

Analiza varijacija građevinskih izolacionih svojstava konstrukcija bazirana na arhivskim merenjima i proračunima

Ljiljana Popović, Dragana Šumarac Pavlović, Miomir Mijić, Aleksandar Milenković, Danica Boljević

Apstrakt— Zvučni komfor u zgradama jedan je od elemenata ukupnog komfora koji treba zadovoljiti. Zbog specifične prirode zvuka i njegove percepcije, zvučni komfor je u subjektivnom smislu kvalitet koji čovek boravkom u zgradi najdirektnije percipira. S druge strane, povećanje izolacionih svojstava pregradnih konstrukcija uvodi ograničenja u izboru materijala i vodi ka promenama u ceni koštanja ili tehnologiji gradnje. Pod pritiskom takve realnosti u projektovanju se, po pravilu, ne uzima nikakva margina sigurnosti za izolacionu moć pregrada, već se usvajaju minimalne vrednosti da bi se pokazalo da je zvučni komfor obezbeđen. Posledica toga je da veliki broj zgrada izgrađenih u poslednjoj deceniji ima nedovoljnu zvučnu zaštitu. Da bi se ovaj problem sagledao, sprovedena je analiza bazirana na poređenju rezultata merenja u realnim zgradama i na njihovim proračunima. Izmerene vrednosti preuzete su iz arhive Instituta za ispitivanje materijala u Beogradu i Laboratorije za akustiku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Rezultati koji su korišćeni u ovoj analizi odnose se na tavanice od armiranog betona debljine 14-16 cm u stambenim i poslovnim zgradama građenim u periodu 1979-1990. godine.

Ključne reči—građevinska izolaciona moć, laboratorijska izolaciona moć, margina sigurnosti, zvučna izolacija.

I. UVOD

Preciznost merenja i proračuna u domenu zvučne izolacije u zgradama ima svoje posledice na sve aktere u procesu projektovanja, izgradnje i korišćenja zgrada. Povećanje zahtevane izolacione moći u nekim slučajevima vodi ka značajnim promenama u debljinama zidova, promeni materijala i načina gradnje. Poznavanjem granica merne nesigurnosti, nepreciznosti proračuna i rizika od grešaka u izvođenju, moguće je izvršiti pravilan izbor margine sigurnosti kojim će se smanjiti rizik nezadovoljstva zvučnim komforom kod krajnjih korisnika nekog prostora, a da se istovremeno zadovolji ekonomska strana gradnje. U zakonodavstvu Srbije minimalni uslovi za zvučnu izolaciju definisani su standardom SRPS UJ.6.201. U procesu

Ljiljana Popović, Stipendista Ministarstva, - Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: ljilja95popovic@hotmail.com)

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).

Aleksandar Milenković – Institut za ispitivanje materijala ad, Bulevar vojvode Mišića 43, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: aleksandar.milenkovic@institutims.rs)

Danica Boljević – Institut za ispitivanje materijala ad, Bulevar vojvode Mišića 43, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: danica.boljevic@institutims.rs)

projektovanja polazi se od zahtevanih minimalnih terenskih izolacionih svojstava. Proračun terenskih izolacionih svojstava definisan je standardom SRPS EN 12354-1 [1]. Proračun uzima u obzir više faktora koji utiču na konačnu građevinsku izolacionu moć i kao ulazni podatak koristi laboratorijske ili proračunate vrednosti izolacione moći pojedinačnih pregradnih elemenata. Problem koji se javlja u praksi je da izmerena terenska izolaciona moć značajno odstupa od njene proračunate vrednosti. Vrednost manja od zahtevane minimalne vrednosti posledica je mnogo različitih faktora. Način da se prevaziđu takvi problemi je usvajanje neke margine sigurnosti pri definisanju potrebnih minimalnih uslova.

Mogući uzroci varijacije vrednosti terenske izolacione moći mogu se grubo podeliti na:

- mernu nesigurnost u procesu laboratorijskog i terenskog merenja izolacione moći;
- greške koja nastaje u procesu određivanja jednobrojne vrednosti, kao posledica zaokruživanja na celobrojnu vrednost;
- načina određivanja parametara u toku merenja;
- propusta u gradnji (odstupanje od projekta, ventilacioni otvori, prodori oko vrata i prozora itd.),
- nepreciznosti ulaznih podataka za proračun i same metodologije proračuna.

Merna nesigurnost u procesu merenja definisana je nizom standarda [2-4] koji definišu način utvrđivanja merne nesigurnosti kao i postupke laboratorijskog i terenskog merenja zvučne izolacije. Postoje neka immanentna svojstva zvučnog polja u zatvorenom prostoru koja dovode do relativno velike merne nesigurnosti u toku određivanja svih relevantnih parametara potrebnih za izračunavanje zvučne izolacije.

U različitim zemljama u više navrata su organizovani *Round Robin* testovi i međulaboratorijska ispitivanja sa ciljem da se utvrde svi aspekti merne nesigurnosti u procesu određivanja jednobrojne vrednosti zvučne izolacije. Rezultati ovih testova publikovani su u većem broju radova [5-8] i zavisno od eksperimentalne postavke te vrednosti merne nesigurnosti se kreću od 1 do 3 dB. Simmon u svom radu u kome su sumirani rezultati međulaboratorijskih merenja 8 laboratorija [5] konstatuje da je u slučaju masivnih zidova neophodno usvojiti marginu sigurnosti od 3 dB: Ovi eksperimenti omogućavaju procenu merne nesigurnosti svih pojedinačnih veličina koje se određuju u procesu merenja, kao i varijacije koje nastaju u procesu svođenja frekvencijski zavisnih veličina na jednobrojne vrednosti.

Standardima iz serije SRPS EN ISO 10140 [3] definisan je postupak merenja zvučne izolacije između susednih prostorija u zgradama. Procedura merenja izolacione moći pregrade od vazdušnog zvuka podrazumeva merenje nivoa zvuka u predajnoj prostoriji L_1 , prijemnoj prostoriji L_2 i merenje vremena reverberacije T . Pomoću Sabinovog obrasca izračunava se vrednost apsorpcije A u prijemnoj prostoriji:

$$A = 0,16 \cdot \frac{V_2}{T} [\text{m}^2], \quad (1)$$

gde je V_2 zapremina prijemne prostorije. Određivanja apsorpcije ima za cilj kvantifikovanje uticaja prijemne prostorije na nivo zvuka u njoj. Izmerena vrednost izolacione moći se dalje računa primenom izraza:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S_{12}}{A} [\text{dB}], \quad (1)$$

gde je S_{12} površina pregrade čija izolaciona moć se meri. U praksi se pokazalo da nije uvek jednostavno jednoznačno definisati kolika je površina osnovne pregrade između dve prostorije. Takav slučaj je kada susedne prostorije nemaju konfiguraciju koja je definisana u standardu (bočni zidovi postavljeni simetrično sa obe strane pregrade).

U toku izgradnje objekta, često se javljaju razna odstupanja u odnosu na projektovano rešenje. Jedan od čestih slučajeva je promena građevinskog materijala koji ima isto generičko ime, ali različite fizičke karakteristike, što može imati posledice na nivo zvučne zaštite. Drugi važan element koji menja izolacione karakteristike pregradnih elemenata materijala su razni prodori za ventilacione otvore i slično, i one mogu značajno da degradiraju vrednost izolacione moći pregradnih konstrukcija. Može se proračunom pokazati da u zidu čija je izolaciona moć 57 dB i površina 10 m² otvor koji čini samo 0.001% njegove površine obara laboratorijsku izolacionu moć za čak 7 dB.

U procesu projektovanja, terenska izolaciona moć u zgradi proračunava se na bazi podataka o laboratorijskim vrednostima izolacionih moći pojedinačnih elemenata. U literaturi [9] je pokazano da na promene izračunatih vrednosti zvučne izolacije utiču nesigurnosti ulaznih parametara proračuna, kao što su gustina materijala, brzina longitudinalnih talasa, faktor unutrašnjih gubitaka, indeks prenosa vibracija.

Polazeći od svih navedenih uzroka koji dovode do razlika između projektovanih i izmerenih vrednosti zvučne izolacije, izvršena je analiza varijabilnosti izmerenih i proračunatih vrednosti na primeru tavanica koje se standardno koriste u građevinskoj praksi u našoj zemlji. Cilj je da se utvrde potrebne margine sigurnosti u zadavanju graničnih vrednosti.

U tu svrhu, a kao deo šireg istraživanja, formirana je digitalizovana baza rezultata merenja koja su u dugom vremenskom periodu izvršena u Institutu za ispitivanje materijala i u Laboratoriji za akustiku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Za potrebe analize koja je prikazana u ovom radu, izabrana su merenja izolacije od vazdušnog zvuka armirano betonskih tavanica u debljinama 14-16 cm. Merenja obuhvataju period u kome je u stambenoj izgradnji dominirao princip gradnje sa prefabrikovanim betonskim elementima [10]. Drugi deo analize odnosi se na analizu proračunatih vrednosti izolacionih moći tavanica koje

približno odgovaraju onima za koje postoje rezultati. Na bazi rezultata analize mernih podataka i proračuna, izvršena je analiza u frekvencijskom toku i standardnim odstupanjima izolacionih karakteristika.

II. BAZA ARHIVSKIH MERENJA

Pravljenje baze arhivskih merenja je bio neophodan korak kako bi se došlo do podataka o građevinskim izolacionim svojstvima pregrada. Podaci koji se nalaze u bazi dobijeni su iz arhive Instituta za ispitivanje materijala i Laboratorije za akustiku, Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu. Baza trenutno sadrži 582 merenja i njena izrada je još uvek u toku. Merenja su vršena u stambenim zgradama u periodu od 1979. do 1993. i 2003. do 2013. Većina merenja koja su urađena vršena su kako bi se utvrdilo da li pregrada zadovoljava uslove koji su tada bili zahtevani standardima. Podaci u bazi se prema tipu merenja mogu podeliti na ona kod kojih je merena izolaciona moć R' , izolacija od udarnog zvuka L' i normalizovana zvučna izolovanost D_n' . U tabeli I je prikazan broj merenja koji trenutno postoji u bazi za svaki od navedenih deskriptora zvučne izolacije. Izolaciona moć pregrade je merena i za tavanice i za zidove, dok su ostala merenja vršena samo kod tavanica.

TABELA I
BROJ MERENJA ZA ODREĐENE KOMBINACIJE PARAMETARA

Zidovi	Tavanice		
R'	R'	L_n'	D_n'
102	233	212	35

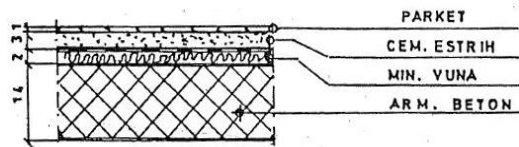
Merenja su vršena u 1/3 oktavnim frekvencijskim podopsezima od 100 Hz do 3150 Hz. Za svako merenje su pored rezultata merenja (jednobrajana i tabelarna vrednost zvučne izolacije) sačuvani i podaci o mestu i datumu merenja, površini i površinskoj masi pregrade, zapremini prijemne i predajne prostorije, opis pregrade i slika modela pregrade. Model pregrade je prikazan u vidu tabele u kojoj su redom zapisani građevinski materijali od kojih se sastoji pregrada ukoliko je višeslojna i debljine svakog od njih. Pored tabele su sačuvane i skice pregrade kao slike. Treba napomenuti da postoje merenja kod kojih nisu poznati svi navedeni podaci. Za potrebe ovog rada, izdvojen je jedan skup merenja za koje je postojao najveći broj poznatih podataka i njegov opis je dat u sledećem potpoglavlju.

A. Skup analiziranih podataka

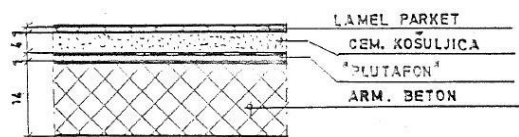
Analizirani skup čine merenja zvučne izolacije tavanica od vazdušnog zvuka koje kao osnovni građevinski materijal imaju armirani beton. Ova merenja su vršena u periodu 1979-1990. godine, kada je u Srbiji postojao trend primene industrijalizovanog načina građenja koji podrazumeva korišćenje prefabrikovanih armirano betonskih (AB) panela sa monolitizacijom elemenata bez elastičnih materijala na mestima kontakta [10]. Sve posmatrane tavanice imaju sloj plivajućeg poda u kome se između ploče i cementnog estriha nalaze vuna ili plutafon koji je u to vreme bio u širokoj upotrebi.

TABELA II
KARAKTERISTIKE SKUPA ANALIZIRANIH PODATAKA

Debljina AB	14 cm	15 cm	16 cm
Elastični sloj	Vuna	Plutafon	Vuna
Cementni estrih	3-5 cm		
Parquet	1 cm		



Slika 1. Skica AB ploče debljine 14 cm sa vunom u plivajućem podu



Slika 2. Skica AB ploče debljine 14 cm sa plutafonom u plivajućem podu

Modeli tavanica koji su analizirani u ovom radu prikazani su na slikama 1 i 2, a njihove karakteristike date su u tabeli II. Na obe slike se nalaze tavanice kod kojih je beton debljine 14 cm. Na slici 1 je tavanica kod koje je korišćena vuna, a na slici 2 tavanica kod koje je korišćen plutafon. Tavanice koje su analizirane se nalaze između stanova, ali se u bazi nalazi i jedan deo tavanica koje se nalaze na pozicijama gde se stan nalazi iznad prostorije druge namene (garaža, trafostanica i sl.). Zbog toga ispod sloja betona postoji termoizolacioni sloj u vidu spušenog plafona ili sloja stiropora, vune, tervola, durolita ili drugih materijala što predstavlja zanimljivu temu za neko sledeće istraživanje.

III. ANALIZE

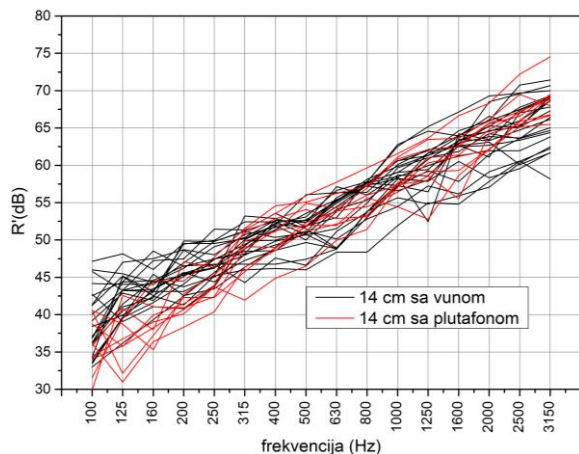
A. Analiza izmerenih vrednosti građevinske izolacione moći

Najveći uzorak izmerenih građevinskih izolacionih moći je za tavanice debljine 14 cm. Krive izolacionih moći tavanica su prikazane na slici 3, a srednja jednobrojna vrednost ovih krivih, kao i opseg svih analiziranih vrednosti dat je u tabeli III.

TABELA III

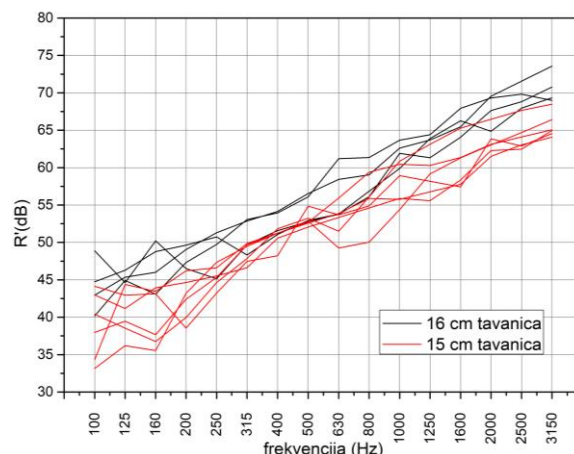
IZMERENE MERODAVNE GRAĐEVINSKE IZOLACIONE MOĆI ZA AB TAVANICE RAZLIČITIH DEBLJINA

Tavanica	R'_w min	R'_w max	R'_w mean	STD
14 cm elastični sloj vuna	52	58	55	2
14 cm elastični sloj plutafon	52	60	56	2
15 cm elastični sloj vuna	55	57	55	1
16 cm elastični sloj vuna	57	60	57	2



Slika 3. Izmerene građevinske izolacione moći tavanica debljine 14 cm sa plivajućim podom; posmatrane su dve varijante plivajućeg poda

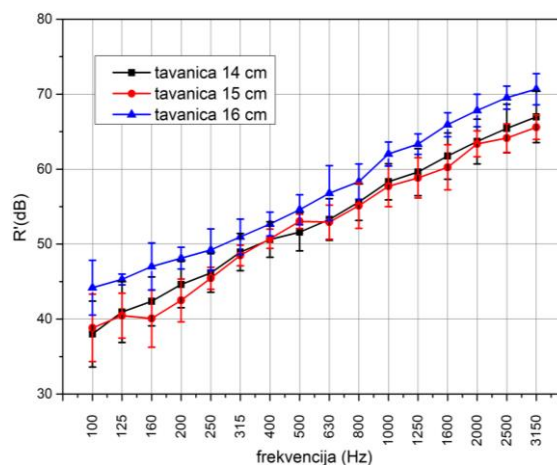
Tavanice debljina 15 i 16 cm su posmatrane za slučaj vune korišćene u elastičnom sloju i prikazane su na slici 4. Srednje jednobrojne vrednosti ovih krivih, kao i opseg svih analiziranih vrednosti se takođe nalazi u tabeli III.



Slika 4. Izmerene građevinske izolacione moći tavanica debljine 15 i 16 cm sa plivajućim podom u kome se kao elastični sloj nalazi vuna

Na slici 5 su prikazane srednje vrednosti i standardne devijacije za sve izmerene građevinske izolacione moći tavanica u debljinama 14, 15 i 16 cm. Iz tabele III se može primetiti da standardne devijacije u 3 od 4 prikazana slučaja ima istu vrednost, a mogući razlog manje vrednosti u preostalom slučaju je to što je za taj posmatrani slučaj bilo manje podataka u bazi nego za ostale slučajeve.

Izmerene vrednosti građevinskih izolacionih moći variraju u rasponu od 52 dB do 60 dB za tavanice debljine 14 cm, kao i za sve posmatrane debljine. U slučaju malih razlika u nominalnim debljinama tavanica od 2 cm možemo smatrati da u građevinskom smislu, odnosno u odnosu na preciznost građevinskih mera, sve analizirane tavanice da posmatramo da pripadaju istoj kategoriji. Dobijene standardne devijacije u izmerenim vrednostima odgovaraju rezultatima poznatim iz literature [2-4]. U posmatranom slučaju varijacije ne potiču samo od merne nesigurnosti terenskog merenja već i od razlika u konstruktivnim sistemima koji u arhivskim rezultatima merenja nisu dostupni kao podaci.



Slika 5. Srednje vrednosti i standardne devijacije za sve izmerene građevinske izolacione moći tavanica u debljinama 14, 15 i 16 cm

B. Analiza varijacija u građevinskim izolacionim svojstvima na bazi proračuna

Proračun građevinskih izolacionih moći tavanica je urađen u skladu sa standardom SRPS 12354-1 [1] pomoću softvera URSA [11]. Proračunom su obuhvaćene tavanice od 14 cm i 16 cm. U proračunu su uzete laboratorijske vrednosti izolacione moći dobijene merenjem. U proračunu su varirane debljine bočnih zidova, površine tavanice i bočnih zidova, kao i vrste spojeva. Pošto su arhivska terenska merenja vršena na objektima koji su građeni u periodu od 1979. do 1990. godine, u tom periodu najčešći konstruktivni sistemi su bili bazirani na montažnoj gradnji sa prefabrikovanim betonskim elementima. Zato je u analizi koja je sprovedena usvojeno da su bočni zidovi takođe betonski u debljinama 14 cm i 16 cm. U proračunu su varirane površine tavanice od 6 m² do 42 m². Posebno je izvedena analiza za elastične i čvrste krstaste spojeve. Sprovedena analiza imala je za cilj da utvrdi kolike se varijacije mogu očekivati na bazi proračuna, kada je proračun zasnovan na laboratorijskim vrednostima izolacionih moći pregrada.

U tabelama IV i V prikazane su jednobrojne vrednosti građevinske izolacione moći dobijene za sve posmatrane kombinacije. Date su vrednosti građevinske izolacione moći za razne kombinacije i za svaku varijantu data je i jednobrojna vrednost izolacione moći direktne putanje kroz glavnu pregradu, tavanicu. Na slikama 6 i 7 prikazane su krive izolacionih moći armirano betonskih tavanica u debljini od 14 cm i 16 cm sa svim prethodno navedenim varijacijama.

TABELA IV

MERODAVNA GRAĐEVINSKA IZOLACIONA MOĆ ZA ARMIRANO BETONSKU TAVANICU DEBLJINE 14 cm

Tavanica 14 cm	42 m ²		6 m ²	
	R' _w	D _{dw}	R' _w	D _{dw}
Zidovi 14 cm elastični spoj	57	60	59	64
Zidovi 14 cm čvrsti spoj	54	57	55	60
Zidovi 16 cm elastični spoj	59	62	60	66
Zidovi 16 cm čvrsti spoj	55	59	56	62

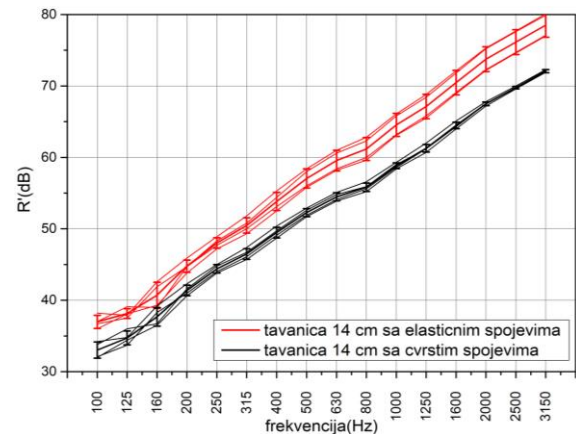
TABELA V

MERODAVNA GRAĐEVINSKA IZOLACIONA MOĆ ZA ARMIRANO BETONSKU TAVANICU DEBLJINE 16 cm

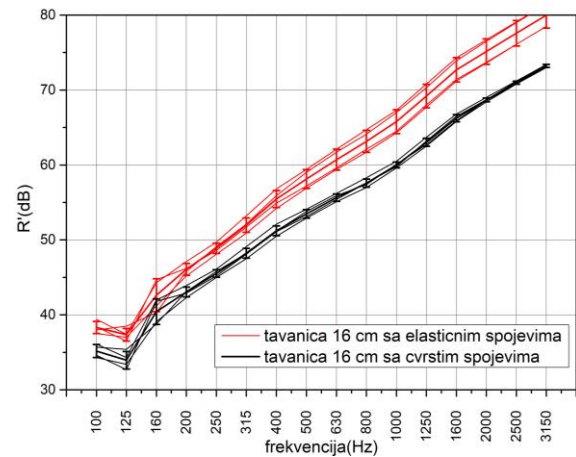
Tavanica 16 cm	42 m ²		6 m ²	
	R' _w	D _{dw}	R' _w	D _{dw}
Zidovi 14 cm elastični spoj	58	60	60	64
Zidovi 14 cm čvrsti spoj	54	60	55	59
Zidovi 16 cm elastični spoj	59	62	61	66
Zidovi 16 cm čvrsti spoj	56	59	57	62

U slučaju čvrstih spojeva između tavanice i bočnih pregrada, što je karakteristično u građevinskoj praksi na području naše zemlje, varijacije u proračunatim građevinskim vrednostima kreću se u rasponu od 1 do 2 dB. Gledano po frekvencijama, najveće razlike se javljaju na niskim frekvencijama i one su posledica pomeranja frekvencije koincidencije sa promenom površinske mase pregrada. U slučaju elastičnih spojeva, veće su varijacije po frekvencijama, naročito na višim frekvencijama koje sa druge strane nemaju značajnu implikaciju na jednobrojne vrednosti koje i u ovom slučaju variraju u rasponu od 1 do 2dB. U proračunima nisu prikazane varijacije koje

potiču od različitih tipova plivajućeg poda pošto je pokazano da je uticaj ovih razlika zanemarljiv kada je u pitanju prenos vazdušnog zvuka.



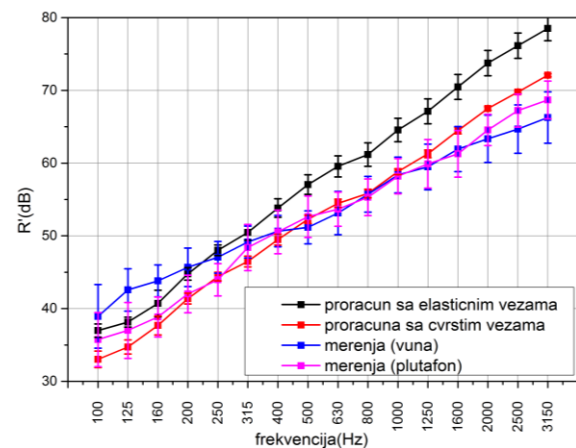
Slika 6. Proračun izolacione moći tavanice debljine 14 cm za različite debljine zidova i vrste spojeva



Slika 7. Proračun izolacione moći tavanice debljine 16 cm za različite debljine zidova i vrste spojeva

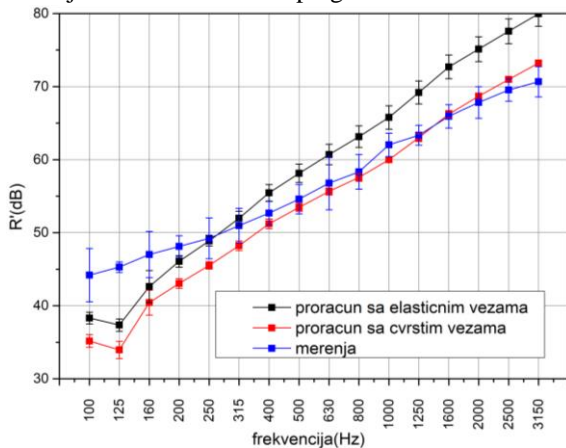
C. Komparativna analiza proračunatih i izmerenih vrednosti građevinskih izolacionih moći

Poređenje proračunatih i izmerenih srednjih vrednosti građevinskih izolacionih moći urađeno je za slučaj tavanica sa armirano betonskom pločom debljine 14 cm i 16 cm. U prvom slučaju posmatrane su tavanice debljine 14 cm koje imaju kao elastični sloj vunu ili plutafon.



Slika 8. Poređenje proračunatih i izmerenih srednjih vrednosti građevinskih izolacionih moći za tavanice debljine 14 cm

Usporedni rezultati merenja i proračuna prikazani su na slici 8. Relativno dobro poklapanje, u okvirima standardne devijacije rezultata merenja, pokazuju merenja tavanica sa plutaftonom u plivajućem podu i proračuni tavanica sa čvrstim spojevima. Ovi rezultati potvrđuju činjenicu da se u građevinskoj praksi toga vremena gradilo isključivo sa čvrstim spojevima. Sa prikazanog grafika može se uočiti da izmerene krive izolacione moći imaju manji nagib od krivih dobijenih proračunom, iako su kao ulazni podaci korišćene laboratorijske vrednosti za sve pregradne elemente.



Slika 9. Poređenje proračunatih i izmerenih srednjih vrednosti građevinskih izolacionih moći za tavanice debljine 16 cm

Za tavanice debljine 16 cm (slika 9) u najvećem delu frekvencijskog opsega (400 - 3150 Hz) male su razlike između izmerenih i proračunatih vrednosti, iako se i u ovom slučaju uočava manji nagib frekvencijske zavisnosti izmerenih vrednosti. Najveća odstupanja javljaju se na najnižim frekvencijama i tačan uzrok ovih razlika mora biti predmet detaljnijih analiza.

IV. ZAKLJUČAK

Prikazana analiza izmerenih vrednosti građevinske izolacione moći i proračunatih vrednosti tavanica koje su karakteristične za građevinsku praksu u našoj zemlji potvrdila je polaznu hipotezu da se u definisanju minimalnih kriterijuma mora uzeti margina sigurnosti. Prikazana analiza pokazuje da je ta margina minimalno 2 dB.

U slučaju kada se građevinska izolaciona moć proračunava na osnovu laboratorijskih vrednosti izolacione moći pojedinačnih pregrada, varijeteti u dimenzijama prostorija, strukturi bočnih zidova, vrsti spojeva u okviru proračuna ne odlikavaju realne razlike u ostvarenim izolacionim karakteristikama tavanica, jer ne mogu da uzmu u obzir sve uzroke narušavanja zvučne izolacije koje su neminovne u izgradnji. Polazeći od laboratorijskih vrednosti izolacije, u proračunu nije moguće uneti varijacije koje mogu nastati zbog razlike u stvarnim karakteristikama građevinskih materijala, kao što su pre svega gustina i brzina longitudinalnih talasa koji figurišu kao ulazni parametri za proračun karakteristike spojeva, strukturnog vremena reverberacije u pregradama i slično. Ova analiza je pokazala da u slučaju čvrstih spojeva, građevinska izolaciona moć jedne tavanice varira u opsegu od 1 dB, kao posledica različitih konfiguracija.

Sa druge strane, iste izmerene građevinske izolacione moći za nominalno iste tavanice variraju u opsegu od ± 4 dB

sa standardnim devijacijama od 2dB za sve posmatrane slučajeve kod kojih je baza izmerenih vrednosti imala dovoljan broj uzoraka.

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
- [2] SRPS EN ISO 12999:2016, Akustika – Određivanje i primena merne nesigurnosti u građevinskoj akustici
- [3] SRPS EN ISO 10140 -1.2.3,4,5:2013, Akustika — Laboratorijska merenja zvučne izolacije građevinskih elemenata
- [4] SRPS EN ISO 717-1:2015, Akustika — Ocena zvučne izolacije u zgradama i zvučne izolacije građevinskih elemenata
- [5] C. Simmons, "Uncertainty of measured and calculated sound insulation in buildings — results of a round robin test", *NoiseControl Engr. J.*, 55(1), 67–75, (2007).
- [6] J. Lang, "A round robin on sound insulation in building", *Applied Acoustics*, 52(3/4), 225–238, (1997).
- [7] V. Wittstock, "On the Uncertainty of Single-Number Quantities for Rating Airborne Sound Insulation" *Acta Acustica united with Acustica*. 93, 375-386, (2007).
- [8] C. Scrosati, F. Scamoni, M. Bassanino, M. Mussin, G. Zambon "Uncertainty analysis by a Round Robin Test of field measurements of sound insulation in buildings Single numbers and low frequency bands evaluation -Airborne sound insulation" *Noise Control Engr. J.* 61
- [9] D. Mašović, Dragana Šumarac Pavlović, M. Mijić, „Uticaj pojedinih fizičkih parametara na tačnost proračuna zvučne izolacije prema standardima EN 12354“, 57. ETRAN 2013, Zlatibor, Srbija, Jun, 2013.
- [10] Lj. Đukanović, „Tipologija i valorizacija građevinske strukture stambenih zgrada Beograda sa stanovišta komfora stanovanja“, Doktorska disertacija, Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2015
- [11] URSA FRAGMAT AKUSTIKA, softver za proračun zvučne izolacije, Elektrotehnički fakultet, Beograd, <http://www.ursa.rs/sr-latn-cs/arhitekti/stranice/program-akustika.aspx>

ABSTRACT

Acoustic comfort in buildings is one of the elements of total comfort which buildings have to meet. Due to the specific nature of sound and its perception, subjective experience of acoustic comfort is an element which people tend to perceive most directly. On the other hand, the increase of the partitions insulating properties introduces restrictions in material selection and therefore leads to changes in buildings' cost or construction technology. Under the pressure of such a reality, as a rule, no safety margin is taken in design process for partitions' insulating properties and minimal values are accepted as a proof that sound comfort is provided. As the result of this approach, a large number of buildings constructed in the last decade have unsatisfactory sound insulation levels. To address this problem, an analysis was conducted based on a comparison of measurement results in real buildings and their calculations. The measured values were collected from the archives of the Institute for Testing of Materials in Belgrade and the Acoustics Laboratory at the Faculty of Electrical Engineering in Belgrade. The results used in this analysis refer to 14-16 cm thick reinforced concrete floors in residential and commercial buildings built in the period 1979-1990.

Analysis of variations of building insulation properties of structures based on archive measurements and calculations

Ljiljana Popović, Dragana Šumarac Pavlović, Miomir Mijić, Aleksandar Milenković, Danica Boljević