

DOPRINOS SLOJEVA U SLOŽENIM KONSTRUKCIJAMA NA ZVUČNU IZOLACIJU

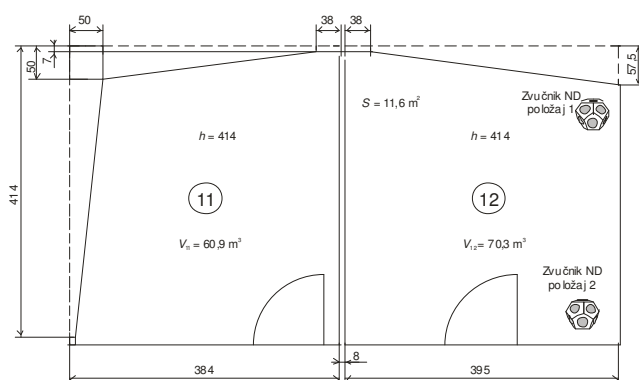
Aleksandar Milenković, Danica Boljević

Apstrakt— Za potrebe izgradnje jednog objekta specijalne namene projektovane su pregrade (zid i krov) visoke zvučne izolacije čije je merodavne vrednosti izolacione moći bilo potrebno potvrditi ispitivanjem. Ispitivanja su sprovedena u laboratorijskim uslovima u Laboratoriji za akustiku i vibracije Instituta IMS. Ispitivanja su sprovedena u serijama prilikom instalacije svake od pregrada kako bi se pratilo merodavne vrednosti izolacionih moći u različitim fazama instalacije, a sve u cilju da se vidi koliki je doprinos zvučnoj izolaciji dodavanje različitih slojeva na osnovnu (betonsku) konstrukciju pregrade.

Ključne reči— Složena konstrukcija, zvučna izolacija, izolacija od vazdušnog zvuka, merodavna vrednost izolacione moći, zid, krov.

I. UVOD

Ispitivanja, čiji će rezultati biti prezentovani u radu, sprovedena su u laboratorijskim uslovima, u posebnim ispitnim prostorijama (komorama) Laboratorije za akustiku i vibracije Instituta IMS u Beogradu, izrađenim za datu namenu, bez bočnog provođenja zvuka (sa fugama koje razdvajaju prostor između njih), a koje u svemu zadovoljavaju zahteve za ispitnim prostorima u kojima se vrše laboratorijska ispitivanja zvučne izolacije u građevinskoj akustici [4]. Izgled ovih komora u horizontalnom preseku sa označenim mestom između njih u koji se ugrađuje ispitni uzorak prikazan je na Sl. 1.



mr Aleksandar Milenković – Institut za ispitivanje materijala ad, Bulevar vojvode Mišića 43, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: aleksandar.milenkovic@institutims.rs), ORCID ID (<https://orcid.org/0000-0002-2381-0095>).

Danica Boljević – Institut za ispitivanje materijala ad, Bulevar vojvode Mišića 43, 11000 Beograd, Srbija (e-mail: danica.boljevic@institutims.rs), ORCID ID (<https://orcid.org/0000-0002-8702-2434>).

Sl. 1. Horizontalni presek ispitnih komora u Laboratoriji za akustiku i vibracije

Ispitni uzorak je ugrađen u ispitni otvor tako da se uzorak nalazi na strani prijemne prostorije (komore) sa vidljivom fugom iz predajne prostorije (komore u kojoj se nalazi zvučnik).

Ispitivanje je izvršeno kao ispitivanje zvučne izolacione moći u skladu sa standardima koji regulišu postupke laboratorijskih ispitivanja izolacije od vazdušnog zvuka [1,2,3,5,6].

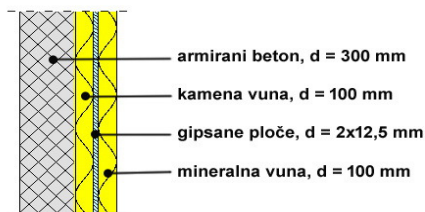
Ispitivanje nivoa zvučnog pritiska je izvršeno za dva položaja zvučnika u predajnoj prostoriji u po šest mernih tačaka (pozicija mikrofona) u predajnoj i prijemnoj prostoriji, a izmerene vrednosti nivoa zvučnog pritiska su logaritamski usrednjene kako bi se dobile vrednosti nivoa zvučnog pritiska u predajnoj i prijemnoj prostoriji potrebnih za proračun zvučne izolacione moći. Vreme reverberacije u prijemnoj prostoriji kao parametar koji je potrebno izmeriti u svrhu određivanja izolacione moći je izvršeno za dva položaja zvučnika u tri merne tačke (pozicije mikrofona) sa snimanjem po dva zapisa krive opadanja nivoa zvuka za svaku mernu tačku te je na osnovu dvanaest krivih opadanja određena srednja vrednost vremena reverberacije potrebna za proračun. Ispitni uzorak je bio površine 11.6 m², a zapremine ispitnih komora 60.86 m³ (prijemna komora, komora sa oznakom 11) i 70.33 m³ (predajna komora, komora sa oznakom 12). Ispitivanje je izvršeno u frekventijskom opsegu od 100 Hz do 5000 Hz, a je merodavna vrednost izolacione moći (jednobrajna vrednost) određena u frekventijskom opsegu od 100 Hz do 3150 Hz.

U radu su prikazani rezultati izolacione moći po frekvencijama, $R(f)$, i kao merodavna vrednost izolacione moći, R_w , čije je projektovane vrednosti bilo potrebno potvrditi.

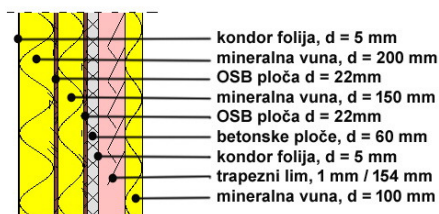
II. PREDMET ISPITIVANJA

Konstrukcije koje su bile predmet ispitivanja su posmatrane u dva slučaja, i to: na primeru betonskog zida u preseku prikazanog na Sl. 2 i na primeru betonskog krova u preseku prikazanog na Sl. 3.

Uzorak zida ugrađen je u ispitni otvor tako da su na osnovni betonski zid dodavani slojevi prema komori koja je tokom ispitivanja bila prijemna tj. betonski zid je bio na strani predajne komore. Fotografije pojedinih faza instalacije zida prikazane su na Sl. 4.

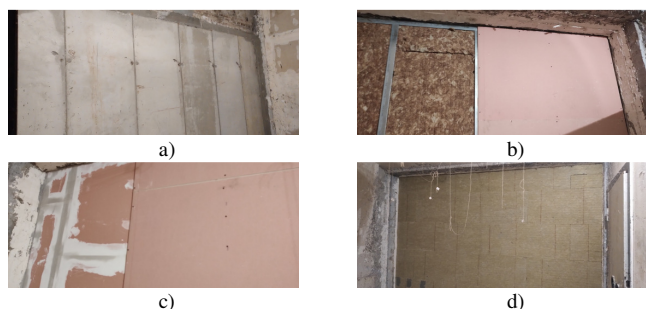


Sl. 2. Detalji složene konstrukcije: Zid



Sl. 2. Detalji složene konstrukcije: Krov

Ispitivanja zida su izvršena u tri faze sa sledećim opisima konstrukcije zida (Z): 1) Z1: armirano-betonski zid debljine $d = 300$ mm (osnovna zidna konstrukcija), 2) Z2: Z1 sa dodatim oblogom koja se sastoji od kamene vune debljine $d = 100$ mm i dva sloja gips-kartonskih ploča debljine $d = 2 \times 12,5$ mm i 3) Z3: Z2 sa dodatim oblogom od mineralne vune debljine $d = 100$ mm.

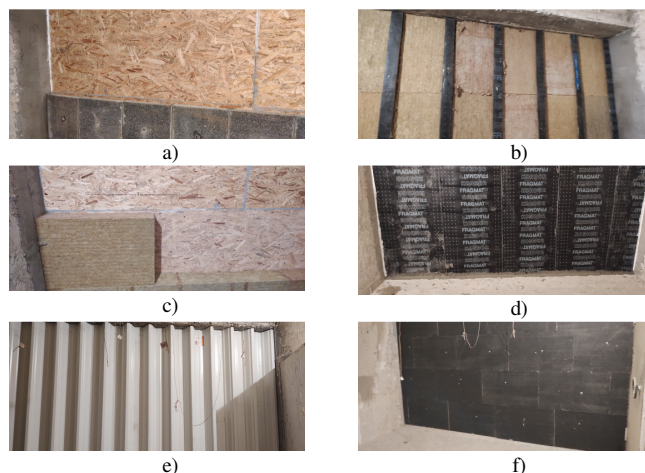


Sl. 4. Faze u instalaciji predmeta ispitivanja: Zid (Z); a) Z1, b) i c) Z2, d) Z3

Kada je u pitanju krov slojevi su dodavani sa obe strane osnovne betonske konstrukcije tj. i prema predajnoj i prema prijemnoj komori. Fotografije pojedinih faza instalacije zida prikazane su na Sl. 5.

Ispitivanja krova su izvršena u pet faza sa sledećim opisima konstrukcije krova (K): 1) K1: OSB ploča debljine $d = 22$ mm na betonskoj konstrukciji debljine $d = 60$ mm (osnovna krovna konstrukcija), 2) K2: K1 sa dodatim oblogom koja se sastoji od mineralne vune debljine $d = 150$ mm i jednog sloja OSB ploča $d = 22$ mm na strani postavljenih OSB ploča na osnovnoj betonskoj konstrukciji, 3) K3: K2 sa dodatim oblogom od mineralne vune debljine $d = 200$ mm i kondor folije debljine $d = 5$ mm u nastavku, 4) K4: K3 sa dodatim slojem kondor folije debljine $d = 5$ mm i trapeznog lima debljine $d = 1$ mm / 154 mm na strani betonskog dela osnovne

betonske konstrukcije i 5) K5: K4 sa dodatim slojem mineralne vune sa voalom debljine $d = 100$ mm.



Sl. 5. Faze u instalaciji predmeta ispitivanja: Krov (K); a) K1, b) K2, c) K2 i K3, d) K3, e) K4, f) K5

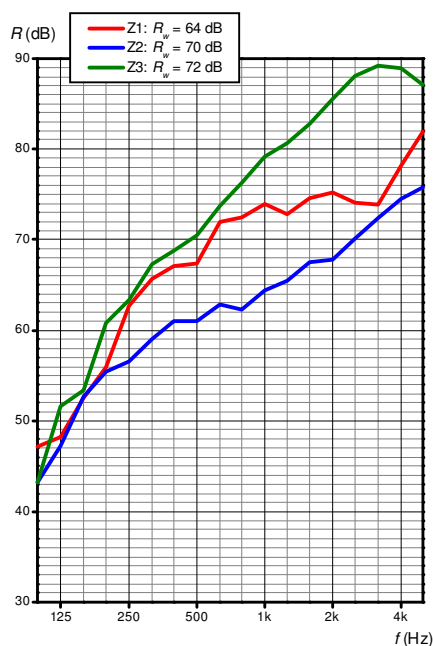
III. PRIKAZ REZULTATA ISPITIVANJA

Rezultati ispitivanja prikazani u radu su dati prema ispitnim fazama i označeni konstrukcijom (Z ili K) kako je opisano u tekstu.

Za slučaj složene konstrukcije zida (Z) po fazama Z1, Z2 i Z3 rezultati su prikazani u Tabeli I i na dijagramu Sl. 6, dok su za slučaj složene konstrukcije krova (K) po fazama K1, K2, K3, K4 i K5 rezultati prikazani u Tabeli II i na dijagramu Sl. 7.

TABELA I
IZMERENE VREDNOSTI ZVUČNE IZOLACIONE MOĆI PREMA SLOJEVIMA U
SLOŽENOJ KONSTRUKCIJI: ZID

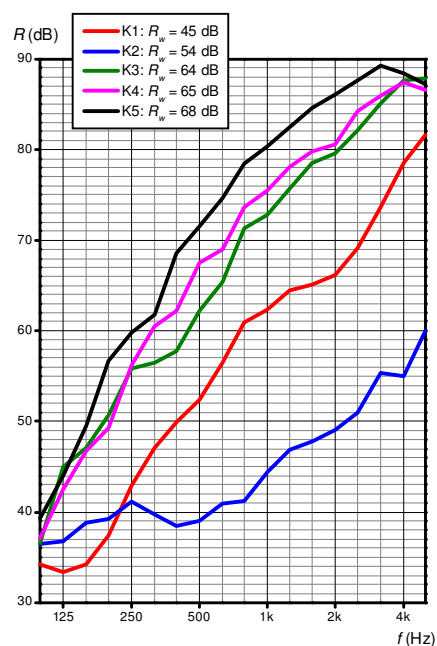
f (Hz)	Z1	Z2	Z3
100	43.2	47.1	43.2
125	47.3	48.2	51.6
160	52.7	52.6	53.4
200	55.4	56.0	60.8
250	56.6	62.7	63.4
315	59.0	65.7	67.3
400	61.0	67.1	68.8
500	61.0	67.4	70.5
630	62.8	71.9	73.7
800	62.3	72.5	76.3
1000	64.4	74.0	79.1
1250	65.5	72.8	80.6
1600	67.5	74.6	82.7
2000	67.8	75.2	85.5
2500	70.2	74.1	88.1
3150	72.4	73.9	89.2
4000	74.5	78.2	88.9
5000	75.8	81.9	87.1
R_w (dB)	64	70	72



Slika 6. Izmerene vrednosti zvučne izolacione moći prema slojevima u složenoj konstrukciji: Zid

TABELA II
IZMERENE VREDNOSTI ZVUČNE ISOLACIONE MOĆI PREMA SLOJEVIMA U
SLOŽENOJ KONSTRUKCiji: KROV

f (Hz)	K1	K2	K3	K4	K5
100	36.5	34.2	36.6	37.1	39.3
125	36.8	33.4	44.9	42.5	44
160	38.8	34.2	47.1	46.7	49.5
200	39.2	37.4	50.7	49.3	56.7
250	41.1	42.9	55.9	56.2	59.8
315	39.7	47.1	56.5	60.5	61.8
400	38.5	49.9	57.8	62.2	68.6
500	39	52.3	62.2	67.5	71.5
630	40.9	56.5	65.4	69	74.6
800	41.2	60.9	71.3	73.7	78.4
1000	44.4	62.3	72.8	75.5	80.3
1250	46.8	64.4	75.7	78.1	82.5
1600	47.8	65.1	78.6	79.8	84.6
2000	49.1	66.2	79.6	80.6	86.1
2500	51	69.1	82.2	84.3	87.7
3150	55.3	73.7	85.1	86	89.2
4000	55	78.6	87.6	87.4	88.4
5000	60	81.6	87.9	86.6	87.2
R_w (dB)	45	54	64	65	68



Slika 7. Izmerene vrednosti zvučne izolacione moći prema slojevima u složenoj konstrukciji: Krov

IV. KOMENTAR NA DOBIJENE REZULTATE ISPITIVANJA

S obzirom na to da je ispitivanje zvučne izolacije sprovedeno po fazama parcijalni rezultati ispitivanja pokazuju očekivani trend porasta merodavne vrednosti izolacione moći dodavanjem slojeva u konstrukciju.

Merenjem izolacione moći zida (Z) u prvoj fazi (Z1) dobijena je očekivana vrednost merodavne izolacione moći $R_w = 64$ dB.

Dodavanjem slojeva u drugoj fazi (Z2) dobijeno je poboljšanje merodavne izolacione moći od 6 dB ($R_w = 70$ dB). S obzirom na to da je dobijena visoka vrednost izolacione moći u prvoj fazi ovo poboljšanje je značajno jer ono pokazuje da se i dodavanjem lake konstrukcije (kamenja vuna i gips-kartonske ploče) na masivnu konstrukciju (beton) postiže da se vrednosti zvučne izolacije značajno povećaju što za posledicu ima da se, kada je u pitanju izolacija od vazdušnog zvuka, ne moraju izrađivati suviše debeli masivni zidovi koji zauzimaju znatne zapremine prostora već se isti efekat dobija izradom tanjeg masivnog zida i dodavanjem slojevite lake konstrukcije.

I na kraju, dodavanje sloja mineralne vune (velike gustine) u trećoj fazi (Z3) doprinelo je očekivanom malom porastu vrednosti merodavne izolacione moći od 2 dB ($R_w = 72$ dB) što pokazuje da dodavanje ove vrste sloja ne doprinosi mnogo povećanju merodavne (jednobrejne) vrednosti izolacione moći, ali kako se iz rezultata ispitivanja može videti doprinosi povećanju izolacione moći na visokom frekvencijama od čak 15 dB što za neke primene može biti od značaja.

Merenjem izolacione moći krova (K) u prvoj fazi (K1) dobijena je očekivana vrednost merodavne izolacione moći $R_w = 45$ dB. Ova vrednost je naravno daleko niža od vrednosti dobijene u prvoj fazi merenja zida (Z1) jer se debljine osnovnih konstrukcija, s obzirom na njihovu namenu, mnogo

razlikuju (osnovna konstrukcija Z1 je debljine 300 mm dok je osnovna konstrukcija K1 debljine 82 mm) te ih nije od interesa na ovom mestu upoređivati prema apsolutnim merodavnim vrednostima izolacionih moći.

Dodavanjem slojeva u drugoj fazi (K2) dobijeno je poboljšanje merodavne vrednosti izolacione moći od 9 dB ($R_w = 54$ dB) što je znatno bolje (i značajno veliko) poboljšanje merodavne vrednosti izolacione moći, jer je osnovna konstrukcija K1 tanja, a time i lakša od osnovne konstrukcije Z1, te je poboljšanje izolacione moći lakše ostvariti.

Dodavanjem slojeva u trećoj fazi (K3) dobijeno je poboljšanje izolacione moći od čak 10 dB ($R_w = 64$ dB) u odnosu na prethodnu fazu (K2) što je reda veličine poboljšanja izolacione moći u prethodnoj fazi u odnosu na osnovnu krovnu konstrukciju.

I na kraju, dodavanjem slojeva u četvrtoj (K4) fazi instalacije krovne konstrukcije (dodavanje kondora i trapeznog lima) dobija se očekivano neznatno poboljšanje merodavne vrednosti izolacione moći od 1 dB, dok dodavanje još i sloja mineralne vune (velike gustine) u petoj fazi (K5) doprinosi poboljšanju merodavne izolacione moći za još 3 dB što je reda veličine poboljšanja i u slučaju zidne konstrukcije (Z3) uzimajući u obzir i mernu nesigurnost merenja [7].

V. ZAKLJUČAK

Na osnovu parcijalnih ispitivanja, pored toga što je u poslednjim fazama ispitivanja za obe konstrukcije od interesa (i zid i krov) potvrđena projektovana zvučna izolacija, konstatovano je i da su najveća poboljšanja u oba slučaja u složenoj konstrukciji postignuta dodavanjem lakih slojeva na osnovnu betonsku konstrukciju što eliminiše potrebu korišćenja debelih masivnih konstrukcija kada je doprinos zvučnoj izolaciji od interesa, a što može biti smernica ka optimizaciji masivnih konstrukcija i u drugim granama građevinarstva i inženjerstva.

ZAHVALNICA

Rad je nastao u vreme trajanja ugovora između Instituta

IMS i Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija (evidenioni broj ugovora: 451-03-47/2023-02/200012).

LITERATURA

- [1] SRPS EN ISO 10140-1:2017, Akustika – Laboratorijska merenja zvučne izolacije građevinskih elemenata – Deo 1: Pravila primene za određene proizvode
- [2] SRPS EN ISO 10140-2:2013, Akustika – Laboratorijska merenja zvučne izolacije građevinskih elemenata – Deo 2: Merenje izolacije od vazdušnog zvuka
- [3] SRPS EN ISO 10140-4:2013, Akustika – Laboratorijska merenja zvučne izolacije građevinskih elemenata – Deo 4: Procedure merenja i zahtevi
- [4] SRPS EN ISO 10140-5:2013, Akustika – Laboratorijska merenja zvučne izolacije građevinskih elemenata – Deo 5: Zahtevi za ispitne prostore i ispitnu opremu
- [5] SRPS EN ISO 3382-2:2010, Akustika – Merenje akustičkih parametara u prostoriji – Deo 2: Vreme reverberacije u običnim prostorijama
- [6] SRPS EN ISO 717-1:2015, Akustika – Utvrđivanje zvučne izolacije u zgradama i zvučne izolacije građevinskih elemenata – Deo 1: Izolacija od vazdušnog zvuka
- [7] SRPS EN ISO 12999-1:2016, Akustika – Određivanje i primena merne nesigurnosti u građevinskoj akustici – Deo 1: Zvučna izolacija

ABSTRACT

For the purposes of building a special purpose building, partitions (wall and roof) with high sound insulation were designed, the authoritative values of the insulating power had to be confirmed by testing. The tests were conducted under laboratory conditions in the Laboratory for Acoustics and Vibrations of the IMS Institute. The tests were carried out in series during the installation of each of the partitions in order to monitor the relevant values of the insulation power in the different stages of the installation, all with the aim of seeing how much the addition of different layers to the basic (concrete) construction of the partition contributes to sound insulation.

CONTRIBUTION OF LAYERS IN COMPLEX CONSTRUCTIONS TO SOUND INSULATION

Aleksandar Milenkovic, Danica Boljevic