

Uticaj opšte difuznosti na odziv u prostoriji

Dragana Šumarac Pavlović, Milan Petrović

1

Sadržaj — Opšta difuznost u prostoriji predstavlja geometrijsku karakteristiku koja se bazira na veličini reljefa unutrašnjih površina. U radu su prikazani rezultati analize uticaja promene opšte difuznosti u prostoriji na različite osnovne numeričke parametre impulsnog odziva. Analiza je sprovedena merenjem na jednom fizičkom modelu paralelopipedne prostorije pri različitim kombinacijama ravnih i difuznih površina.

Ključne reči — Akustička merenja, apsorpcija, difuznost, fizički model, impulsi odziv.

I. UVOD

PREDIKCIJA i dizajniranje zvučnog polja u prostorijama gde se zahtevaju visoki kriterijumi akustičkog kvaliteta je složen proces. Osnovne alatke u kreiranju akustičkog odgovora nekog prostora čini izbor unutrašnjih površina sa odgovarajućim karakteristikama. Najčešće je globalna geometrija zadata, pa akustičkom dizajnu ostaju na raspolaganju apsorpciona svojstva materijala i mikrogeometrijska intervencije na površinama. Poznavanje karakteristika materijala, kako apsorpcionih tako i difuznih, opterećeno je nizom nepreciznosti.

Kada je reč o apsorpcionim karakteristikama materijala podaci o njihovim nominalnim karakteristikama su poznati na osnovu laboratorijskih merenja u reverberacionim komorama. Sa druge strane u mnogim radovima analizirano je kako pozicija apsorpcionog materijala utiče na efektivnu apsorpciju koju materijal ostvari u prostoriji [1]. Razlike koje se javljaju mogu biti takve da prouzrokuju promene akustičkih parametara i do reda veličine 50%.

Kada je reč o difuznim karakteristikama neravnih površina one se mogu okarakterisati sa dva parametra. Jedan od parametara je koeficijent raspršavanja (*scattering*) koji govori o tome koliki se deo zvučne energije reflektovao spekularno u odnosu na energiju koje se raspršila u svim pravcima. Drugi parametar je koeficijent difuznosti koji daje podatak o prostornoj distribuciji energije nakon refleksije. Iako su metode merenja ova dva koeficijenta standardizovane, u realnim okolnostima jako je mali broj situacija kada su parametri difuznih karakteristika površina poznati. Iz dizajnerske prakse poznato je da je

upravo upotreba difuznih svojstava određenih geometrijskih konfiguracija jedna efikasna alatka u procesu postizanja željenog akustičkog kvaliteta. Često to podrazumeva intervencije na postojećim površinama, što onemogućava precizno laboratorijsko ispitivanje karakteristika primenjenih konfiguracija.

Metode predikcije na bazi softverskog modelovanja zvučnog polja podrazumevaju poznavanje koeficijenata koji opisuju difuzna svojstva površina. Drugi način predikcije zasnovan na statističkom modelu ne poznaje pojam difuznosti, iako je evidentno da on ima presudan značaj u ostvarivanju akustičkog kvaliteta.

Haan i Fricke [2] razvili su metod za vizuelnu proceduru karakterisanja neregularnosti na površinama. Oni su definisali SDI (sound diffusivity index) kao indeks difuznosti u prostoriji koji se izračunava kao prosečna difuznost u prostoriji na bazi opisivanja svih površina u okviru tri kategorije: jako difuznih kojima se dodeljuje koeficijent 1, srednje difuznih sa koeficijentom 0.5 i nisko difuznih sa koeficijentom 0. U skladu sa udelom svake površine u ukupnoj unutrašnjoj površini može se sračunati SDI za neku prostoriju. U skladu sa predloženom procedurom oni su analizirali 31 koncertnu salu i pokazalo se da su sale koje su po akustičkom kvalitetu rangirane kao najbolje imale veoma visoku vrednost indeksa difuznosti.

Povećana difuznost posredno unosi dodatnu apsorpciju jer geometrijski detalji kojima se postiže difuznost svojom povećanom površinom doprinose dodatnom apsorbovanju zvuka. Realno povećane površine, a time i apsorpcione moći nije moguće jednostavno proceniti u praksi.

U istraživanju čiji su rezultati prikazani u radu, analiziran je uticaj prisustva difuznih površina u prostoriji na numeričke pokazatelje akustičkog odziva. Eksperiment je organizovan na bazi merenja na fizičkom modelu paralelopipedne prostorije.

KONFIGURACIJA EKSPERIMENTALNIH MODELA

Ispitivanje uticaja prisustva difuznih elemenata organizovano je merenjima na fizičkom modelu paralelopipedne prostorije. Model je realizovan u razmeri 1:10 sa dimenzijama 0.6 x 0.8 x 0.47 m. Fizički model prostorije sastoji se od 6 izmenjivih površina. Različite konfiguracije u modelu postignute su kombinovanjem potpuno ravnih i difuznih površina. Na slici 1. prikazan je izgled jedne difuzne površine.

Reljefnost na površinama postignuta je nepravilnim ravnomernim apliciranjem polulopti prečnika 4cm. I u slučaju ravnih i u slučaju reljefnih površina iskorišćena je ista završna obrada koja se sastojala u višeslojnom farbanju drveta. Ova obrada obezbeđuje relativno mali koeficijent apsorpcije.

¹Istraživanja na osnovu kojih je napisan ovaj rad sprovedena su u okviru aktivnosti na projektu 23046 koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

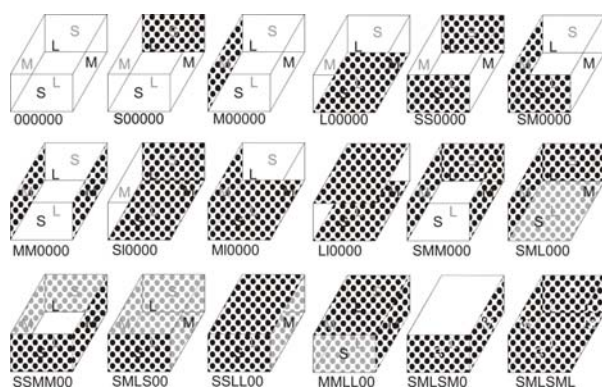
Dragana Šumarac Pavlović, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija (telefon: 381-11'3218'361; faks: 381-11-3248681; e-mail: dsumarac@etf.rs).

Aleksandar Dikanović, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, Srbija (telefon: 381-11'3218'361; faks: 381-11-3248681; e-mail: dsumarac@etf.rs).



Slika 1. Izgled strukture reljefnosti površina u modelu

U okviru eksperimenta realizovano je 18 različitih kombinacija, odnosno modela. Na slici 2. šematski su prikazani realizovani modeli sa odgovarajućim oznakama kojima je kodirana pozicija difuznih površina u modelu.



Slika 2. Šematski prikaz realizovanih konfiguracija modela sa oznakama stranica na kojima postoje reljefni elementi.

Dimenzije apliciranih elemenata kao i njihov prostorni raspored i gustina obezbeđuju da se efektivna površina stranice sa reljefom poveća za 50%.

Za primenjenu reljefnu strukturu u literaturi se mogu naći podaci o koeficijentu raspršavanja (*scattering coef.*) ovakvih površina u difuznom polju. U tabeli 1 date su vrednosti preuzete iz literature [3].

Tabela 1. Vrednosti koeficijenta raspršavanja u funkciji frekvencije za strukturu prikazanu na slici 1.

frek.	200	250	315	400	500	630
koef.	0.15	0.2	0.37	0.4	0.47	0.51
frek.	800	1000	1250	1600	2000	
koef.	0.57	0.56	0.5	0.71	0.7	

PROCEDURA MERENJA IMPULSNOG ODZIVA

Modeli prostorija pobuđivani su impulsnom pobudom generisanom električnim varničarom posebno konstruisanim za merenja na fizičkim modelima. Model je pobuđivan u jednoj tački, a impulsni odziv sniman je u dve tačke čija je pozicija precizno definisana, čime su obezbeđeni uslovi za relativno poređenje rezultata dobijenih pri različitim konfiguracijama u modelu. Impulsni odziv prostorije registrovan je mikrofonom čija je gornja granična frekvencija 80 kHz, a signali su snimani sa frekvencijom odmeravanja od 192kHz. Vraćanjem u

prirodni domen frekvencija i kompenzovanjem slabljenja koje usled dispicije nastupa u fizičkim modelima, sa upotrebljenom mernom opremom obezbeđeni su uslovi za analizu impulsnih odziva u opsegu do 9.6 kHz. Ovaj opseg dozvoljava frekvenzijsku analizu u 1/3 oktavnom opsegu od 6300Hz.

INDEKS DIFUZNOSTI U MODELIMA

Uticaj prisustva reljefnih površina u modelu prostorije opisan je u okviru modela indeksom difuznosti. Ovaj indeks definisan je na sledeći način. Svakoj ravnoj površini dodeljen je koeficijent difuznosti 0, a svakoj reljefnoj koef. difuznosti 1. Za svaku analiziranu konfiguraciju izračunat je na prethodno opisan način indeks difuznosti. Na taj način menjanjem konfiguracije u modelu ostavljen je relativno ravnomerno raspoređen indeks difuznosti u rasponu od 0 do 1. Indeks difuznosti 0 ima model sa svim ravnim površinama, a indeks 1 model sa svim reljefnim površinama. U tabeli 2 su prikazani indeksi difuznosti za sve posmatrane modele.

Tabela 2 Indeks difuznosti za različite modele prostorija.

model	koef.	model	koef.
000000	0	LL0000	0.42179
S00000	0.1239	SMM000	0.45431
M00000	0.1652	SML000	0.5
L00000	0.2109	SSMM00	0.57821
SS0000	0.2478	SMLS00	0.6239
SM0000	0.2891	SLL00	0.6696
MM0000	0.3304	MMLL00	0.7522
SL0000	0.3348	SMLSM0	0.7891
ML0000	0.3761	SMLSML	1

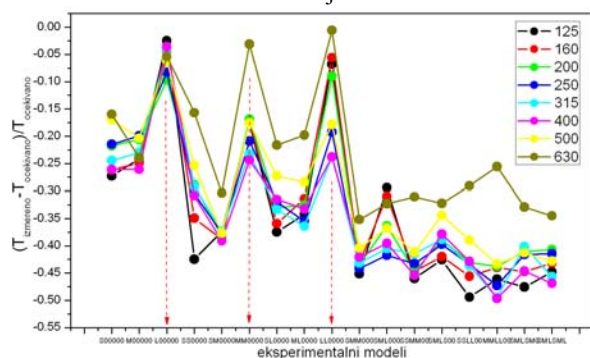
Na različitim frekvencijama srazmerno dimenzijama reljefnih detalja neće biti ostvaren isti koeficijent raspršavanja. Medjutim, relativni odnos indeksa difuznosti pojedinih konfiguracija će ostati nepomenjeni. Iz tog razloga nije posebno razmatrano koju apsolutnu vrednost indeksa difuznosti imamo u različitim frekvencijskim opsezima već je razmatran njihov međusobni odnos.

REZULTATI ANALIZE VREMENA REVERBERACIJE U U MODELIMA

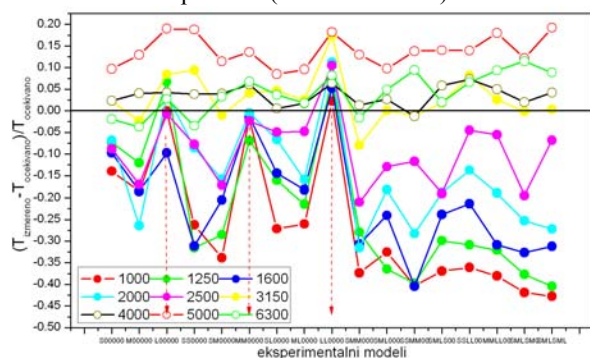
Na osnovu izmerenih impulsnih odziva za iste parove tačaka pobude i prijema, i vraćanja signala u prirodni domen frekvencija izračunati su sledeći standardni parametri impulsnog odziva: T20, EDT, C80, C50, TS.

Prisustvo reljefnih površina u modelu unosi dodatna slabljenja. Jedan od merljivih faktora dodatnog slabljenja je povećana unutrašnja površina. Povećano slabljenje prirodno ima svoje posledice na sve parametre impulsnog odziva. Povećana apsorpcija superponira se sa efektima koje prouzrokuje prisustvo reljefnih površina, kao što je preusmeravanje tokova kretanja zvučne energije. Radi delimičnog razdvajanja ova dva efekta, prilikom izračunavanja izmerene vrednosti vremena reverberacije normalizovane su sa vrednostima koje su statistički očekivane. Statistički očekivane vrednosti vremena

reveberacije dobijaju se na osnovu Sabinovog obrasca sa obarčunatim povećanjem unutrašnje površine koju unose detalji reljefa. Na slikama 3 i 4 (u različitim 1/3 oktavnim opsezima) prikazano je odstupanje izmerenih vrednosti T20 od statistički očekivanih po Sabinovom obrascu, za različite konfiguracije modela. Na apcisi su poređani modeli u redosledu koji odgovara rastućem indeksu difuznosti. Svaka kriva predstavlja odstupanje koje je dobijeno u određenom frekvencijskom opsegu za sve posmatrane konfiguracije. Nulta vrednost na ordinati predstavlja izmerene vrednosti T20 koje se poklapaju sa statistički očekivanim vrednostima. U nižim frekvencijskim opsezima evidentno je veliko odstupanje T20 za različite modele. Modeli za koje se očekuje da prema statističkoj teoriji imaju približno isto T20 (model LL0000 i SML000) jer im je približno ista površina prekrivena reljefnim detaljima imaju i do 50 % različito izmereno vreme reverberacije. Iako imaju istu količinu difuznih elemenata, njihova pozicija u prostoru nije takva da obezbeđuje opštu difuznost. Sa porastom frekvencije razlike u modelima se ublažavaju.



Sl. 3. Razlika između izmerenih i statistički očekivanih vrednosti T20 za različite modele po 1/3 oktavnim opsezima (125 Hz- 600 Hz)



Sl. 4. Razlika između izmerenih i statistički očekivanih vrednosti T20 za različite modele po 1/3 oktavnim opsezima (800 Hz-6300 Hz)

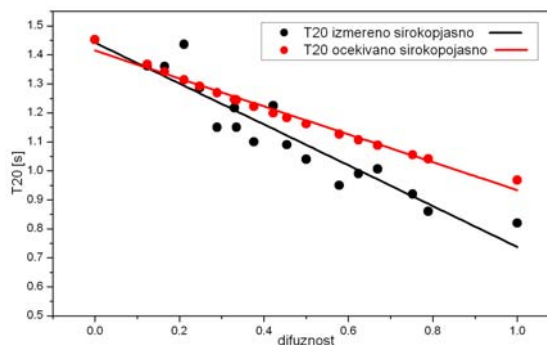
KARAKTERISTIKE ŠIROKOPOJASNOG ODZIVA

Za razliku od vremena reverberacije za koji postoji statistički model predikcije, ostali numerički parametri impulsnog odziva ne mogu se jednostavno predvideti. Eksperiment je izveden tako da je pozicija prijemnog i predajnog mesta u modelu očuvana što je obezbedilo mogućnost da se vrednosti parametara međusobno

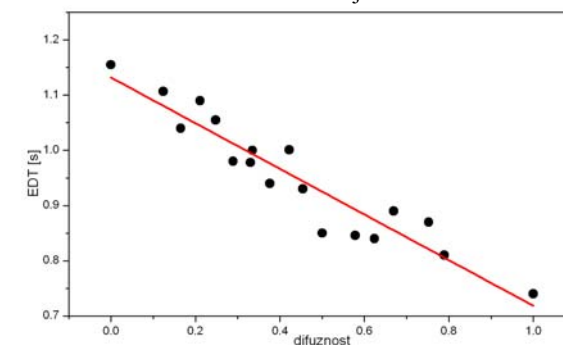
relativno uporede.

Na slikama 5, 6, 7, 8 i 9, respektivno prikazane su vrednosti parametara T20, EDT, Ts, C80 i D50 za širokopojasni signal u funkciji indeksa difuznosti (odnosno za različite konfiguracije modela).

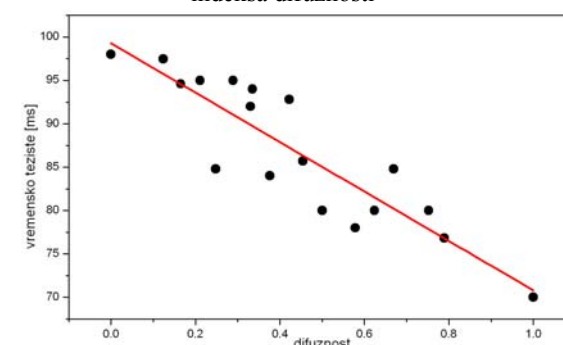
Za parametar T20 (slika 5) date su i statistički očekivane vrednosti izračunate na osnovu srednjeg koeficijenta apsorpcije za model sa ravnim površinama. Vrednosti T20 u početnom modelu (000000) korigovane su za faktor koji je funkcija povećane površine reljefnih stanica.



Sl. 5. Zavisnost izmerenih vrednosti i statistički očekivanih vrednosti T20 u funkciji indeksa difuznosti



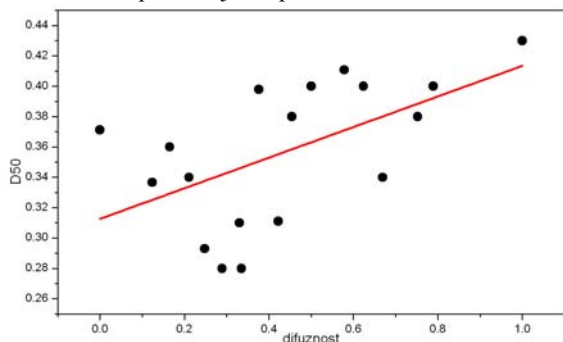
Sl. 6. Zavisnost izmerenih vrednosti EDT u funkciji indeksa difuznosti



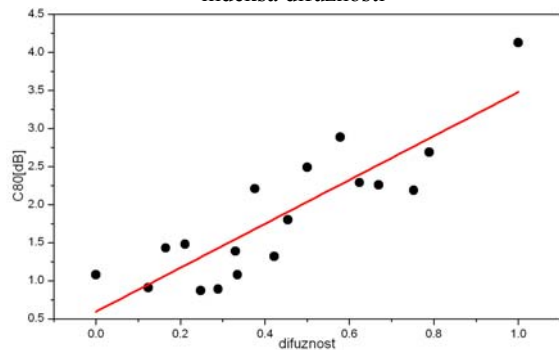
Sl. 7. Zavisnost izmerenih vrednosti TS u funkciji indeksa difuznosti

Prisustvo reljefnih površina utiče na smanjenje vremena reverberacije više nego što je po statističkoj teoriji opravdano. Isti trend pokazuje i EDT koje vrlo pravilno opada sa porastom opšte difuznosti u prostoriji što se može objasniti većim dotokom zvučne energije pri povećanoj difuznosti u početnom delu impulsnog odziva. Dosledno povećanje vrednosti sa porastom difuznosti evidentno je i kod parametra C80, dok d50 nije jasno

korelirano sa povećanjem opšte difuznosti.



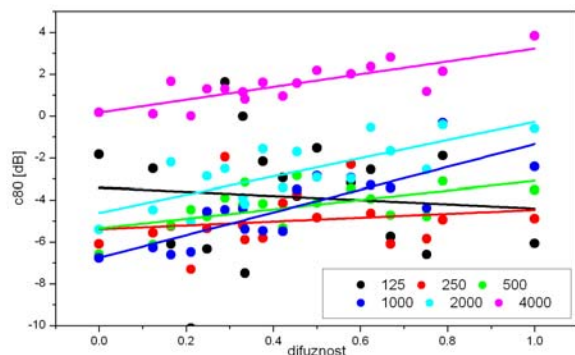
Sl. 8. Zavisnost izmerenih vrednosti d50 u funkciji indeksa difuznosti



Sl. 9. Zavisnost izmerenih vrednosti EDT u funkciji indeksa difuznosti

KARAKTERISTIKE USKOPOJASNOH ODZIVA

Snimljeni impulzni odzivi analizirani su i uskopojasno u oktavnim frekvenčijskim opsezima. Na slikama 10, 11 i 12 prikazane su promene parametara C80, d50 i Ts (respektivno) u funkciji indeksa difuznosti u prostoriji. Svaki oktavni oseg prikazan je setom izmerenih vrednosti posmatranog parametra i linearnom aproksimacijom tih vrednosti u funkciji indeksa difuznosti. Tek u višim frekvenčijskim opsezima postoji veća korelisanost vrednosti parametara sa indeksom difuznosti.

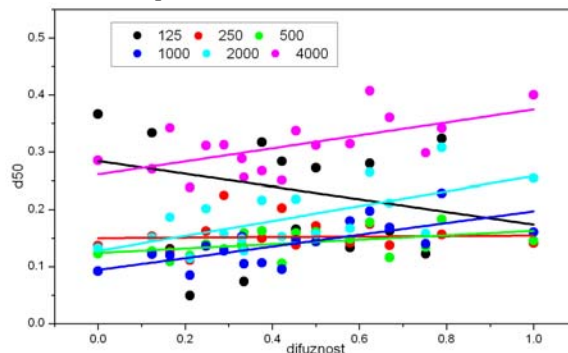


Sl. 10. Zavisnost izmerenih vrednosti C80 u funkciji indeksa difuznosti po oktavnim opsezima

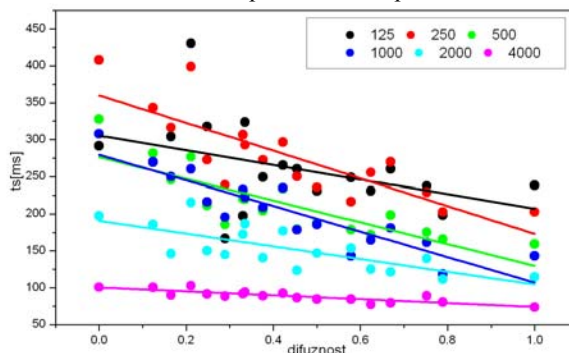
ZAKLJUČAK

Prisutvo reljefnih površina u prostoriji utiče na akustički odgovor prostora. Da bi se na neki način kvantifikovalo prisustvo difuznih površina u prostoriji, u radu je uveden parametar nazvan indeks difuznosti, kao numerički

pokazatelj prisustva reljefnih detalja na unutrašnjim površinama. Rezultati dobijeni na eksperimentalnim modelima prikazanim u radu ukazuju da postoji dobra korelisanost promene numeričkih parametara impulsnih odziva i indeksa difuznosti. Rezultati takođe ukazuju na složene mehanizme kojima difuzni elementi menjaju akustički karakter prostora.



Sl. 11. Zavisnost izmerenih vrednosti d50 u funkciji indeksa difuznosti po oktavnim opsezima



Sl. 12. Zavisnost vremenskog težišta od indeksa difuznosti po oktavnim opsezima

LITERATURA

- [1] D.Šumarac Pavlovic, M.Mijić, "An insight into the influence of geometrical features of rooms on their acoustic response based on free path length distribution", Acta Acustica, Vol 92, No 6 (2007) 1012-1026
- [2] L. Beranek, "Concert halls and opera houses, Music, Acoustics and Architecture, Springer, 2002,
- [3] M.Vorlander, E.Mommertz, "Definition and measurement of random-incidence scattering coefficients", Acta Acustica, Vol 92, No 6 (2007) 1012-1026
- [4] ISO 3382: "Acoustics – Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters"

ABSTRACT

The paper presents the results of analysis of the impact of changes in general diffusivity in the room on different parameters of the room impulse response. The analysis was conducted by measuring in the physical model with scaling factor of 1:10. Different room settings were obtained with different combinations of flat and diffuse surfaces.

INFLUENCE OF GENERAL DIFFUSIVITY IN THE ROOM TO ITS ACOUSTIC RESPONSE

Dragana Šumarac Pavlović, Milan Petrović