

Određivanje ostvarene vrednosti izolacione moći fasadnih pregrada na bazi izdvojenih karakterističnih događaja

Miloš Bjelić, Miodrag Stanojević, Dragana Šumarac Pavlović, Miomir Mijić, Tatjana Miljković

Apstrakt—Primenom mikrofonskog niza i algoritama za prostorno-vremensku obradu signala moguće je eksperimentalno utvrditi funkciju gustine verovatnoće ugaone raspodele incidentne energije u urbanim uslovima. Takav postupak je vremenski zahtevan jer je potrebno analizirati dugačke vremenske segmente saobraćajne buke snimljene mikrofonskim nizom. U ovom radu prikazana je metodologija za eksperimentalno određivanje ugaone raspodele na osnovu kratkih segmenata karakterističnih tipova zvučnih izvora u urbanim uslovima. Dobijene rezultate je potrebno težinovati jer njihov doprinos nije isti. U radu je prikazan postupak za određivanje optimalnih vrednosti težinskih koeficijenata za karakteristične događaje. Izvršeno je poređenje ostvarenih vrednosti izolacione moći izračunatih za pojedinačne događaje koristeći optimalne vrednosti težinskih koeficijenata sa vrednostima izolacione moći izračunate na osnovu dugačkih segmenata saobraćajne buke. Pokazano je da se vrednost ostvarene izolacione moći mogu proračunati na osnovu kratkih vremenskih segmenata i odgovarajućih težinskih koeficijenata. Na taj način postupak izračunavanja ugaone raspodele, a samim tim i ostavene vrednosti izolacione moći fasadne pregrade je ubrzan nekoliko desetina puta.

Ključne reči— korekcionni faktori, lokalizacija, mikrofonski niz, proračun zvučne izolacije, saobraćajna buka, ugaona raspodela, urbani uslovi.

I. UVOD

Pokazano je da vrednost izolacione moći pregrade R , zavisi od ugaone raspodele incidentne energije [1-2]. Raspodela incidentne energije spoljašnje buke u opštem slučaju nije poznata. Korišćenjem standardizovanih tehnika merenja pomoću zvučnika i pomoću saobraćaja pokazano je da vrednosti $D_{2m,T}$ mogu varirati i do 8 dB [3]. Ove varijacije potiču od razlike između incidentnih uglova realne saobraćajne buke i incidentnog ugla koji se koristi u merenjima sa zvučnikom [4]. Na osnovu toga zaključuje se da ugaona raspodela incidentne energije zavisi od konfiguracije terena u kom se analizirana zgrada nalazi.

Upotrebom optimizovanog neregularnog mikrofonskog niza i algoritama za prostorno-vremensku obradu signala pokazano je da je moguće odrediti nepoznate ugaone

raspodele incidentne energije spoljašnje buke na fasadi zgrada u urbanim uslovima [5-7]. Eksperimentalno određene ugaone raspodele incidentne energije spoljašnje buke i poznate vrednosti građevinskih parametara korišćene su za predikciju izolacione moći fasadnih pregrada [8, 9]. Na osnovu oblika ugaonih raspodela definisane su kategorije konfiguracija terena u urbanim uslovima.

Da bi se predloženom metodom odredila ugaona raspodela potrebno je izvršiti snimanje buke mikrofonskim nizom u dužem intervalu vremena. Vremenska i računaska kompleksnost ovog postupka direktno je srazmerna trajanju snimljenog signala. U prethodnim istraživanjima [10] analiziran je uticaj pojedinačnih izvora buke na ostvarene vrednosti izolacione moći pregrade. Motivacija za to istraživanje je bila potreba da se smanji vremenska kompleksnost postupka. Pokazano je da se ostvarene vrednosti izolacione za pojedinačne događaje dramatično razlikuju, što je posledica različitih oblika funkcije gustine verovatnoće incidentne energije. Zaključeno je da pojedinačni događaji treba da budu težinovani određenim koeficijentima, kako bi se njihovom kombinacijom dobio oblik raspodele koji se poklapa sa oblikom raspodele dobijenim na osnovu dužeg vremenskog intervala.

Ovaj rad predstavlja nastavak istraživanja [10] i u njemu je ideja da se pronađu koeficijenti kojima bi se težinivali pojedinačni zvučni događaji i na taj način dobio približan oblik raspodele kao za dugačak segment signala. Koeficijenti će biti dobijeni optimizacionim postupkom u kom se minimizuje razlika između „zvučne mape“ kombinacije pojedinačnih događaja, sa težinskim koeficijentima, i „zvučne mape“ dugačkog vremenskog segmenta. Postupak određivanja „zvučnih“ mapa je relativno brz postupak jer se radi o kratkim segmentima signala, pa bi se poznavajući težinske koeficijente značajno ubrzao postupak izračunavanja. U radu su prikazane proračunate vrednosti izolacione moći fasadnih pregrada na bazi raspodela dobijenih postupkom sa težinskim koeficijentima za dve najčešće korišćene pregrade u urbanim uslovima.

Rad je organizovan kako sledi. U drugom poglavlju prikazani su mikrofonski niz, algoritam za prostorno-vremensku obradu signala sa mikrofonskog niza, postupak za izračunavanje ugaone raspodele, model za proračun izolacione moći pregrade i optimizacioni postupak za dobijanje težinskih koeficijenata za tipove saobraćajne buke. U trećem poglavlju prikazan je postupak za određivanje težinskih koeficijenata za pojedinačne tipove saobraćajne buke. U četvrtom poglavlju prikazani su rezultati i njihova diskusija. U poslednjem poglavlju izneti su zaključci.

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

Miodrag Stanojević – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: miodragstanojevic@bitprojekt.co.rs).

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

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

Tatjana Miljković – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: tm@etf.rs).

II. METODE

A. Mikrofonski niz i algoritam za prostorno-vremensku obradu signala

Planarni mikrofonski niz sa 24 mikrofona se u ovom radu koristi kao merni alat za određivanje lokacije i energije izvora u prostoru u odnosu na fasadnu pregradu. Na osnovu referentnog spektra buke u urbanim uslovima [11] i spektra dobijenog merenjem u urbanim uslovima [12] određen je frekvencijski opseg od interesa za analizu. Postupak optimizacije i konstrukcije mikrofonskog niza dat je u [7, 13-14].

Bazični algoritmi za obradu signala, kao što su *Delay and sum* algoritam (*DaS*) [15] i konvencionalni *beamforming* algoritam (CB) [16], nisu pogodni za korišćenje u ovoj aplikaciji zbog male dinamike koja se pomoću njih može ostvariti. U ovom radu za lokalizaciju izvora u prostoru korišćen je algoritam DAMAS2 [17]. Ovaj algoritam koristi rezultat dobijen pomoću CB algoritma, a zatim dekonvolucionim postupkom eliminiše uticaj mikrofonskog niza iz rezultata. Na taj način ostvaruje se veća dinamika, odnosno mogu se lokalizovati izvori koji su značajno tiši od dominantnih zvučnih izvora [18]. Kao rezultat algoritma dobija se „zvučna mapa“ na kojoj je vrednost zvučne energije predstavljena bojama. Rezultati se izračunavaju za 1/3 oktavne frekvencijske opsege.

Izračunavanje funkcije gustine verovatnoće ugaone raspodele incidentne energije na fasadi vrši se na osnovu rezultata algoritma za prostorno-vremensku obradu signala. Postupak za svođenje prostorne raspodele energije, izračunate pomoću algoritama i mikrofonskog niza, na ugaonu raspodelu u odnosu na normalu opisan je u [5-7].

B. Proračun izolacione moći fasadne pregrade

Izolaciona moć monolitne fasadne pregrade može se izračunati na osnovu sledeće jednačine [19]:

$$R = -10 \log(\tau), \quad (1)$$

gde τ predstavlja koeficijent transmisije analizirane pregrade [19]. Poznavanjem građevinskih karakteristika pregrade i izračunatih frekvencijski zavisnih funkcija gustine verovatnoće ugaone raspodele incidentne energije moguće je izračunati vrednosti izolacione moći.

III. ODREĐIVANJE TEŽINSKIH KOEFICIJENATA ZA POJEDINAČNE TIPOVE SAOBRAĆAJNE BUKE

U ovom poglavlju biće prikazan postupak određivanja težinskih koeficijenata koji se koriste za dobijanje „zvučne mape“ linarnom kombinacijom različitih tipova izvora. Na mernoj lokaciji koja je analizirana u ovom radu izdvajaju se tri tipa pojedinačnih događaja: prolazak automobila (Automobili), prolazak trolejbusa (Trole) i ambijentalna buka (Ambijent), koja nastaje od udaljenih zvučnih izvora. Učestanost ovih događaja je različita, pa je i njihov doprinos u ukupnoj raspodeli incidentne energije na fasadi različit. Zbog toga je potrebno pronaći koeficijente pomoću kojih bi se težinavao doprinos pojedinačnih izvora. Ukupna „zvučna mapa“ dobija se na sledeći način:

$$A_{ukupno} = w_1 \cdot A_{Automobili} + w_2 \cdot A_{Trole} + w_3 \cdot A_{Ambijent}, \quad (2)$$

gde A predstavlja rezultat DAMAS2 algoritma za pojedinačne događaje i ima dimenzije 180x80, a w predstavljaju težinske koeficijente koje je potrebno odrediti.

„Zvučna mapa“ koja se može smatrati relevantnom za ovu mernu lokaciju je poznata ($A_{30minuta}$) i napravljena je na osnovu snimka saobraćajne buke od 30 minuta [7]. Težinski koeficijenti mogu se odrediti optimizacionim postupkom u kome je kriterijumska funkcija apsolutna razlika „zvučnih mapa“ dobijenih na osnovu snimka od 30 minuta i „zvučne mape“ definisane izrazom (2). Optimizacioni problem se može zapisati na sledeći način:

$$\min_{w_1, w_2, w_3} \left(\sum |A_{30minuta} - A_{ukupno}| \right), \quad (3)$$

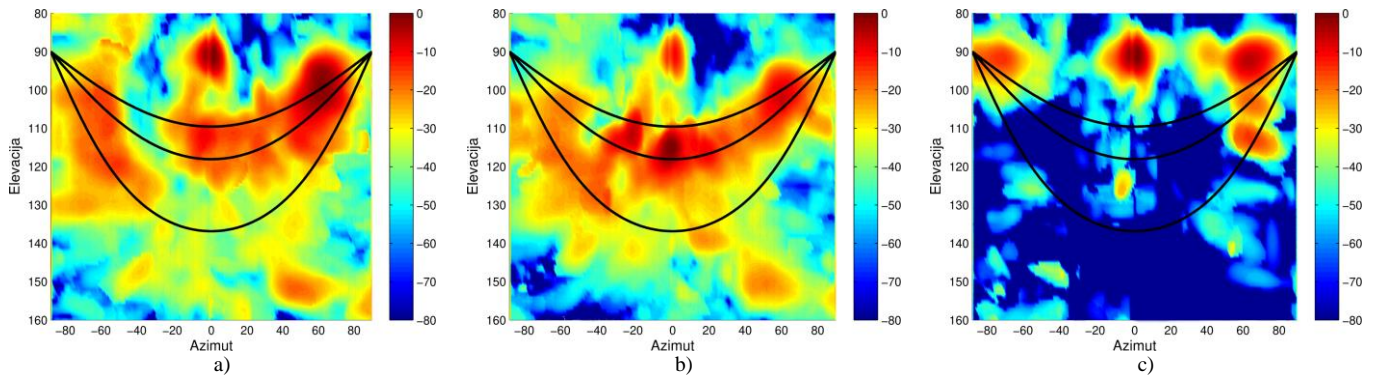
gde težinski koeficijenti uzimaju vrednosti iz opsega [0,1]. Problem pronalaska minimuma moguće je rešavati na više načina. U ovom radu obabran je nelinearan metod pronalaska minimuma funkcije sa ograničenjima [20]. Pošto su „zvučne mape“ frekvencijski zavisne potrebno je za svaki 1/3 frekvencijski opseg rešavati problem definisan izrazom (3). Postoji ukupno 10 takvih opsega i za svaki od njih je potrebno odrediti optimalne vrednosti koeficijenata.

IV. REZULTATI I DISKUSIJA

U ovom poglavlju prikazani su izgledi „zvučnih mapa“ i eksperimentalno određenih funkcija gustina verovatnoća ugaonih raspodela incidentne energije spoljašnje buke na fasadi zgrada za pojedinačne tipove izvora. Oblici raspodela izračunati su za 1/3 oktavne frekvencijske opsege, ali su zbog ograničenog obima rada prikazani samo neki frekvencijski opsezi. Zaključci koji su izvedeni za prikazane oblike važe i u ostalim opsezima. Pored toga, prikazana je ukupna „zvučna mapa“ dobijena na osnovu optimalnih vrednosti težinskih koeficijenata za pojedinačne izvore buke i odgovarajuće raspodele energije.

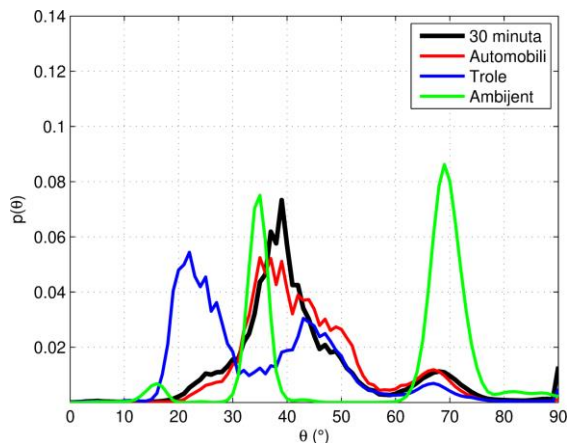
Analizirano je 6 prolazaka automobila, 4 prolaska trolejbusa i 4 segmenta ambijentalne buke. Pošto se radi o dvosmernoj ulici vođeno je računa da u snimcima budu zastupljeni prolasci vozila i u jednom i u drugom smeru. Ukupno trajanje snimaka prolaska automobila je 35 sekundi, prolaska trolejbusa 26 sekunde, a ambijentalne buke 20 sekundi. „Zvučne mape“ izračunate su pomoću DAMAS2 algoritma za svaki od pojedinačnih događaja, a zatim usrednjene kako bi se za svaku kategoriju izvora dobila rezultujuća „zvučna mapa“.

Na Slici 1 prikazani su izgledi „zvučnih mapa“ za jedan frekvencijski opseg i tri tipa usvojenih izvora buke za analiziranu mernu lokaciju. Prikazi su normalizovani na maksimalnu vrednost pojedinačnih mapa, ali su relativni odnosi rezultata očuvani za dalje proračune funkcija gustina verovatnoće i ostvarene vrednosti izolacione moći. Sa Slike 1 se može uočiti da postoje velike razlike u distribuciji zvučne energije po prostoru za različite zvučne izvore. U slučaju prolaska automobila i trolejbusa najveći deo energije dolazi iz prostornih uglova koji odgovaraju saobraćajnim trakama. U slučaju ambijentalne buke najveći deo energije dolazi iz prostornih uglova koji odgovaraju krajevima ulice i uglovima upravnim na fasadu zgrade. Ambijentalna buka koja prelazi veliki put detektuje se na prostornim uglovima koji su upravni na ravan fasade.



Sl. 1. Rezultati DAMAS 2 algoritma za 1/3 oktavne frekvencijske opseg 800Hz i izdvojene događaje: a) automobili, b) trolejbusi, c) ambijent,

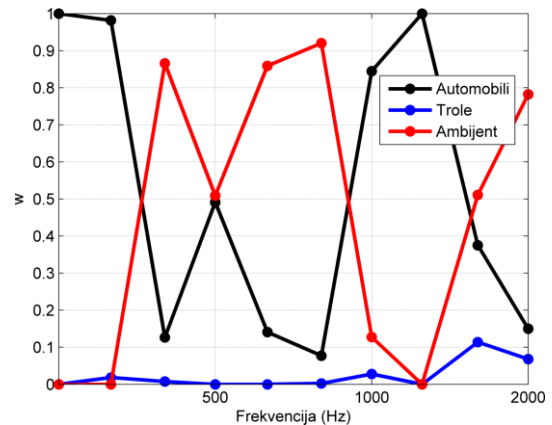
Poredeći „zvučne mape“ dobijene za pojedinačne zvučne izvore i „zvučnu mapu“ dobijenu za vremenski segment od 30 minuta, prikazan na Slici 4 a), zaključuje se da je „zvučna mapa“ za segment od 30 minuta nastala kao kombinacija uticaja pojedinačnih događaja. Neki od događaja više „liče“ na „zvučnu mapu“ dugačkog vremenskog segmenta, ali se ne može direktno utvrditi udeo pojedinačnih izvora u ukupnoj slici. Na osnovu prikazanih rezultata zaključuje se da će se funkcije gustine verovatnoće razlikovati za pojedine tipove izvora i pojedinačno i od oblika raspodele za vremenski segment od 30 minuta. Oblici funkcija gustine verovatnoće za pojedinačne tipove izvora i segment od 30 minuta prikazane su na Slici 2.



Sl. 2. Funkcije gustine verovatnoće ugaone raspodele incidentne energije spoljašnje buke za 1/3 oktavni opseg 800 Hz za pojedinačne tipove izvora

Dva lokalna maksimuma funkcije gustine verovatnoće za ambijentalnu buku ne odgovaraju lokalnim maksimumima ostalih tipova izvora. Automobili imaju najbliži oblik raspodele ukupnoj raspodeli, koja se smatra tačnom. U funkciji gustine verovatnoće ugaone raspodele izračunate za trolejbusa postoje dva maksimuma, jedan koji odgovara saobraćajnim trakama i drugi koji odgovara kontaktnoj mreži za napajanje.

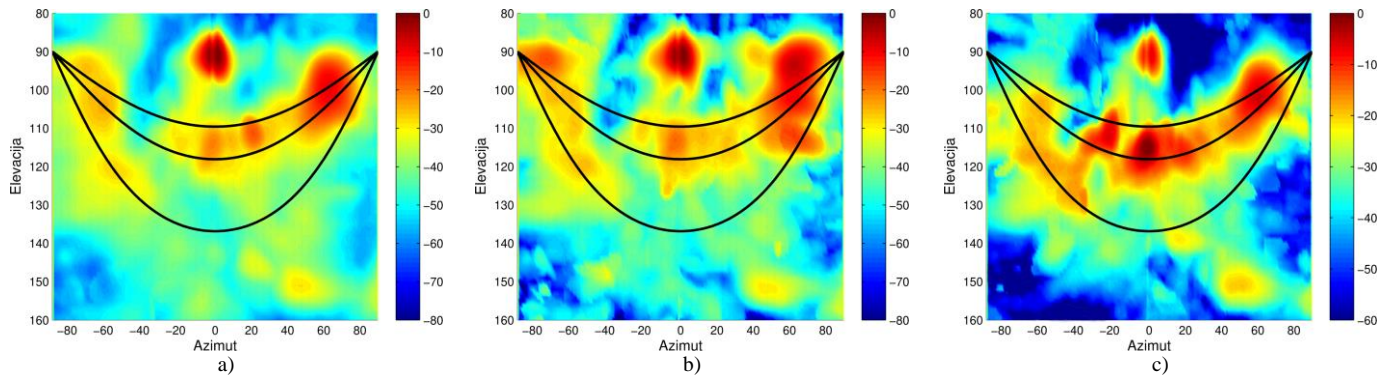
Pošto nijedan od pojedinačnih izvora nema oblik raspodele koji je sličan obliku raspodele dobijene na osnovu dugačkog vremenskog segmenta na osnovu njih nije moguće dobiti vrednost izolacione moći fasadne pregrade sa dovoljnom tačnošću. Na osnovu Slika 1 i 2 ne mogu se uočiti direktne veze tačne mape i pojedinačnih mapa. Zbog toga je potrebno rešiti problem definisan izrazom (3) za „zvučne mape“ pojedinačnih izvora za ovu mernu lokaciju i na taj način dobiti ukupnu mapu na osnovu pojedinačnih događaja, definisanu izrazom (2).



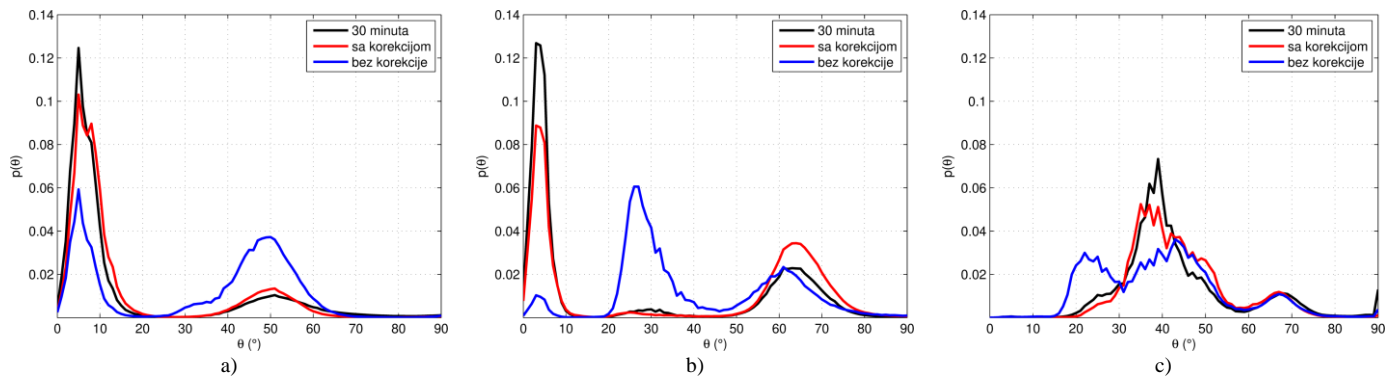
Sl. 3. Vrednosti težinskih koeficijenata za različite tipove izvora i sve frekvencijske opsege od interesa

Na Slici 3 prikazane su vrednosti koeficijenata za sve frekvencijske opsege izračunate optimizacionim postupkom. Vreme izvršavanja optimizacionog postupka za jedan frekvencijski opseg je oko 2 sekunde. Koeficijenti su normalizovani tako da u zbiru daju vrednost 1. Najmanje vrednosti koeficijenata za sve frekvencijske opsege ima tip izvora Trole. Takav rezultat je logičan jer je broj prolazaka trolejbusa u odnosu na broj prolazaka automobila značajno manji. Vrednosti koeficijenata za događaje Automobili i Ambijent su velike, što je pokazatelj velikog prisustva ovih događaja u „zvučnoj mapi“ izračunatoj za vremenski segment od 30 minuta. Za određene frekvencijske opsege koeficijent koji odgovara prolasku automobila ima vrednost blisku 1, što znači da samo ti događaji učestvuju u ukupnom rezultatu. Treba napomenuti da ambijentalna buka postoji i u ostalim tipovima izvora. Pošto je ona značajno manjeg nivoa od ostala dva tipa izvora potrebno je da algoritam za prostorno-vremensku obradu signala ima mogućnost velike dinamike. Pošto je DAMAS2 takav algoritam uticaj ambijentalne buke uračunat je i u ostalim tipovima događaja. U ovom radu uvedena je pretpostavka da je taj uticaj zanemarljiv i to može biti predmet daljih istraživanja.

Na Slici 4 prikazane su „zvučne mape“ vremenskog segmenta od 30 minuta, kombinacije događaja sa izračunatim težinskim koeficijentima (u oznaci sa korekcijom) i kombinacije događaja sa jednakim težinskim koeficijentima (u oznaci bez korekcije). Kombinacija događaja sa jednakim težinskim koeficijentima uvedena je kako bi se sagledao dobitak korišćenja metodologije sa težinskim koeficijentima.



Sl. 4. Zvučne mape za 1/3 oktavnog frekvencijskog opsega 800 Hz: a) snimak od 30 minuta, b) pojedinačne izvore sa korekcijom, c) pojedinačne izvore bez korekcije



Sl. 5. Funkcije gustine verovatnoće ugaone raspodele incidentne energije spoljašnje buke za snimak od 30 minuta i pojedinačne tipove izvora sa i bez korekcije, za 1/3 oktavnog frekvencijskog opsega: a) 400 Hz, b) 800 Hz, c) 1250 Hz,

Poredeći rezultate sa Slike 4 a) i 4 c) uočavaju se velike razlike u prostornoj distribuciji energije. To je i očekivano jer doprinos svih događaja nije isti. Rezultat prikazan na Slici 4 b) pokazuje da su težinski koeficijenti za ovaj frekvencijski opseg dobro izračunati, jer je dobijena „zvučna mapa“ veoma slična ukuonoj „zvučnij mapi“. Rezultati se ne poklapaju u potpunosti, ali je potrebno izračunati ugaone raspodele i konačno vrednost izolacione moći kako bi se utvrdilo da li je sličnost dovoljna. Za ostale frekvencijske opsege koji nisu prikazani zaključci su slični.

Na Slici 5 prikazane su izračunate funkcije gustine verovatnoće ugaonih raspodela incidentne energije spoljašnje buke na fasadi zgrade za tri frekvencijska opsega. Funkcija gustine verovatnoće bez korekcije predstavlja slučaj kada su svi težinski koeficijenti isti pa se zbog toga oblik raspodele značajno razlikuje od raspodele dobijene za 30 minuta snimka, sa sve frekvencijske opsege. Razlike se pre svega uočavaju u vrednostima lokalnih maksimuma u funkciji gustine verovatnoće ali i u njihovom položaju. Crvenom bojom je predstavljena funkcija gustine verovatnoće u slučaju kada se koriste optimalne vrednosti težinskih koeficijenata, izračunate optimizacionim postupkom. Na Slici 5 a) uočava se dobro poklapanje oblika raspodele dobijene pomoću težinskih koeficijenata i raspodele dobijene na osnovu 30 minuta snimka. Na Slici 5 b) poklapanje ove dve raspodele nije toliko dobro kao na Slici 5 a). Razlike se javljaju u vrednostima lokalnih maksimuma funkcije. Sa Slike 5 c) se uočavaju razlike između crne i crvene krive u oblasti uglova od 30 do 50 stepeni, ali je ta razlika daleko manja u odnosu na razliku između raspodele sa jednakim težinskim koeficijentima i raspodele dobijene na osnovu snimka od 30 minuta.

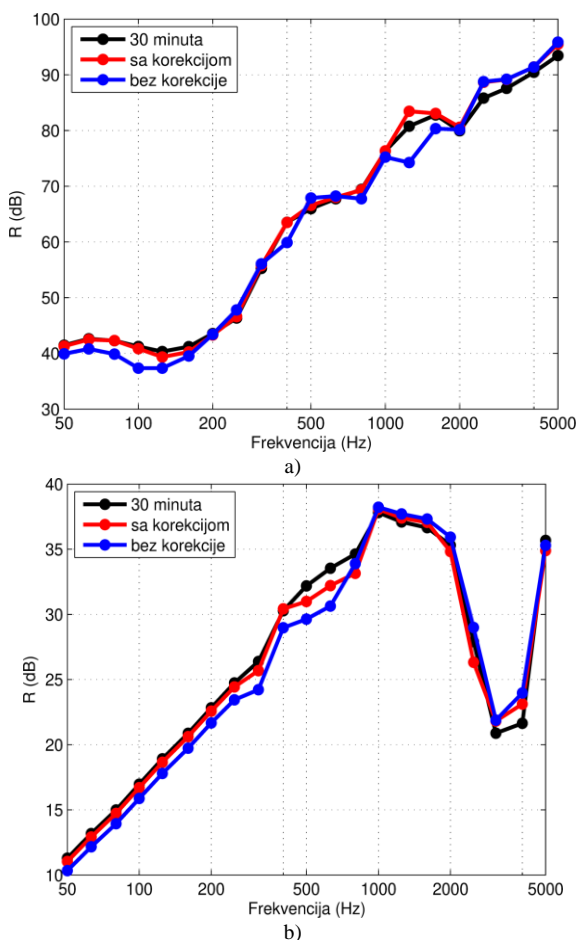
Kako bi se sagledala mogućnost korišćenja metodologije

sa pojedinačnim izvorima i težinskim koeficijentima potrebno je izračunati vrednosti izolacione moći fasadnih pregrada i uporediti ih sa vrednostima izolacione moći izračunatih na osnovu dugačkog vremenskog segmenta saobraćajne buke na mernoj lokaciji. U tu svrhu izračunate su vrednosti izolacione moći fasadnih pregrada izrađenih od najčešće korišćenih materijala u urbanim uslovima, betona i stakla. Građevinski podaci ovih pregrada, potrebni za proračun izolacione moći, preuzeti su iz [21].

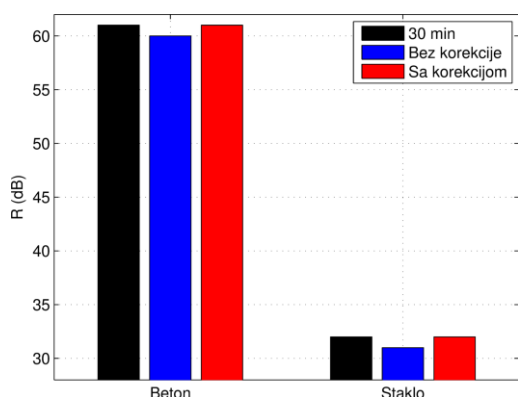
Na Slici 6 prikazane su frekvencijske zavisne ostvarene vrednosti izolacione moći betonske pregrade debljine 20 cm i staklene pregrade debljine 5 mm, za tri slučaja analizirana u ovom radu. Crnom bojom je označena izolaciona moć dobijena na osnovu obrade signala dužine 30 minuta, i ona se smatra referentnom. Plavom bojom je označena kriva izolacione moći koja je dobijena na osnovu pojedinačnih tipova izvora i sa jednakim težinskim koeficijentima. Na osnovu Slike 6 a) uočava se da postoje razlike između ove dve krive u gotovo celom opsegu. Na pojedinim frekvencijama razlike iznose 5 dB. Velike razlike se javljaju na niskim frekvencijama i iznose oko 3 dB. Crvenom bojom označena je izolaciona moć izračunata na osnovu pojedinačnih tipova buke i optimalnih vrednosti težinskih koeficijenata. Sa Slike 6 a) uočava se da ova kriva gotovo ne odstupa od referentne krive (kriva označena crnom bojom), Razlike u celom opsegu od interesa su manje od 1 dB. Na osnovu toga zaključuje se da predloženi postupak sa težinskim koeficijentima pojedinačnih događaja daje zadovoljavajuću tačnost proračuna ostvarene vrednosti izolacione moći u urbanim uslovima.

Na osnovu rezultata za staklenu pregradu, prikazanih na Slici 6 b), mogu se doneti slični zaključci. Razlike između krive sa jednakim težinskim koeficijentima i referentne

krive iznose i do 4 dB. Ova vrednost predstavlja veću relativnu razliku u odnosu na betonsku pregradu, jer je ostvarena vrednost izolacione moći stakledne pregrade značajno manja. Kriva označena crvenom bojom i u ovom slučaju dobro „prati“ referentnu krivu, s tim što postoje izvesne razlike u opsegu od 400 Hz do 1000 Hz.



Sl. 6. Frekvencijska zavisnost proračunate izolacione moći za analizirane slučajeve i a) betonsku pregradu, b) staklenu pregradu



Sl. 7. Jednbrojne vrednosti proračunate izolacione moći za analizirane slučajeve za betonsku pregradu i staklenu pregradu

U svakodnevnoj praksi primene izolacionih materijala uobičajno je korišćenje merodavne vrednosti izolacione moći odnosno jednbrojne vrednosti. Zbog toga su na osnovu vrednosti izolacione moći prikazane na Slici 6 izračunate merodavne vrednosti izolacione moći. Izračunate jednbrojne vrednosti prikazane su na Slici 7. Jednbrojna vrednost izolacione moći izračunate na osnovu dugačkog vremenskog segmenta saobraćajne buke iznosi 62 dB za

betonsku, odnosno 31 dB za staklenu pregradu. Merodavna vrednost izolacione moći za jednake težinske koeficijente iznosi 61 dB za betonsku i 30 dB za staklenu pregradu. U slučaju korišćenja optimalnih vrednosti težinskih koeficijenata za pojedinačne tipove izvora dobijaju se jednbrojne vrednosti izolacione moći iste kao u slučaju korišćenja dugačkog vremenskog segmenta. Na taj način je takođe pokazano da se ovakav pojednostavljen postupak može koristiti, a da se očuva tačnost proračuna.

Za izračunavanje izolacione moći fasadne pregrade na osnovu postupka prikazanog u [7-9] za snimak sa 24 kanala trajanja 30 minuta potrebno je oko 100 sati. Korišćenjem prikazanog postupka, sa analizom pojedinačnih tipova izvora ukupnog trajanja oko 60 sekundi, postupak se ubrzava oko 30 puta, uz zadržavanje tačnosti proračuna.

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je upotreba metodologije za određivanje ugaone raspodele incidentne energije spoljašnje buke za karakteristične tipove izvora u cilju određivanja vrednosti ostvarene izolacione moći fasadne pregrade. Snimanje i obrada rezultata algoritmima za prostorno-vremensku obradu signala, za dugačke segmente signala, je vremenski i računski kompleksna. Ukoliko bi se definisali ključni događaji na posmatranoj mernoj lokaciji bilo bi dovoljno snimiti samo njih, što bi smanjilo vreme merenja, a samim tim i vreme potrebno za obradu signala. Na osnovu rezultata prikazanih u ovom radu zaključuje se da svi tipovi događaja nemaju isti uticaj na ostvarenu vrednost izolacione moći. To znači da se prostim sabiranjem uticaja malog broja pojedinačnih događaja neće dobiti rezultat kao kada se merenje izvrši u dužem vremenskom intervalu, npr. 30 minuta. Zbog toga su uvedeni korekcionni faktori koji uvažavaju uticaj pojedinih tipova događaja na generalnu sliku o stanju izolacione moći na analiziranoj lokaciji. U ovom radu prikazan je postupak za određivanje optimalnih vrednosti težinskih koeficijenata. Rezultati algoritma za prostorno-vremensku obradu signala pojedinačnih tipova izvora, kratkog trajanja, uz odgovarajuće težinske koeficijente mogu biti poredivi sa rezultatima dobijenim na osnovu dugačkih vremenskih segmenata signala. Pokazano je da se vrednost ostvarene izolacione moći može proračunati na osnovu kratkih vremenskih segmenata koji predstavljaju karakteristične događaje i težinskih koeficijenata. Merodavne vrednosti izolacione moći dobijene ovim postupkom iste su kao vrednosti dobijene analizom dugačkih segmenata. Vremenska kompleksnost je smanjena za oko 30 puta. Pošto je u urbanim uslovima uvedena kategorizacija ulica na osnovu oblika raspodele incidentne energije na fasadi u daljim istraživanjima cilj će biti da se vrednosti dobijenih težinskih koeficijenata primene za sva merna mesta koja pripadaju ovoj kategoriji. Na taj način bi si ovaj postupak mogao generalizovati i izračunavanjem koeficijenata za jedno merno mesto bi se mogli dobiti koeficijenti za čitavu kategoriju ulica.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je realizovan u okviru projekta TR 36026 koga finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] C.Brutel-Vuillet, C.Guigou-Carter, M.Villot, „A Study of the Influence of Incidence Angle on Sound Reduction Index Using NAH-Phonoscopy. Acta Acustica United with Acustica, 2007;Vol. 93: 364–374.
- [2] D. Šumarac Pavlović, F. Pantelić, S. Bojičić, M. Bjelić, „Airborne sound insulation of monolithic partition as a function of incidence angles“, Proc. Forum Acusticum, Krakow 2014.
- [3] G.Vermeir, G.Geentjens, W.Bruyninckx, „Measurement and calculation experiences on façade sound insulation“, Proc INTER-NOISE 2004.
- [4] ISO 140-5 „Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades“.
- [5] M. Stanojević, M. Bjelić, D. Šumarac Pavlović, M. Mijić, Measurements of noise energy angular distribution at the building envelope using microphone arrays, Applied Acoustics, Vol 140, 283-287 (2018).
- [6] M. Bjelić, M. Stanojević, D. Šumarac Pavlović, M. Mijić, „Određivanje uglova incidencije buke u urbanim sredinama“, ETRAN, Kladovo, jun 2017, Broj rada (zbornik radova CD): AK 1.1, ISBN: 978-86-7466-692-0.
- [7] M. Bjelić, „Analiza ugaone raspodele incidentne energije spoljašnje buke primenom mikrofonskog niza“, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Doktorska disertacija, jun 2018.
- [8] M. Bjelić, M. Stanojević, D. Šumarac Pavlović, M. Mijić, T. Miljković, „Analiza ugaone raspodele incidentne energije spoljašnje buke u urbanim uslovima“, ETRAN, Palić, jun 2018, Zbornik radova 49-54, ISBN: 978-86-7466-752-1.
- [9] M. Bjelić, „Analiza ugaone raspodele incidentne energije spoljašnje buke na fasadama zgrada u urbanim uslovima pomoću mikrofonskog niza“, 26th Telecommunications forum TELFOR 2018, Belgrade, November 2018, CD Proceedings paper No. 8.9., ISBN: 978-1-5386-7170-2.
- [10] Miodrag Stanojević, Miloš Bjelić, Dragana Šumarac Pavlović, Miomir Mijić, Tatjana Miljković, „Određivanje zavisnosti ostvarene vrednosti izolacione moći fasadnih pregrada od tipa izvora u urbanim sredinama“, Zbornik radova 63. Konferencije ETRAN, Srebrno jezero, jun 2019, str. 40-45, ISBN: 978-86-7466-785-9
- [11] ISO 717-1:1996 „Acoustics – rating of sound insulation in buildings and of building elements – Part 1: Airborne sound insulation“.
- [12] C. Buratti, E. Belloni, E. Moretti, “Façade noise abatement prediction: New spectrum adaptation terms measured in field in different road and railway traffic conditions“, Appl. Acoust. 2014;76:238–248.
- [13] M. Bjelić, M. Stanojević, D. Šumarac Pavlović, M. Mijić, „Dizajn mikrofonskog niza optimizovanog za monitoring saobraćajne buke“, ETRAN, Zlatibor, jun 2016, Broj rada (zbornik radova CD): AK 1.2, ISBN: 978-86-7466-618-0.
- [14] M. Bjelić, M. Stanojević, D. Šumarac Pavlović, M. Mijić, „Microphone array geometry optimization for traffic noise analysis“, The Journal of the Acoustical Society of America, Vol 141(5), 3101-3104 (2017).
- [15] U. Michel, “History of acoustic beamforming”, Berlin, 2006. Berlin Beamforming Conference.
- [16] T.F. Brooks, W.M. Humphreys, „A deconvolution approach for the mapping of acoustic sources (DAMAS) determined from phased microphone arrays“, *Journal of Sound and Vibration* 294.4, 856-879, 2006.
- [17] R.P. Dougherty, „Extensions of DAMAS and Benefits and Limitations of Deconvolution in Beamforming“, *AIAA*, 2961.11, 2005.
- [18] K. Ehrenfried, L. Koop, „A comparison of iterative deconvolution algorithms for the mapping of acoustic sources“, *AIAA journal*, 45.7:1584-1595, 2007.
- [19] L. Beranek, “Noise Reduction. New York”: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1960.
- [20] T. F. Coleman, Y. Li. „An Interior, Trust Region Approach for Nonlinear Minimization Subject to Bounds“ *SIAM Journal on Optimization*, Vol. 6, 1996, pp. 418–445.
- [21] H. Kurtović, “Priručnik za proračun zvučne izolacije”. Beograd : Elektrotehnički fakultet, Laboratorija za akustiku, 1994.

ABSTRACT

In the general case, the shape of the angular distribution of the sound energy on a building facade is unknown. By using microphone arrays and algorithms for space-time signal processing it is possible to experimentally determine the probability density function of the angular distribution of incident energy in urban conditions. Based on the determined distributions and the physical properties of the building materials it is possible to calculate the in-situ value of the sound reduction index of a façade element. This procedure is time consuming because of the analysis which processes long segments of traffic noise recorded by the microphone array. This paper presents the method to experimentally determine the angular energy distribution based on short recorded signals of different events and types of sound sources which can occur in urban environments. Obtained results have to be weighted based on their contributions in the overall traffic noise. This paper presents the procedure to determine optimal weighting coefficients for characteristic events. A comparison is made between the values of sound reduction index calculated based on energy distributions obtained from weighted individual events and based on longer recordings of traffic noise. It is shown that the value of the in-situ sound reduction index can be calculated based on short time events and weighting coefficients. In this way, the calculation time to obtain in-situ values based on angular energy distributions is reduced by several orders of magnitude.

Estimation of façade sound reduction index in-situ values based on characteristic noise events

Miloš Bjelić, Miodrag Stanojević, Dragana Šumarac Pavlović, Miomir Mijić, Tatjana Miljković