednost slabljenja u čvorištu  $K_{ij}$  koje zavisi od odnosa površinskih masa. Na taj način prisustvo dve tanje pregrade (koje svaka pojedinačno imaju manju površinsku masu i manju izolacionu moć) umanjuje slabljenje na bočnim putanjama i time i ukupnu izolacionu moć cele konstrukcije.



Slika 10. Ilustracija načina proračuna prolaska zvuka iz jednog u drugi sloj dvostruke masivne pregrade

Bočne putanje kroz osnovnu dvostruku pregradu  $R_{dw}$  računamo kao bočni prenos kroz krstasti spoj (slika 2,

putanja 13) gde su mase m1 i m3 površinske mase slojeva dvostruke pregrade, a masa m2 je masa bočnog zida, poda ili tavanice kojima se ostvaruje spoj dva sloja dvostruke pregrade.

#### IV. REZULTATI PRORAČUNA

Kao ilustracija vrednosti izolacionih moći koja se dobija predloženom metodologijom analizirana je konstrukcija sastavljena od betonskih elemenata, koja se može smatrati standardnom konstrukcijom u našoj građevinskoj praksi. Proračun slabljenja na direktnim i bočnim putanjama sprovedena je za slučaj:

- Armirano betonske tavanice i poda debljine 16cm  
 $\rho = 2350 \text{ kg} / \text{m}^3$ .
- Betonskih zidova 16cm
- Dvostruke pregrade sastavljene od dva sloja armirano betonskih ploča debljine 10 cm sa

Rezultati proračuna prikazani su u tabeli 1 za slučaj dvostruke pregrade i u tabeli 2 za slučaj monolitne masivne pregrade. Terenska izolaciona moć izračunata je u oba slučaja za iste bočne pregrade pod i tavanicu.

TABELA 1: IZOLACIONE MOĆI SVIH PUTANJA PROLASKA ZVUKA IZMEĐU PRIEMNE I REDAJNE PROSTORIJE U SLUČAJU OSNOVNE DVOSTRUKE MASIVNE PREGRADE.

Oznaka			
Rd-direktno	R=60dB	Rdd=56dB	R'=56dB
Rd - bočno	R=66dB		
Rbd	R1=73dB R2=71dB R3=73dB R4=71dB	Rbd=65dB	
Rdb	R5=72dB R6=70dB R7=72dB R8=70dB	Rdb=65dB	
Rbb	R9=78dB R10=76dB R11=78dB R12=76dB	Rbb=71dB	

#### V. ZAKLJUČAK

Problem proračuna dvostrukih pregradnih zidova dobio je na značaju poslednjih godina kada je potreba za energetske efikasnom gradnjom uvela široku upotrebu ovakvih pregrada. Na većem broju objekata merenja u izvedenom stanju pokazala su neočekivano male vrednosti terenske izolacione moći ovakvih pregrada pa se pojavila potreba za poboljšanjem izolacionih svojstava ovakvih konstrukcija i razvoja metodologije proračuna. U radu je predložena metodologija proračuna bazirana na proračunima bočnih provođenja koji se sprovode kod jednostrukih pregrada pri čemu se uzima samo površinska masa jednog sloja dvostruke pregrade. Da bi se

proračunao put 3 kod direktnog prenosa kod dvostrukih pregrada koja se otvaruje preko zajedničkog spoja izvedene su određene pretpostavke i dobijeni rezultati pokazali su slaganje sa rezultatima merenja koja su prezentovana u posebnom radu istih autora.

TABELA 2: IZOLACIONE MOĆI SVIH PUTANJA PROLASKA ZVUKA IZMEĐU PRIEMNE I REDAJNE PROSTORIJE U SLUČAJU OSNOVNE JEDNOSTRUKE MASIVNE PREGRADE.

Oznaka			
Rd-direktno		Rdd=59dB	R'=59dB
Rbd	R1=78dB R2=76dB R3=78dB R4=76dB	Rbd=70dB	
Rdb	R5=78dB R6=76dB R7=78dB R8=76dB	Rdb=70dB	
Rbb	R9=78dB R10=76dB R11=78dB R12=76dB	Rbb=70dB	

#### 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] SRPS EN 12354-1:2008 Akustika u građevinarstvu - Ocena zvučne zaštite zgrada na osnovu akustičkih performansi građevinskih elemenata - Deo 1: Zvučna izolacija između prostorija

#### ABSTRACT

The increased requirements for thermal insulation were introduced in practice greater use of double walls. The standard EN 12354 -1 not defined procedures for calculation of the apparent sound reduction index for such constructions. The paper suggests a possible approach for calculation apparent sound reduction index based on the methodology of calculation for the single partition defined by the standard EN 12354-1. Some theoretical analyses of the sound energy transmission through direct and flanking paths in a case of double massive partition were done. Verification of the proposed approach were done based on laboratory measurement of such type of constructions and on FEM numerical simulation. The analysis included more standard used construction and types of junctions.

Dilemmas in the assessment of the insulating properties of double massive partition according to SRPS 12354-1

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