

# Komparativna analiza izolacionih svojstava građevinskih materijala

Dragana Šumarac Pavlović, Ljiljana Popović, Miloš Bjelić

*Apstrakt*— Zvučni komfor u zgradama obezbeđuje se postizanjem minimalno zahtevanih vrednosti izolacionih svojstava pregradnih elemenata. Sam izbor materijala i načina gradnje menja se u vremenu i uslovljen je različitim uticajima vezanim za tehnologiju gradnje, ekonomske faktore, kao i novim zahtevima koji se postavljaju u domenu drugih vrsta komfora u zgradama, pre svega toplotnog komfora. Iako su izolaciona svojstva klasičnih građevinskih materijala poznata i definisana fizičkim zakonima prostiranja zvuka, u građevinarstvu se neprekidno dešavaju promene koje iziskuju traženje optimalnih konfiguracija koje će moći da zadovolje različite, često i oprečne zahteve iz domena statike, ekonomske održivosti, estetike, zvučnog i toplotnog komfora. U ovom radu prikazana je detaljnija analiza izolacionih svojstava klasičnih građevinskih materijala, koji su u širokoj upotrebi, u funkciji njihovih osnovnih karakteristika, gustine, brzine longitudinalnih talasa, faktora gubitaka i debljine. Cilj toga je da se u procesu projektovanja jasnije definišu karakteristike materijala koje će zadovoljiti postavljene kriterijume.

*Ključne reči* — građevinska izolaciona moć, zvučna izolacija, zvučni komfor.

## I. UVOD

U poslednjih dvadesetak godina došlo je do izvesnih promena u načinu organizacije kako stambenih, tako i poslovnih prostora, sa drugačijim zahtevima i očekivanjima korisnika. Takođe, došlo je i do značajne promene u tehnologiji gradnje različitih građevinskih objekata koji imaju konsekvence na zvučni komfor u zgradama. Jedna od najznačajnijih promena nastala je uvođenjem pravilnika o energetske efikasnosti zgrada [1]. Ovim pravilnikom uvedeni su novi uslovi koje u pogledu toplotne provodljivosti moraju da zadovolje pregradni elementi između prostora dva korisnika. U praksi se pokazalo da su rešenja kojim se to postiže po svojoj prirodi često suprotna zahtevima koje definišu kriterijumi za potrebnu zvučnu izolaciju. Jedna od posledica je da su tradicionalni materijali velike gustine ustupili mesto lakšim materijalima koji imaju bolja termoizolaciona svojstva, čime je narušen kvalitet zvučne zaštite. Sa druge strane, u proteklom periodu u domenu zvučnog komfora, a to znači zvučne zaštite, nisu

doneti odgovarajući pravilnici koji bi ispratili promene u ostalim domenima vezanim za generalni komfor u građevinskim objektima. U Srbiji je jedini dokument kojim se regulišu pitanja vezana za zvučni komfor u zgradama standard SRPS UJ.6.201 iz 1989 [2]. Ovim pravilnikom definisane su minimalne vrednosti građevinske izolacione moći od vazdušnog zvuka i maksimalni dozvoljeni nivoi zvuka udara za različite tipove zgrada i različite pozicije pregradnih elemenata u njima. U periodu od donošenja ovog pravilnika do danas došlo je do značajnih promena u svim domenima, od načina gradnje zgrada do očekivanja njihovih korisnika.

Neretko se u praksi mogu sresti situacije u kojima građevinske vrednosti izolacione moći zadovoljavaju postavljene minimalne kriterijume iz SRPS UJ.6.201, ali postoji jasno izraženo nezadovoljstvo korisnika zgrade. Ovo se događa prevashodno u objektima luksuzne gradnje. U njima, kao posledica funkcionalne organizacije unutar stambenih jedinica, tihog okruženja i visoko kvalitetnih fasadnih elemenata, nivo ambijentalne buke je toliko nizak, da postavljeni uslovi za zvučnu izolaciju ne zadovoljavaju uslove privatnosti. U zakonodavstvima drugih zemalja ovakvi problemi rešavani su na dva načina. U nekim zemljama uvedena je klasifikacija objekata [3] kojom su definisane minimalne vrednosti potrebne izolacione moći, ali i vrednosti koje treba da budu zadovoljene za više klase objekata. Na taj način je već na nivou definisanja projektnog zadatka na investitora prebačena odgovornost da definiše nivo kvaliteta koji objekat treba da zadovolji. Drugi mogući pristup u rešavanju ovakvih problema definisan je primenom parametra indeks privatnosti [4-6]. Pošto trenutni zakonodavni okvir u Srbiji u domenu zvučnog komfora ne predviđa ni jedan od mogućih pristupa, na investitoru je da definiše nivo zvučnog komfora koji želi.

Drugi aspekt zvučne zaštite u objektima vezan je za promenu načina proračuna laboratorijskih i građevinskih izolacionih svojstava pregrada. U Srbiji su usvojeni standardi iz serije SRPS ISO EN 12354 [7-9]. Ovi standardi definišu proračun građevinske izolacione moći  $R'$  za vazdušni zvuk i nivo udarnog zvuka  $L'_n$ . Kao ulazni podaci za ove proračune koriste se dimenzije prostorija, laboratorijske vrednosti izolacionih moći svih pregradnih elemenata i vrste njihovih spojeva.

Na tržištu građevinskih materijala postoji veliki broj proizvoda istog generičkog imena, a značajno različitih karakteristika, pre svega gustine, a time i površinske mase. Sam način gradnje i završne obrade unose u praksi značajnu varijabilnost, pre svega u pogledu rezultantne površinske mase pregrade. Ovaj problem naročito je izražen kada su u pitanju opekarski šuplji blokovi čije gustine variraju u

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

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

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

širokom dijapazonu od oko 650 kg/m<sup>3</sup> do oko 1200 kg/m<sup>3</sup>. Ovi elementi su danas u najčešćoj upotrebi jer zadovoljavaju termičke zahteve bez dodatnih izolacionih obloga. S druge strane, zbog malih gustina ovih blokova način njihove završne obrade, to jest debljina sloja maltera, može značajno da promeni ukupna izolaciona svojstva.

U ovom radu je analizirana promena laboratorijskih vrednosti izolacione moći u funkciji promene svih ulaznih fizičkih parametara pregrade sa ciljem da se definišu dimenzije i njihove gustine s kojima se mogu postići minimalni uslovi iz standarda SRPS UJ.6.201. U najvećem broju pozicija u stambenim objektima zahteva se minimalna građevinska izolaciona moć od 52 dB. U praksi se pokazalo da u slučaju luksuznih objekata minimalna vrednost građevinske izolacione moći 52 dB ne zadovoljava zahteve korisnika u pogledu privatnosti. U takvim okolnostima minimalni uslov mora se pomeriti za najmanje 3 dB, to jest na vrednost 55 dB građevinske izolacione moći. Da bi se postigla ovakva vrednost građevinske izolacione moći, laboratorijske vrednosti moraju se uvećati za uticaj bočnog provođenja. U tom domenu postoje praktične preporuke za projektovanje. U njima se aproksimativno navodi za slučaj homogenih masivnih pregrada da je razlika laboratorijske i građevinske vrednosti 5 dB, računajući i izvesnu marginu sigurnosti. Sprovedena analiza referencirana je na usvojene granične vrednosti od 52 dB i 55 dB.

## II. PRORAČUN IZOLACIONIH SVOJSTAVA PREGRADA OD RAZLIČITIH MATERIJALA

U standardu SRPS 12354-1, Annex B definisana je metodologija za proračun homogenih masivnih zidova na bazi osnovnih podataka o karakteristikama materijala. Kao ulazni podaci za proračun koriste se:

- površinska masa  $m_s$
- debljina pregrade  $d$
- ukupni unutrašnji gubici  $\eta_{tot}$
- brzina longitudinalnih talasa  $c_L$ .

TABELA I  
VREDNOSTI PARAMETARA GRAĐEVINSKIH MATERIJALA DEFINISANIH U ANEKSU B STANDARDA SRPS 12354

materijal	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_L$ (m/s)	$\eta_{tot}$
beton	2300	3500	0,006
silikatni blokovi	1750	2600	0,015
laki beton	1300	1700	0,015
autoklavirani gas beton	650	1400	0,010

U praksi je često javlja situacija da ne postoje laboratorijska merenja za sve proizvode koji su na tržištu, ili u projektu ne sme da bude specificiran tačan proizvođač zbog procedure tendera za izvođenje. Zbog toga se često u fazi projektovanja usvajaju proračunske vrednosti izolacionih moći koje se dobijaju po Aneksu B standarda SRPS EN 12354-1. U njemu su specificirani ulazni podaci potrebni za proračun pregrada od nekoliko klasičnih građevinskih materijala. Njihove vrednosti prikazane su u Tabeli I. Za ostale materijale koji se nalaze na tržištu, a pre svega za šuplje opekarske blokove Aneks B ne daje sve relevantne podatke. U literaturi se mogu pronaći i dodatni

podaci pre svega o zidanim zidovima [10]. Oni su prikazani u Tabeli II.

TABELA II  
DODATNI PODACI IZ LITERATURE O VREDNOSTIMA PARAMETARA GRAĐEVINSKIH MATERIJALA

materijal	$m_s$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_L$ (m/s)	$\eta_{tot}$
siporeks	600-1000	1700	0,01
laki beton	1300-1600	1700	0,015
opeka i silikatni blokovi	1800-2000	2400	0,015
teski beton	2000-2400	3500	0,006

U ovoj analizi sproveden je proračun izolacionih svojstava pregradnih zidova za vazdušni zvuk koji je baziran na četiri osnovna tipa građevinskih materijala navedenih u Tabeli II. Svi posmatrani materijali mogu imati gustine koje variraju u određenom rasponu navedenom u tabeli. Faktor unutrašnjih gubitaka je parametar koji nije uvek dostupan u tehničkom opisu materijala i on se usvaja na bazi opštih načela. Faktor koji pored gustine ima dominantan uticaj na konačne vrednosti izolacionih svojstava je brzina longitudinalnih talasa.

Brzina longitudinalnih talasa u pločama zavisi od Jungovog modula elastičnosti i gustine materijala [11]:

$$c_{L, \text{ploče}} = \sqrt{\frac{E}{\rho_m (1 - \mu^2)}} \quad (1)$$

gde je  $\mu$  Poasonov broj koji se za posmatrane materijale kreće između 0,1 i 0,2. Formula (1) važi za homogene strukture kao što su betonski zidovi. Zidovi formirani od manjih elemenata kao što je opeka i blokovi povezani malterom predstavljaju nehomogeni građevinski materijal čija mehanička svojstva zavise od mehaničkih svojstava svih komponenata i njihovih međusobnih fizičkih interakcija, njihovog zapreminskog odnosa u celini zida, svojstava njihovih međusobnih veza i postojanja eventualnih pukotina i rupa u formiranom zidu. U svemu tome i karakteristike maltera mogu da variraju značajno i tako menjaju dinamičke karakteristike zida u celini. Teorijski postupci proračuna osnovnih parametara materijala počivaju na pretpostavci da se radi o izotropnom materijalu, jer se onda primenjuje najjednostavnija teorija elastičnosti. Sa smanjivanjem gustine materijala, menja se i Jungov moduo elastičnosti tako da porozniji materijali i pored manje gustine imaju niže vrednosti brzine longitudinalnih talasa [12].

U projektantskoj praksi česte su situacije u kojima nisu dostupni atesti sa laboratorijskim merenjima pregrada koji se zahtevaju za primenu algoritama koji se navode u standardima iz serije SRPS EN 12354. Takođe se u projektima javljaju iste osnovne pregrade sa drugačijim završnim slojem, na primer sa različitom debljinom sloja maltera, što je praktično nemoguće sve potkrepiti atestima. Jedina metodologija koja je primenjiva u takvim okolnostima je proračun laboratorijske vrednosti izolacione moći na bazi algoritma iz Aneksa B standarda SRPS EN 12354-1.

Da bi se sagledao opseg varijabilnosti laboratorijskih vrednosti izolacione moći pregrada u funkciji promene svih ulaznih fizičkih parametara, izvršeni su proračuni prema algoritmu iz Aneksa B. Na slikama 1 i 2 prikazane su na dva

načina proračunske laboratorijske vrednosti izolacionih moći za nekoliko varijanti materijala iz Tabele II.

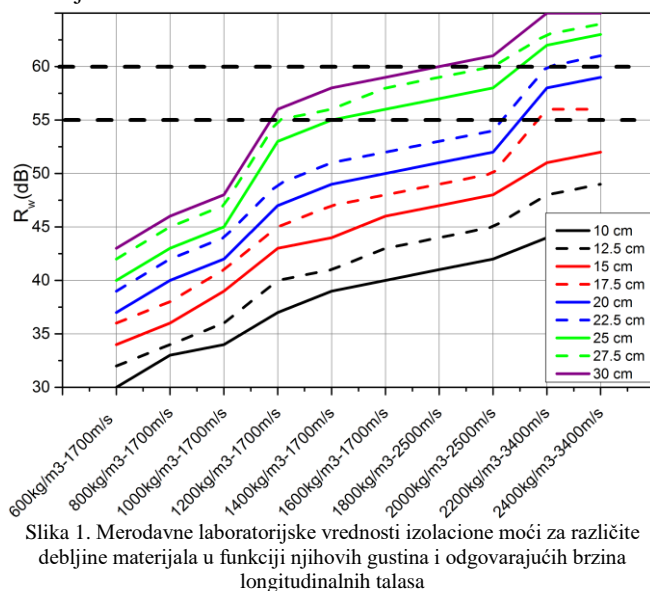
Analizirani su različiti materijali koje karakteriše pre svega njihova površinska masa. Za određene vrednosti površinske mase i odgovarajuće brzine longitudinalnih talasa (gustina i brzina longitudinalnih talasa su povezane fizičke veličine) izračunate su merodavne laboratorijske vrednosti za pregrade različitih debljina u rasponu od 10 cm do 30 cm. Sve izračunate vrednosti upoređene su sa unapred zadatim kriterijumom da pregrada postigne građevinsku izolacionu moć od 52 dB, odnosno 55 dB (računajući da u tom slučaju laboratorijske vrednosti moraju da budu najmanje 57dB, odnosno 60dB respektivno). Horizontalnim linijama označene su zahtevane vrednosti građevinske izolacione moći od 52 dB i 55 dB, što znači da su odgovarajuće potrebne laboratorijske vrednosti  $R_w = 55$  dB (za  $R'_w = 52$  dB) i  $R_w = 60$  dB (za  $R'_w = 55$  dB).

Proračunate vrednosti prikazane su na dva načina. Na slici 1 možemo da uočimo trend promena izolacione moći u funkciji gustine materijala (i njoj odgovarajuće brzine longitudinalnih talasa) za odabranu debljinu pregrade. Ovakav prikaz nam omogućava da u fazi projektovanja za zadatu debljinu zida možemo i moramo da definišemo osim vrste materijala i njegove karakteristike kako bismo bili sigurni da će u izvedenom stanju pregrada da zadovolji postavljene minimalne zahteve.

Merodavne građevinske izolacione moći veće od 52 dB moguće je ostvariti sa materijalima koji imaju površinsku masu veću od 1200 kg/m<sup>3</sup> u debljinama preko 25cm i sa materijalima čija je površinska masa veća od 2000 kg/m<sup>3</sup> (beton) i u debljinama preko 20 cm. Svi zidovi izgrađeni od različitih blokova čije su površinske mase manje od 1000kg/m<sup>3</sup> ne mogu da zadovolje minimalne zahteve od 52 dB u debljinama do 30 cm što su najčešći realni zatevi u građevinstvu.

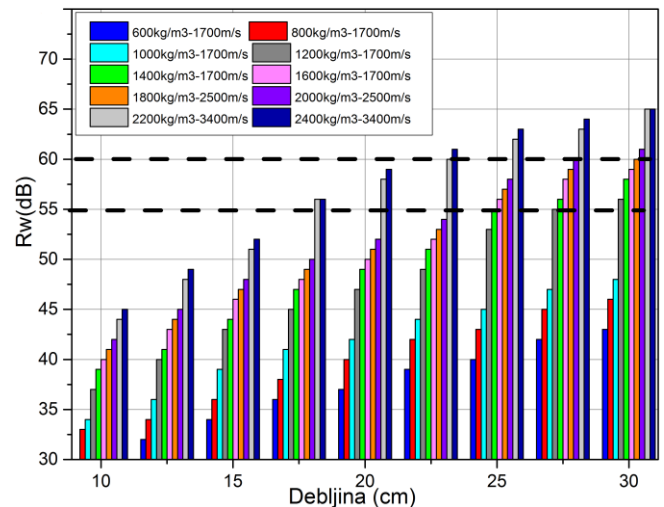
Povećane vrednosti izolacione moći od najmanje 55 dB praktično je moguće jedino ostvariti sa armirano betonskim zidovima koji imaju površinske mase veće od 2500 kg/m<sup>3</sup> u raspoloživim gabaritima.

Isti rezultati prikazani su na slici 2 u funkciji debljine pregrade, gde se direktno može uočiti raspon vrednosti izolacione moći masivne pregrade iste debljine od različitih materijala.



Slika 1. Merodavne laboratorijske vrednosti izolacione moći za različite debljine materijala u funkciji njihovih gustina i odgovarajućih brzina longitudinalnih talasa

Betonski zidovi, iako zadovoljavaju i u manjim debljinama minimalne, pa čak i povećane kriterijume zvučne izolacije, nisu prihvatljivi na pozicijama razdvajanja dva korisnika, jer ne zadovoljavaju zahteve za termičku provodnost. Zbog toga se u varijanti masivnih zidova oni najčešće zamenjuju opekarskim šupljim blokovima.



Slika 2. Merodavne laboratorijske vrednosti izolacione moći za različite debljine materijala u funkciji njihovih gustina i odgovarajućih brzina longitudinalnih talasa

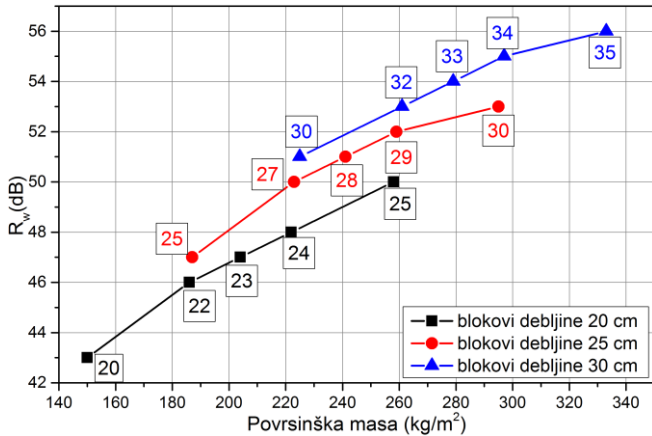
Opekarski blokovi su česti u projektantskoj praksi, jer oni zbog svoje porozne strukture, odnosno zbog prisustva vazdušnih komora, zadovoljavaju uslove termičke provodnosti propisane Pravilnikom o energetske efikasnosti zgrada [1]. Betonski zidovi koji sa manjim debljinama postižu iste vrednosti izolacionih moći, ne zadovoljavaju kriterijume toplotne izolacije i moraju se dodatno oblagati termoizolacionim materijalima. Takvi dodaci povećavaju debljinu zida i poskupljuju uslove gradnje.

Izolaciona moć zidanih zidova od šupljih opekarskih blokova zavisi od gustine osnovnog bloka, od debljine sloja maltera u završnoj obradi i od načina i preciznosti međusobnog spajanja blokova. Zbog neizostavnog postojanja šupljina prilikom spajanja blokova malterom, šuplji opekarski blokovi kao završni sloj moraju da imaju sloj maltera. U literaturi [13] je pokazano da tek sa slojem maltera ovakve pregrade postižu očekivane vrednosti izolacione moći. Pokrivanjem obe strane zida malterom taj nedostatak se eliminiše.

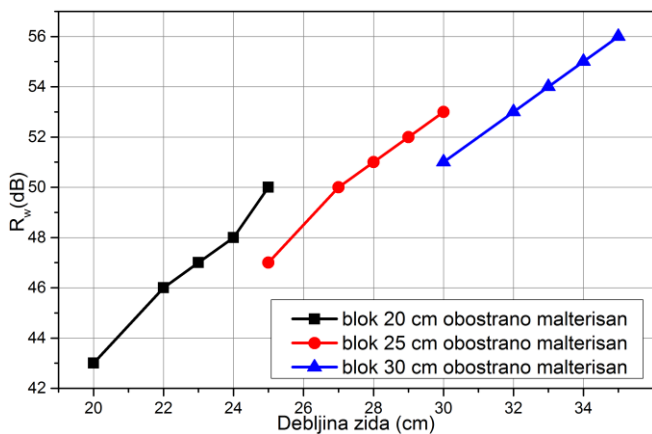
Zbog male gustine blokova (750 kg/m<sup>3</sup>) i veće gustine maltera (1800 kg/m<sup>3</sup>), ukupna površinska masa zida značajno varira u zavisnosti od debljine sloja maltera. Za brzinu longitudinalnih talasa u slučaju zidanih zidova od blokova iz literature [10] je usvojena vrednost od 2700 m/s. Analiziran je blok površinske mase 750 kg/m<sup>3</sup> koji je obostrano malterisan u debljinama 2x1 cm, 2x1,5 cm, 2x2 cm i 2x2,5 cm. Gustina maltera je 1800 kg/m<sup>3</sup>.

Na slici 3 prikazana je promena vrednosti izolacione moći zida za blokove debljine 20, 25 i 30 cm, obostrano malterisane, u funkciji promene njegove ukupne površinske mase koja nastaje varijacijom debljine sloja maltera. U kvadratima je označena ukupna debljina zida u centimetrima nakon malterisanja (blok + malter). U projektovanju se često zahteva da zid ima neku zadatu debljinu zbog uticaja na kvadraturu prostorija, što može da dovede do stanjivanja debljine maltera. Iz tog razloga je analizirana promena

merodavne vrednosti izolacione moći istih zidova u funkciji ukupne debljine zida. Rezultat je prikazan na slici 4. Za iste vrednosti površinske mase varijacije vrednosti izolacione moći kreću se do 3 dB, dok se debljine materijala u tim situacijama razlikuju i do 7 cm. Za iste ukupne debljine zidova varijacije merodavnih laboratorijskih vrednosti izolacionih moći variraju do 3 dB.



Slika 3. Merodavne proračunske laboratorijske izolacione moći zidova od šupljih opekarskih blokova gustine 750 kg/m<sup>3</sup> u tri debljine 20, 25 i 30 cm sa različitim debljinama maltera, u funkciji promene površinske mase.



Slika 4. Merodavne proračunske laboratorijske izolacione moći zidova od šupljih opekarskih blokova gustine 750 kg/m<sup>3</sup> u tri debljine 20, 25 i 30 cm sa različitim slojem maltera, u funkciji promene debljine

### III. POREĐENJE PRORAČUNATIH I IZMERENIH LABORATORIJSKIH VREDNOSTI IZOLACIONE MOĆI

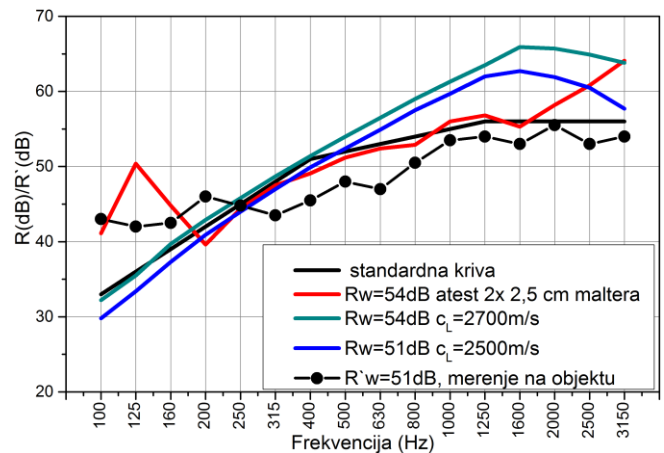
U situaciji kada nisu dostupni podaci o laboratorijskim merenjima, proračuni građevinskih merodavnih izolacionih moći homogenih masivnih zidova zasnivaju se na ulaznim podacima proračunatim prema Aneksu B standarda [7]. U takvim okolnostima neminovno se postavlja pitanje eventualnih razlika između vrednosti dobijenih takvim proračunom i onih koji se izmere u laboratoriji. Za analizu razlika uzeta su dva tipa zidova napravljenih od blokova. Posmatrani su zidovi za koje postoje atesti sa laboratorijskim vrednostima izolacione moći koji se mogu porediti sa proračunatim. To su zidovi napravljeni od blokova:

- 1- Porotherm 25 AKU (Wienerberger) debljine 25 cm
- 2- Silka 7DFrP debljine 20 cm.

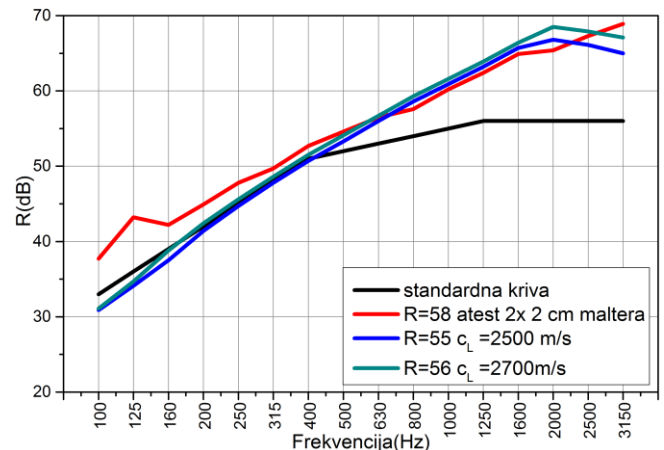
Prema tehničkoj dokumentaciji blok Porotherm tip 25AKU zajedno sa malterom koji je potreban za njegovo spajanje (bez završnog sloja na površini zida) ima

površinsku masu 265 kg/m<sup>2</sup>. Kada je obostrano malterisan u slojevima 2x2,5 cm površinska masa mu je 373 kg/m<sup>2</sup>. Laboratorijska vrednost preuzeta je iz atesta Zavoda za gradbeništvo Slovenije. Proračun izolacionih svojstava ovog zida izvršen je za dve vrednosti brzine longitudinalnih talasa od 2500 m/s i 2700 m/s. Za dodatno poređenje iskorišćena je izmerena vrednost građevinske izolacione moći ovog zida na jednom realnom objektu. Na slici 5 prikazane su ovako prikupljene izmerene i proračunate vrednosti izolacione moći zida.

Drugi primer zida koji je analiziran napravljen je od SILKA blokova tip 7DFrP. Ovaj blok je debljine 20 cm i obostrano je malterisan sa 2x2 cm. Gustina bloka je 1800 kg/m<sup>3</sup>. Ukupna površinska masa ovog zida je 432 kg/m<sup>2</sup>. Poređenje laboratorijskih i izmerenih vrednosti prikazano je na slici 6.



Slika 5. Poređenje izmerenih i proračunatih vrednosti izolacione moći za zid izgrađen od blokova Porotherm 25AKU debljine 25 cm.



Slika 6. Poređenje izmerenih i proračunatih vrednosti izolacione moći za zid izgrađen od blokova Silka tip 7DFrP debljine 20 cm

Iz prikazanih rezultata se vidi da u slučaju zida od blokova Porotherm tip 25AKU postoji neslaganje u toku krive izolacione moći dobijenih merenjem i proračunom. One su verovatno posledica nehomogenosti bloka, zbog čega je njegovo ponašanje kompleksnije od modela na kome je zasnovan algoritam za proračun. Iz dobijenih komparativnih analiza proizilazi zaključak da je za zidove zidane od šupljih opekarskih blokova neophodno imati atest za izolacionu moć kao ulazni podatak za proračuna građevinske izolacione moći u zgradi. U slučaju silikatnog bloka Silka 7DFrP koji ima monolitnu unutrašnju strukturu,

izmerene i proračunate vrednosti se u većem delu frekvencijskog opsega podudaraju. Prikazani rezultati pokazuju da proračunate krive izolacione moći imaju veći nagib nego one izmerene u laboratoriji.

#### IV. ZAKLJUČAK

U ovom radu analizirana su dva pitanja značajna za projektovanje zgrada u domenu zvučne izolacije. Jedno pitanje odnosi se na analizu izolacionih moći koje se mogu postići masivnim zidovima. Homogeni masivni zidovi koji se sreću u građevinskoj praksi su betonski zidovi, zidovi od lakih betonskih blokova, od silikatnih blokovi i od različitih opekarskih blokova. Masivni zidovi velikih gustina i u manjim debljinama postižu tražena izolaciona svojstva, međutim, takvi zidovi ne zadovoljavaju uslove toplotne provodljivosti. Sa druge strane različiti porozni betonski blokovi, kao i šuplji opekarski blokovi imaju zadovoljavajući koeficijent toplotne provodljivosti, ali zbog smanjene mase i smanjene brzine longitudinalnih talasa, ne mogu dostići zahtevani nivo zvučne izolacije. Analiza je pokazala da se u debljinama do 30 cm merodavne građevinske izolacione moći zidova od najmanje 52dB mogu postići samo sa materijalima čija je gustina veća od  $1200 \text{ kg/m}^3$ , a da se povećana zvučna izolacija od 55dB može postići samo sa betonskim zidovima i to sa debljinama većim od 25 cm. S obzirom na to da betonski zidovi ne zadovoljavaju termičke zahteve, realizacija zidova koji imaju veća izolaciona svojstva moraju da se traže u rešenjima koja podrazumevaju dodatne lake obloge u vidu gips kartonskih ploča.

Drugo pitanje razmatrano u radu, vezano je za tačnost proračuna laboratorijske izolacione moći masivnih zidova kada su oni zidani od šupljih opekarskih blokova. Analiza sprovedena u radu, a i iskustvo iz projektantske prakse pokazalo je da su fizički procesi prenošenja zvuka kod nehomogenih struktura složeni i ne podležu do kraja fizičkim zakonima koji važe za homogene strukture.

Proračun krive laboratorijske izolacione moći u slučaju blokova koji imaju homogenu strukturu prati krivu izmerenih vrednosti. U slučaju šupljih opekarskih blokova, pojavljuje se razlika između proračunatih vrednosti i vrednosti izmerenih u laboratoriji. Javlja se razlike u nagibu krive frekvencijske zavisnosti izolacione moći. Kod opekarskih blokova kriva izolacione moći na srednjim frekvencijama ima nagib približno 5dB/oktavi, dok je nagib proračunske krive u istom opsegu približno 9dB/oktavi. Dešava se da su jednobrojne vrednosti dobijene na osnovu merenja i proračuna iste, i pored realtivno velikih razlika u toku i nagibu krive izolacione moći. To je razlog koji opravdava zapažanje koje je uočeno u praksi da zidovi od šupljih opekarskih blokova daju subjektivni osećaj nedovoljne izolovanosti pre svega u odnosu na govorni signal. Govorni signal u delu spektra iznad 250 Hz ima najveću energiju upravo u opsegu u kom zidovi od šupljih blokova imaju smanjene vrednosti izolacione moći. Analiza potvrde ovih subjektivnih zapažanja predmet je budućih analiza.

Može se zaključiti da je u projektovanju neophodno osim tipa pregradne konstrukcije definisati i minimalne vrednosti karakteristika materijala kako bi se obezbedilo da u slučaju promene proizvođača građevinskog materijala ne dođe do

značajne promene u izolacionim svojstvima. Preporuka je da se proračuni zasnivaju na atestiranim laboratorijskim merenjima.

#### 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] Pravilnik o energetske efikasnosti zgrada, „Službeni glasnik RS“ broj 61/2011)
- [2] SRPS UJ.6.201:1989 Akustika u zgradarstvu – Tehnički uslovi za projektovanje i građenje zgrada
- [3] Birgit Rasmussen, „Acoustic classification of buildings in Europe – Main characteristics of national schemes for housing, schools, hospitals and office buildings“, Euronoise 2018 - Conference Proceeding, 1073-1080
- [4] ASTM E2638 – 10, "Standard Test Method for Objective Measurement of Speech Privacy Provided by a Closed Room“, 2017.
- [5] J.Bradley, B.Gover, "Speech Privacy Class for Rating the Speech Privacy of Meeting Rooms“, Canadian Acoustics, 36, 22-23 (2008)
- [6] Miomir Mijić, Dragana Šumarac Pavlović, Miloš Bjelić, Tatjana Miljković, „Uticaj „tišine“ na zvučni komfor“, ETRAN 2019, Srebrno jezero
- [7] SRPS EN ISO 12354-1, „Akustika u građevinarstvu — Ocena zvučne zaštite zgrada na osnovu akustičkih performansi građevinskih elemenata — Deo 1: Zvučna izolacija između prostorija“
- [8] SRPS EN ISO 12354-2, „Akustika u građevinarstvu — Ocena zvučne zaštite zgrada na osnovu akustičkih performansi građevinskih elemenata — Deo 2: Izolacija od zvuka udara između prostorija“
- [9] SRPS EN ISO 12354-3, „Akustika u građevinarstvu – Ocena zvučne zaštite zgrada na osnovu akustičkih performansi građevinskih elemenata — Deo 3: Zvučna izolacija od spoljašnjeg zvuka“
- [10] Carl Hopkins, „Sound insulation“, Elsevier, 2007.
- [11] J.H.Rindel, Sound Insulation in Buildings, CRC Press; 1 edition (October 31, 2017)
- [12] Vlatko Bosiljkov, Yuri Z.Totoev, John M. Nichols, „Shear modulus and stiffness of brickwork masonry: An experimental perspective“, Structural Engineering & Mechanics, May 2005
- [13] Aleksandar Milenković, Danica Boljević, Damir Savković, Stevka Baralić, „Uticaj malterisanja i malih otvora na zvučnu izolacionu moć zida“, Konferencija ETRAN-a, 2017.

#### ABSTRACT

Abstract — Acoustics comfort in buildings is provided by satisfying the minimum requirement of partition elements insulating properties. The selection of materials and methods of building construction changes over time. The changes are influenced by various factors in construction technology, economic factors and new requirements that are set to satisfy other types of comfort in buildings, mostly thermal comfort. Although the insulating properties of classical building materials are known and defined by the physical laws of sound propagation, in building construction there are constant changes that require pursuit for optimal configurations to meet different and often conflicting requirements in statics, economic sustainability, aesthetics, acoustic and thermal comfort. The paper presents analysis of insulation properties of widely used classical building materials as a function of their physical characteristics such as density, velocity of longitudinal waves, loss factors and thickness. The analysis is made to help in choosing the materials during design process to meet the sound insulation requirements.

#### Comparative analysis of insulation properties of building materials

Dragana Šumarac Pavlović, Ljiljana Popović, Miloš Bjelić