

MERENJE I ANALIZA POZADINSKE BUKE I IZOLACIONE MOĆI PREGRADA U PROSTORIJAMA NT PARKA U NOVOM SADU

Vlado Delić¹, Milan Sečujski², Nikša Jakovljević³, Željko Trpovski⁴,
Siniša Suzić⁵, Nina Maljković⁶, Aleksandra Haška⁷

^{1,2,3,4,5,6,7}Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Srbija

¹vlado.delic@uns.ac.rs, ²secujski@uns.ac.rs, ³jakovnik@uns.ac.rs, ⁴zeljen@uns.ac.rs,

⁵sinisa.suzic@uns.ac.rs, ⁶maljkovic.nina@uns.ac.rs, ⁷aleksandra.haska@uns.ac.rs

Kratak sadržaj: U radu su predstavljene rezultati prvih akustičkih merenja nakon izgradnje zgrade NTP. Izvršeno je merenje osnovne tj. pozadinske buke i to pre useljavanja ljudi i stavljanja u pogon brojnih uređaja koji će funkcionisati u tom prostoru. Takođe je proučen glavni arhitektonski projekat i posebno njegov deo koji se odnosi na proračun zvučne zaštite. Sagledane su projektovane vrednosti zvučne izolacije u skladu sa standardima i pravilnicima akustike u građevinarstvu, izvršena su merenja i proverena zvučna zaštita zgrade u izvedenom stanju. Merenja i analize buke u ovom radu će poslužiti za dalje praćenje povećanja nivoa buke u prostorijama koje će uslediti sa početkom korišćenja zgrade. U toku merenja bile su u pogonu osnovne instalacije, uključujući grejanje iz centralnog sistema (klima-uređaja), koji su u većini prostorija ometali merenje izolacione moći prozora, vrata i pregradnih zidova. Ipak, izmereno je preslušavanje između susednih prostorija, a posebno između laboratorija, kabineta i hodnika. Merenje je izvršeno fonometrom klase 1, a rezultati merenja detaljno su analizirani u skladu sa standardima za dozvoljeni nivo buke u dB(A) koji su propisani za prostorije za vaspitno-obrazovni rad (učionice, slušaonice, kabineti i sl.) i interpretirani u smislu kvaliteta akustičkog ambijenta, koji je kao i vizuelni ambijent staklenih pregradnih zidova bio izazovan i interesantan za analizu. Rad sadrži rezultate preko 300 merenja, njihovu analizu i interpretaciju, kao i nekoliko korisnih saveta kako se sitnim intervencijama problem buke i preslušavanja može svesti u još prihvatljivije okvire.

Ključne reči: Buka, pozadinska buka, merenje i analiza buke, izolaciona moć pregrada, NTP u Novom Sadu

MEASUREMENTS AND ANALYSIS OF BACKGROUND NOISE AND SOUND INSULATION OF BARRIERS IN THE INTERIOR OF ST PARK IN NOVI SAD

Abstract: In this paper we present the results of first acoustic measurements performed after the building of the ST Park had been finished. The measurements of basic i.e. background noise have been performed before staff moves in and any of the machines in the building's interior start working. The main architectural project is well studied, especially the parts regarding the calculations of acoustic insulation. The projected values of sound insulation were examined in accordance with the standards and policies of building acoustics, and measurements and control of sound insulation after the construction had been finished were performed. The results presented in the paper will serve as a basis for monitoring the increase in noise levels when the building becomes fully functional. During the measurements only basic installations were functioning, including the central air-conditioning system, which interfered with measurements of the sound insulation power of windows, doors and partition walls in many rooms. However, the sound insulation power between neighboring rooms, and especially between laboratories, cabinets and hall, was measured. The measurement was performed with a Class 1 sound-meter, and the results were thoroughly analyzed in accordance with noise levels in dB(A) allowed for rooms used for education purposes (classrooms, auditoria, cabinets etc.). The obtained results were interpreted in accordance to acoustic comfort, which, just as the visual ambient created by glass partition walls, was interesting and challenging for analysis. The paper contains the results of over 300 measurements, their analysis and interpretation, as well as some useful tips on how to reduce noise problems through small interventions.

Key Words: Noise, background noise, noise measurement and analysis, sound insulation power, STP Novi Sad

1. UVOD

U radu [1] predstavljen je raspored laboratorija, nastavničkih kabineta, grupnih kancelarija i drugih prostorija naučnog dela Naučno-tehnološkog parka (NTP) Univerziteta u Novom Sadu (UNS). Po planu NTP projekta u naučni deo NT parka useljavaju se dva departmana koji predstavljaju odsek za elektrotehniku i računarstvo na Fakultetu tehničkih nauka (FTN) sa ciljem da se uspostavi sinergija dela naučnog parka (NP) i tehnološkog parka (TP) kao misije NT parka. Predviđeno je da se u TP deo usele IT kompanije u narednom periodu u skladu sa projektom [2].

U celom projektu posebno su interesantni atrijumi kao neobično dizajnirana mala dvorišta, kao i njihova svrha. U radu [1] utvrđeno je da, pored toga što obezbeđuju dnevnu svetlost i prirodno provetrevanje, tako projektovani atrijumi izoluju okolne laboratorije i druge prostorije od buke obližnjih saobraćajnica. To je potvrđeno i akustičkim merenjima, koja su detaljnije predstavljena u ovom radu. Pored toga, predstavljeni su standardi za zvučnu izolaciju

pregradnih zidova i tavanica kako su i projektovane u [2] i [3], a u ovom radu su izvršena merenja preslušavanja između laboratorija i soba za laborante koje su razdvojene staklenim vratima i staklenim zidom, kao i između hodnika i nastavničkih kabineta sa staklenim vratima i sl, a sve sa zvučnom pobudom kakva se očekuje u NTP – predavanja profesora u laboratorijama, telefoniranje u kancelarijama ili razgovor grupa sagovornika po hodnicima i u atrijumima.

U radu [1] dati su stilizovani tj, uprošćeni prikazi poprečnog preseka prizemlja, prvog i drugog sprata. Drugi sprat je identičan kao treći. Četvrti sprat ima određene segmente koji odgovaraju prvom spratu (sedište drugog departmana), kao i neke koji odgovaraju drugom i trećem spratu (uži hodnik ispred kabineta u nizu, sa otvorom ka svetlarniku na 4. spratu, kao i paralelni hodnik pored malog atrijuma sa bibliotekom i manjom salom za sastanke). Ove slike jasno izdvajaju prostorije od interesa za istraživanja i merenja prikazane u ovom radu: laboratorije, nastavnički kabineti u nizu, TP_kancelarije-kabineti i grupne kancelarije-računarske učionice, kao i atrijumi, hodnici i sl. Zelenom bojom prikazane su staklene površine pregrada (stakleni zidovi, staklena vrata i prozori) dok su crnom bojom prikazani pregradni elementi – zidovi i vrata koji nisu od stakla. Detaljniji opis projektovanog prostora naučnog dela NT parka i odgovarajuće slike dati su u radu [1], a detaljniji prikaz rezultata merenja buke dat je u tabelama u nastavku ovog rada.

2. MERENJE I ANALIZA POZADINSKE BUKE U PROSTORIJAMA NT PARKA

Standard za akustiku u građevinarstvu tj. tehnički uslovi za projektovanje i građenje zgrada [4, p.8] propisuje najviši dozvoljeni nivo buke u boravišnim prostorijama zavisno od namene prostorija, a koji potiče od nestacionarnih izvora buke izvan zgrade (saobraćaja i sl.) kao i iz pogonskih prostorija i instalacija u zgradi. Najviši dozvoljeni ekvivalentni nivo buke L_{eq} izražen u dB(A) (meren 15 minuta) za grupu prostorija C koja obuhvata škole, fakultete, biblioteke i sl. konkretno, za podgrupu prostorija C.2 „kabineti na fakultetima“ iznosi 35 dB(A), a za sve ostale podgrupe u grupi C „amfiteatri i učionice“, „kabineti u školama“, „čitaonice i biblioteke“ najviši dozvoljeni nivo je 40 dB(A). Standard još predviđa izvesnu korekciju izmerene vrednosti u praznoj prostoriji spram ekvivalentne apsorpcione površine prostorije i tek se ona poredi sa propisanim najvišim dozvoljenim nivoima [4, p.9], ali to nije primenjeno u ovom radu, pa su vrednosti pozadinske buke u ovom radu ocenjene na sledeći način:

- ❖ Unutrašnja buka u kabinetima kao i u laboratorijama i učionicama, pa i u grupnim kancelarijama za asistente:
 - buka ispod **40dB(A)** ocenjuje se kao sasvim prihvatljiva i obeležena je zelenom bojom u tabelama,
 - buka 40-50dB(A) ocenjena je kao prihvatljiva uz prisustvo buke centralnog klima-uređaja i označena je crnom bojom,
 - ukupna pozadinska buka preko **50dB(A)** ocenjena je kao neprihvatljiva i označena crvenom bojom čemu po pravilu veliki doprinos daje neprihvatljivo velika buka od nestacionarnih izvora izvan objekta, konkretno buka obližnjih prometnih saobraćajnica.
- ❖ Spoljašnja buka merena na 0,5 m ispred otvorenog prozora,
 - kada je ispod **55 dB(A)** ocenjena je kao sasvim prihvatljiva i obeležena zelenom bojom,
 - u rasponu 55-60 dB(A) je prihvatljiva i označena crnom bojom,
 - spoljna buka od **60-65 dB(A)** ocenjuje se kao već alarmanтна i označena je crvenom bojom kao donekle prihvatljiva jer se još uvek može svesti na ispod 40 dB(A) pomoću izolacione moći prozora i staklenih zidova,
 - spoljna buka od preko **65 dB(A)** ocenjena je kao neprihvatljiva i označena boldovanom crvenom bojom jer po pravilu takva spoljašnja buka ispred prozora dovodi do neprihvatljivo visokog nivoa buke u prostorijama, znatno preko 40 dB(A), što uz unutrašnju buku klima-uređaja često stvara zbirni nivo preko 50 dB(A), a to svakako nije prihvatljivo za kabinete na fakultetima niti za učionice i laboratorije namenjene za vaspitno-obrazovnu i naučno-istraživačku delatnost.

U ovom radu prvo izvršeno je merenje „nulte-početne“ pozadinske buke (osnovne buke) u novoj zgradi NTP – dok još nije useljena i u punom pogonu, ali se već testiraju postrojenja i instalacije uključujući osvetljenje i grejanje. Merenje je izvršeno u laboratorijama, nastavničkim kabinetima, grupnim kancelarijama i drugim prostorijama NT parka. Za merenje je korišćen profesionalni fonometar kompanije Rion iz Japana, [5]. To je merni uređaj klase 1, sa oznakom NA-29E, koji može da meri nivo zvuka po standardima IEC 651 Type 1, JIS C 1505, sa dinamičkim opsegom 25-130 dB(A) i frekvencijskim opsegom 20-12.500Hz. Uređaj za merenja koristi elektret kondenzatorski mikrofonski UC-53 sa pretpojačalom. Fonometar ima ugrađen i oscilator signala sinusnog talasnog oblika na 1.000 Hz koji se koristi za električnu kalibraciju na 94,0 dB. U toku merenja se bira radni opseg od 50 dB – npr. 30-80 ili 90-140 dB – zavisno od očekivanog dinamičkog opsega zvučnog signala. Analizatorska sekcija fonometra NA-29E podržava IEC 225 standard sa 9 oktava sa centralnim frekvencijama u rasponu od 31,5 do 8.000 Hz i rezolucijom 0,1 dB.

Rezultati merenja pozadinske tj. osnovne buke u ovom radu prikazani su tabelarno po prostorijama i spratovima, a mogu se videti horizontalno raspoređeni na uprošćenim prikazima poprečnog preseka prizemlja, 1. i 2. sprata NTP u radu [1].

Analiza rezultata merenja pozadinske buke detaljno je urađena u radu [1], pa će fokus u nastavku ovog rada biti na analizi zvučne izolacije pregradnih zidova, međuspratnih konstrukcija, a posebno prozora i vrata, kao i staklenih vrata i staklenih zidova između pojedinih prostorija, kojih ima neuobičajeno mnogo za jedan obrazovno-vaspitni i naučno-istraživački kompleks prostorija – to je posledica iznuđene promene plana podele zgrade na naučni (NP) i tehnološki (TP) deo NT parka (detaljno objašnjenje dato je u radu [1]).

Tabela 1 – Buka na 0,5m ispred i 1,5m iza prozora u prostorijama po rubu NT parka

Pozadinska (osnovna) buka: dB(A) - unutra 1,5 m od prozora: -40 -50 -55 -60- - napolju 0,5 m od prozora: -55 -60 -65 -70-	1. sprat (unutra/napolju)	2. sprat (unutra/napolju)	3. sprat (unutra/napolju)	4. sprat (unutra/napolju)
Kabineti u nizu (16-29):				
• Kabinet 17 (15 m ²) (sl. u kab. 16-19)	39,9 / 54,4	45,5 / 58,6	44,0 / 56,3	45,0 / 55,5
• Kabinet 21 (15 m ²) (sl. u kab. 20-24)	37,7 / 55,8	42,1 / 57,5	43,4 / 56,8	45,0 / 58,0
• Kabinet 27 (15 m ²) (sl. u kab. 25-28)	48,0 / 62,9	36,9 / 61,3	38,2 / 61,6	x
• Kabinet 29 „dir. Departmana“ (30 m ²) 1. i 4. (na 2. i 3. spratu „Klub nastavnika“ (44 m ²))	58,7 / 62,5	54,5 / 61,3	52,5 / 62,2 40,6 / 62,2	51,0 / 61,4
Kancelarije-grupni kabineti:			31,5 u sobi*	
• I grupna kancelarija 1	46,8 / 66,0	x	44,3 / 66,8	x
• I grupna kancelarija 2	52,2 / 66,6	50,5 / 67,1	46,8 / 65,4	46,1 / 66,0
TP kancelarije:				
• TP kancelarija za sastanke 4 (21 m ²)	45,6 / 64,3	47,1 / 66,1	41,1 / 64,1	41,8 / 64,3
• TP kancelarija 8 (23 m ²)	46,9 / 63,6	39,5 / 65,9	43,5 / 65,6	44,2 / 65,7
• TP kancelar. 11 (14 m ²) (sl. u kanc. 9-12)	42,9 / (41,9)	35,1 / x	33,3 / x	39,4 / 42,8

Tabela 2 – Buka na 0,5m ispred i 1,5m iza prozora u laboratorijama i većim prostorijama u unutrašnjosti NTP

Pozadinska (osnovna) buka: dB(A) - unutra 1,5 m od prozora: -40 -50 -55 -60- - napolju 0,5 m od prozora: -55 -60 -65 -70-	Prizemlje (unut./napo.)	1. sprat (unut./napo.)	2. sprat (unut./napo.)	3. sprat (unut./napo.)	4. sprat (unut./napo.)
Laboratorije i sobe laboranata:					
• LAB.7 teška oprema (84 m ²)	x	-	-	-	-
• LAB.8 teška oprema (100 m ²) sa klimom	49,4 / 61,2	-	-	-	-
• LAB.9 teška oprema (80 m ²) sa klimom	51,3 / 63,4	-	-	-	-
• Pomoćna - magacin (26 m ²)	32,5 ²	-	-	-	-
• Laboratorija Lab.104 (50 m ²) bez klimom	-	29,9 / 43,9	30,0 / 39,6	28,4 / 39,3	30,9 / 42,9
• Laboratorija Lab.109 (42 m ²) sa klimom	-	42,5 / 42,2	x	x	40,5 / 43,3
• Laboratorija Lab.110 (43 m ²) sa klimom	-	42,8 / 41,9	x	48,3 / 46,1	47,0 / 42,8
• Soba laboranta Lab.110+ (15m ²) bez klimom	-	36,8			
Prostorije u unutrašnjosti:					
• Mali amfiteatar (za 80 osoba)	52,9	-	-	-	-
• Kabineti 29 i 30 (po 39 m ²)	-	48,0 / 41,9	-	-	-
• Biblioteka (32 m ²)	-	-	37,0 / 43	36,2 / 50	38,1 / 46

²Prostorija pogodna za „gluvu sobu“ i zvučni studio.

Tabela 3 – Buka u hodnicima pored laboratorija, grupnih kancelarija i kabineta NT parka

Pozadinska buka u dB(A) Hodnici pored laboratorija i kabineta	Prizemlje	1. sprat	2. sprat	3. sprat	4. sprat
• Atrijum Atr.2 (258 m ²), mereno iz Lab.104, 204, 304, 404	x	43,9	39,6	39,3	42,9
• Atrijum Atr.1 (169 m ²), mereno iz Lab.110, 208, 310, 410	x	41,9	46,9	45,8	42,8
• Tunel pored LAB.8 teška	x	-	-	-	-
• Hodnik ispred Kabineta 20 (iza biblioteke)	-	41,9	41,7	51,5	43,9
• Hodnik ispred Biblioteke	-	-	43,0	49,1	48,0
• Hodnik ispred Grupnih kancelarija 1 i 2	-	39,1	40,3	39,0	43,0
• Hodnik ispred TP kancelarija	-	43,0	50,4	37,8	52,7

3. MERENJE ZVUČNE IZOLACIJE PROZORA, VRATA I ZIDOVA U NT PARKU

3.1 Standardi zvučne izolacije

U vreme projektovanja NT parka, a na osnovu namene objekta (poslovni objekat) u [2] i [3] definisani su zahtevi u pogledu zvučne zaštite u skladu sa Pravilnikom 50-1253/1 [6], JUS U.J6.201, JUS U.J6.153, odnosno danas srpskim standardom SRPS U.J6.201:1990 (Tehnički uslovi za projektovanje i građenje zgrada, [4]) i SRPS U.J6.153:1989 (Metode za izražavanje zvučne izolacije jednim brojem, [7]) koji je u međuvremenu povučen. Standard JUS U.J6.201:1990 nastao je revizijom istog standarda iz 1982. godine – citat iz [4]: „Ovim standardom se utvrđuju tehnički uslovi koji se moraju zadovoljiti: a) pri projektovanju, b) pri građenju ili rekonstrukciji, c) kod ispitivanja zvučne zaštite pri prijemu zgrada namenjenih boravku ljudi. Odredbe ovog standarda primenjuju se i na rekonstruisane delove zgrade, kao i na prostorije kojima je namena promenjena.“

U projektu NT parka [2] i [3] usvojeni su konkretni zahtevi zvučne zaštite u pogledu vazdušne vodljivosti zvuka R_w [dB] i nivoa zvuka udara L_w [dB] koji se odnosi na tavanice (kompletne međuspratne konstrukcije), u skladu sa aktuelnim standardima za akustiku u građevinarstvu propisanim za grupu B koja obuhvata poslovne zgrade [4, p.3] i grupu F koja obuhvata škole, fakultete i sl. [4, p.5] – kao što je prikazano u tabeli 4.

Tabela 4 – Usvojeni zahtevi u pogledu zvučne zaštite u NT parku [3, p.182]
(minimalne vrednosti zvučne izolacije R_w [dB] i maksimalne vrednosti nivoa zvuka udara L_w [dB])

	Vrsta konstrukcija	R_w	L_w
1	Zid između kancelarija istog korskina (B.2 – zid bez vrata između prostorije za intelektualni rad i prostorija za sastanke prema prostorijama za drugu namenu istog korisnika)	44	
2	Zid prema drugom korisniku (F.1 - zid bez vrata: između učionica ili između laboratorija, između kabineta)	52	
3	Zid prema bučnim prostorijama (F.4 – zid prema bučnoj pogonskoj prostoriji)	57	
4	Tavanica između kancelarija (T.10 – sve ostale tavanice)	52	68
5	Tavanica ispod prema prostorijama druge namene (F.7 – tavanica prema donjoj bučnoj pogonskoj prostoriji) ^{Napomena 4.7}	57	68

Napomena 4.7 iz [4] – citat: „U vrlo bučnim prostorijama moraju se predvideti posebne mere zvučne zaštite pomoću kojih će se buka u ugroženim prostorijama svesti na dozvoljeni nivo.“

Po mišljenju autora ovog rada umesto standarda F.7 trebalo je koristiti standard F.6 za tavanice između učionice ili kabineta i dvorane za opštetehtničko, muzičko i sl. vaspitanje, koji zahteva zvučnu izolaciju R_w od minimalno 60 dB, tj. trebalo je toliko predvideti između teških laboratorija LAB.8 i LAB.9 u prizemlju i 4 grupne kancelarije za asistente na 1. spratu iznad tih teških laboratorija jer će se u LAB.8 i LAB.9 odvijati laboratorijske vežbe sa bučnim električnim mašinama i elektroenergetskim pretvaračima. „Kancelarije asistentata su već ugrožene pozicijom do frontalnog staklenog zida neposredno uz bučnu saobraćajnicu. Međutim, ukoliko se u eksploataciji zgrade pokaže da buka iz teških laboratorija LAB.8 i LAB.9 dodatno ometa obrazovne i naučno-istraživačke aktivnosti u grupnim kancelarijama asistentata, problem je moguće rešiti spuštanjem plafona u teškim laboratorijama i dodavanjem sloja za akustičku izolaciju.“

U skladu sa standardom JUS U.J6.201, koji je korišćen pri projektovanju zgrade i danas važećim SRPS U.J6.201:1990 standardom [4], na projektu je zahtevana odgovarajuća vrednost zvučne izolacije svih prozora i vrata. Ona se po standardu izražava kroz izolacionu moć koja se prikazuje po tercama u opsegu frekvencija od 100 do 3.150 Hz, a za izražavanje zvučne izolacije prozora ili vrata jednim brojem koristi se ponderisana zvučna izolacija R_w .

Tabela 5 – Standardne klase zvučne izolacije prozora i vrata [4, p.7]
(minimalne vrednosti zvučne izolacije R_w [dB])

Klasa	Vrata	Prozori i balkonska vrata
specijalna	35 dB i više	40 dB i više
I klasa	30 do 34 dB	35 do 39 dB
II klasa	25 do 29 dB	30 do 34 dB
III klasa	20 do 24 dB	25 do 29 dB
IV klasa		20 do 24 dB

Napomena: Ulazna vrata treba da budu klase I.

Za različite tipove prozora i vrata na projektu NT parka zahtevani su atesti kao dokazi o akustičkim svojstvima i zvučnoj izolaciji. Izvršen je proračun zvučne zaštite [3], za koji se očekuje da bude potvrđen merenjima na izgrađenom objektu ukoliko su svi građevinski radovi izvedeni kvalitetno i u skladu sa tehničkim uslovima. Pri proračunu izolacije od buke R_w koja dolazi vazdušnim putem korišćen je akustički zakon mase kako pri proračunu zvučne izolacije zidova tako i međuspratne konstrukcije. Rezultati proračuna i projektni zahtevi za zvučnu izolaciju zidova [3] su, zavisno od vrste pregradnih zidova između različitih vrsta prostorija, na nivou od oko 50dB – to nije bilo moguće izmeriti opremom kojom smo raspolagali u trenutku merenja. Pošto se zvučna izolacija zidova i tavanica (međuspratnih konstrukcija) neće menjati sa useljnjem zgrade ove vrednosti mogu se naknadno izmeriti i analizirati da li i koliko odstupa od projektovanih vrednosti u izvedenom stanju. Isto važi i za nivo zvuka udara preko međuspratne konstrukcije, pa će se i ona naknadno proveriti merenjem. U ovom radu u tabeli 4 date su samo projektovane vrednosti.

3.2 Merenje preslušavanja između nekih prostorija u NT parku

Zbog specifičnih zahteva u pogledu merne opreme za merenje zvučne izolacije teških zidova i međuspratnih konstrukcija, u ovom radu smo se ograničili na merenje tzv. preslušavanja između susednih prostorija unutar zgrade koje su međusobno razdvojene staklenim zidovima i staklenim vratima. Takvih prostorija ima upadljivo mnogo između laboratorija i odgovarajućih soba za laborante, kao i između pojedinih prostorija u grupnim kancelarijama. Zato se pored neuobičajeno velikog vizuelnog kontakta prosto nameće i pitanje izolacione moći tih staklenih pregradnih zidova i staklenih vrata. Staklena vrata postoje i između nastavničkih kabineta u nizu i hodnika, kao i između biblioteke i hodnika, amfiteatra i atrijuma – u radu [1] na slikama 1-3 stakleni zidovi su prikazani zelenom bojom, a ostali crnom. Pri merenju preslušavanja između prostorija razdvojenih staklenim vratima i/ili staklenim zidovima, odlučili smo se za realnu zvučnu pobudu u vidu glasa govornika koji na primer:

- kao predavač priča u laboratoriji pa utiče na nivo zvuka u sobi za laborante, ili
- kao laborant razgovara ili npr. telefonira u sobi za laborante i time ometa nastavu u laboratoriji, ili
- kao prolaznik hodnikom ispred staklenih vrata nečijeg nastavničkog kabineta govori i time stvara buku tj. neželjeni zvuk u kabinetu.

Druga vrsta realne zvučne pobude-izvora buke (neželjenog zvuka) snimljena je u vidu razgovora nekoliko grupa od po nekoliko ljudi, što je situacija koja će se često dešavati:

- na hodnicima ispred staklenih vrata nastavničkih kabineta, kao i
- u atrijumima, gde će se studenti i drugi okupljati na pauzama.

Da bismo imali ponovljivost merenja preslušavanja između pomenutih prostorija u NTP, prvi autor ovog rada je na mobilni telefon snimio svoje kratko obraćanje timu sa kojim je krenuo na prvo snimanje buke u NTP – što odgovara realnoj situaciji u toku predavanja (pobuda „govornik“). Ranije je u fazi osmišljavanja i pripreme za ova merenja snimio i glasove dve grupe sagovornika u kafetu koje su sedele za susednim stolovima na oko 1.5 metar od telefona koji ih je snimao. Snimljeni fajlovi su u toku merenja preslušavanja emitovano preko Bluetooth zvučnika kao pobuda „razgovor“, pa je čak simulirano i kretanje osoba koje razgovaraju ispred vrata nastavničkih kabineta. Rezultati merenja preslušavanja između određenih prostorija u NTP u slučaju pobuda „govornik“ i „razgovor“ dati su u tabeli 6 u nastavku. Sve rezultati u tabeli predstavljaju ekvivalentne nivoe buke u izražene u dB(A).

Preslušavanje kroz staklene zidove, vrata i prozore meri se kao razlika nivoa zvuka sa dve strane te pregrade. Izmerena razlika nivoa predstavljala bi izolacionu moć tj. zvučnu izolaciju pregrade samo ukoliko je nivo zvuka u prijemnoj prostoriji dominantno posledica zvučne pobude u predajnoj prostoriji, odnosno uz pretpostavku da se svi ostali zvuci u prijemnoj prostoriji mogu zanemariti. Po preporukama za merenje izolacione moći pregrada datim u uputstvu za fonometar s kojim je vršeno merenje [5] pretpostavlja se da je u pobudnoj prostoriji homogeno difuzno zvučno polje, odnosno da je površina pregrade (zid, vrata ili prozor) ravnomerno izložena zvučnom pritisku – zato smo položaj zvučnika kao zvučnog izvora postavljali po odgovarajućim preporukama u ugao pobudne prostorije, odakle se zvuk najbrže rasprši u raznim pravcima i u takvim uslovima se postigne najpribližnije homogeno difuzno zvučno polje. U prijemnoj prostoriji se merenje nivoa zvuka vršilo na udaljenosti od 1,5 m od pregrade (npr. prozora) mikrofonom usmerenim ka pregradi (staklenim vratima, prozoru ili ka pregradnom zidu u slučaju pokušaja merenja izolacione moći pregradnog zida između susednih kabineta u nizu. Uz navedene pretpostavke i ispoštovana pravila postavljanja zvučnog izvora (da stvori homogeno polje) i mikrofona (1,5 m od vrata/prozora), razlika izmerenih nivoa daje predstavu o izolacionoj moći te pregrade. Rezultati su prikazani u tabeli 6.

Tabela 6 – Preslušavanje kroz pregrade između kabineta, hodnika i laboratorija u NTP

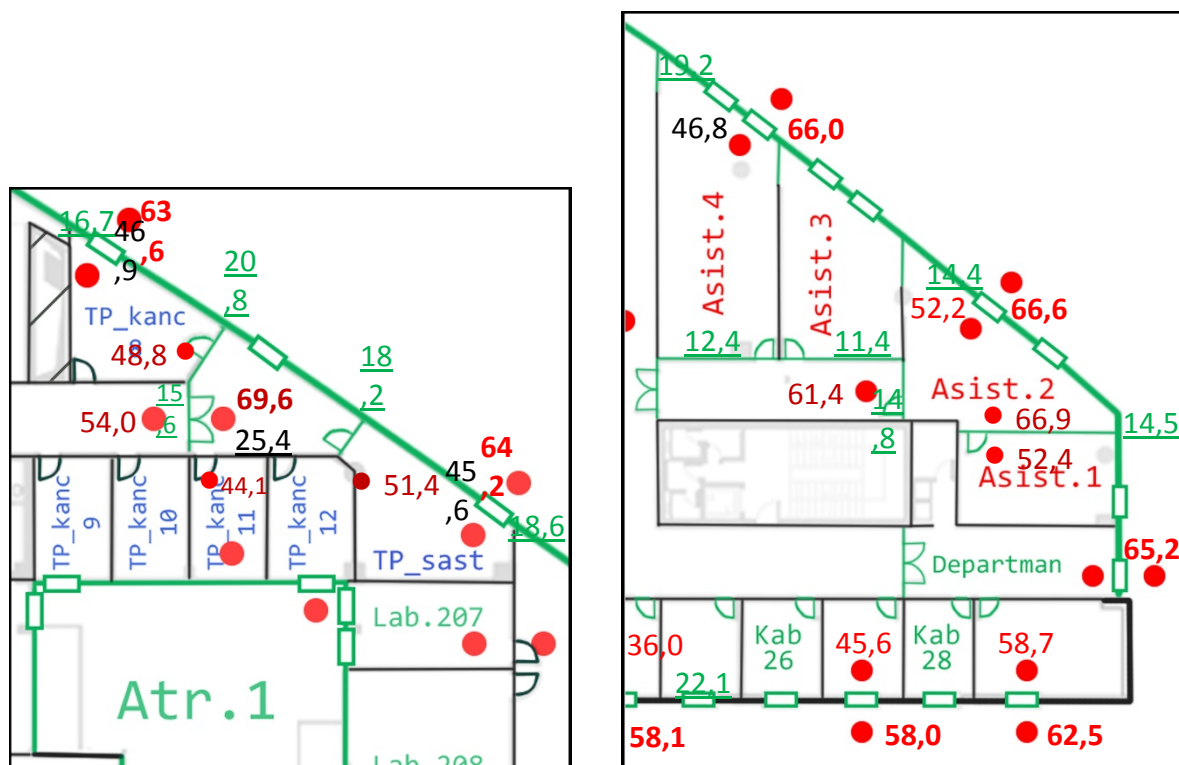
A = Ekvivalentni nivo zvuka u **predajnoj** prostoriji (nakon uključivanja zvučnika - ljudskog glasa)

B = Ekvivalentni nivo zvuka u **prijemnoj** prostoriji nakon uključivanja zvučnika u predajnoj prostoriji

A2 - B2 = Nivo zvučne zaštite tj. slabljenje nivoa zvuka pri prolasku kroz pregradu ($\leq$ od izolacione moći)

Pregrade	A	B	A - B
Prozor kabineta 24/1 (bez buke od klima-uređaja)	58,1/saobraćaj	36,0	22,1
Prozor kabineta 27/1 (sa bukom od klima-uređaja)	58,0/ saobraćaj	45,6	12,4
Staklena vrata kabineta u nizu 18/1 (sa bukom od klima-uređaja)	62,9/razgovor	47,1	15,8
Staklena vrata kabineta 225/2 (bez buke od klima-uređaja)	68,1/razgovor	47,9	20,2
Staklena vrata i stakleni zid (bez buke klima-uređaja) između laboratorije 204 i sobe laboranta 204+	70,7/govor 204+	50,6 204	20,1/g
Staklena vrata i stakleni zid (bez buke klima-uređaja) (sa boljim zvučnikom-punijim zvukom) između laboratorije 204 i sobe laboranta 204+	70,7/govor 204+	50,6 204	20,1/g isto
Staklena vrata i stakleni zid (bez buke klima-uređaja) između laboratorije 204 i sobe laboranta 204+	72,0/razgovor 204+	51,4 204	20,6/ć
Staklena vrata i stakleni zid (bez buke klima-uređaja) (sa boljim zvučnikom-punijim zvukom) između laboratorije 204 i sobe laboranta 204+	71,1/ razgovor 204+	51,4 204	19,7/ć manje na NF
Staklena vrata i stakleni zid (sa bukom od klima-uređaja) između laboratorije 110 i sobe laboranta 110+	67,9/govor 110+	47,7 110	20,2
Staklena vrata i stakleni zid između grupnih kanc. asistenata 1 i 2	66,9/govor as.2	52,4 as.1	14,5
Staklena vrata i stakleni zid između grupne kanc. asistenata 2 i hodnika	61,4/govor hodnik	46,6 as.2	14,8
Staklena vrata i stakleni zid između grupne kanc. asistenata 3 i hodnika	61,4/govor hodnik	50,0 as.3	11,4 +grej.
Staklena vrata i stakleni zid između grupne kanc. asistenata 4 i hodnika	61,4/govor hodnik	49,0 as.4	12,4 +grej.
Staklena dupla vrata i stakleni zid između TP zajednički prostor i dolaznog hodnika (2. sprat)	67,0/govor TP zajed	52,1 hodnik	14,9 otvor dole
Staklena vrata i stakleni zid (punija pobuda) između TP kancelarije za sastanke i TP zajednički prostor (2. sprat)	69,6/govor TP zajed	51,4 TPsas	18,2
Staklena vrata i stakleni zid između TP kancelarije za sastanke i TP zajednički prostor (2. sprat)	67,0/govor TP zajed	49,2 TPsas	17,8
Staklena vrata i stakleni zid između TP kancelarije za sastanke i TP zajednički prostor (4. sprat)	65,7/govor TP zajed	48,9 TPsas	16,8
Staklena vrata i stakleni zid (punija pobuda) između TP kancelarije 8 i TP zajednički prostor (2. sprat)	69,6/govor TP zajed	48,8 TP8	20,8
Staklena vrata i stakleni zid između TP kancelarije 8 i TP zajednički prostor (2. sprat)	67,0/govor TP zajed	48,5 TP8	18,5
Staklena vrata i stakleni zid između TP kancelarije 8 i TP zajednički prostor (4. sprat)	65,7/govor TP zajed	47,0 TP 8	18,7
Nestaklena vrata i zid (punija pobuda) između TP kancelarije 12 i TP zajednički prostor (2. sprat)	69,6/govor TP zajed	44,1 TP 12/2	25,4
Nestaklena vrata i zid između TP kancelarije 12 i TP zajednički prostor (2. sprat)	67,0/govor TP zajed	41,8 TP 11/2	25,2
Nestaklena vrata i zid između TP kancelarije 12 i TP zajednički prostor (4. sprat)	65,7/govor TP zajed	42,8 TP 11/4	22,9
Nestaklena vrata i zid između sobe laboranta 110+ i hodnika	67,9/govor 110+	41,7 hodnik	26,2

Na osnovu podataka o merenjima u tabeli 6, staklene površine (prozori, vrata i zidovi) smanjuju buku u vidu ljudskog glasa za oko 20 dB, a nestaklena vrata za bar 25 dB. U nekim slučajevima izmerena je manja vrednost, uglavnom kada je bila različita buka od grejanja (centralnog klima-uređaja) sa jedne i druge strane pregrade, a primećeno je da ispod nekih staklenih vrata postoji i prorez od nekoliko cm kroz koji prolazi nekoliko dB buke, što se može rešiti postavljanjem četkice ili gume ispod vrata.



Slika 1. Preslušavanje (dB) između prostorija u NT parku
(TP_kancelarije, grupne kancelarije asistenata i kabineti nastavnika)

Razlika nivoa zvuka sa jedne i druge strane zatvorenog prozora u većini za sada sprovedenih merenja u NTP ne predstavlja izolacionu moć prozora jer je u većini slučajeva sa unutrašnje strane postojao još jedan evidentan izvor buke iz sistema centralnog klima uređaja, a koji se dosta razlikovao od prostorije do prostorije, varirao je i unutar iste prostorije pa čak i u toku jednog merenja ekvivalentnog nivoa buke. Ipak, na pojedinim mestima i u periodima kada nije radio klima uređaj kao gotovo jedini izvor buke iz unutrašnjosti NTP – mogla je da se proceni izolaciona moć prozora i drugih staklenih pregrada (vrata i zidova) na oko 20 dB. To znači da je kroz prozor ulazila spoljna buka umanjena za 20 dB. Ako je napolju relativno tiho, npr. 55-60 dB(A), nivo spoljne buke bi se unutra sveo na ispod 35-40 dB(A) tj. ispod nivoa šapata. U tim slučajevima nivo unutrašnje buke od klima uređaja koji je znatno iznad 40 dB(A) postaje dominantan i kada je izmeren nivo pozadinske buke u prostoriji od preko 45 dB(A) – on dominantno potiče od centralnih klima-uređaja i u nekim slučajevima od buke spremačica koje su u vreme merenja „nulte-početne“ pozadinske buke bile prisutne u zgradi i povremeno stvarale buku koja je donekle uticala na rezultate merenja. Razlike koje se još mogu zapaziti na određenim mernim tačkama potiču pre svega od različitog nivoa buke koje su klima-uređaji stvarali u toku merenja. Iz navedenih razloga, izmereni nivo buke na 0,5 m ispred prozora pokazuje pre svega kolika buka će ulaziti u prostoriju svaki put kad se otvori prozor. Taj nivo buke u mnogim prostorijama NT parka daleko je veći od onog koji postoji u zgradi FTN koja je u centru kampusa UNS – dovoljno daleko od buke prometnih saobraćajnica.

3.3 Dalji rad

U narednom periodu je potrebno kompletirati merenja za koja nije bila na raspolaganju odgovarajuća oprema u kratkom periodu u kom su merenja opisana u ovom radu bila organizovana. Kvalitet zvučne zaštite u zgradi se po standardu ocenjuje svrstavanjem u klasu „poboljšane zvučne zaštite“, klasu „minimalne zvučne zaštite“ ili „nije po JUS-u“ [4, p.510]. Klasa zvučne zaštite zgrade se predviđa projektnim zadatkom, određuje projektom i dokazuje merenjem.

Po standardu za akustiku u građevinarstvu za grupu objekata F koja obuhvata škole, fakultete i sl. [4, p.5] stoji napomena 4.12 – citat: „U svim prostorijama u kojima se održava nastava vreme reverberacije mora biti usklađeno sa standardom JUS U.J6.215.“ Dakle, za kompletnu ocenu akustičkog ambijenta još je potrebno izmeriti vreme reverberacije prostorija u kojima će se izvoditi nastava i laboratorijske vežbe i utvrditi da li je ono u opsegu optimalnom za prostorije u kojima je bitna razumljivost govora; u slučaju da nije, treba predložiti način akustičke obrade prostorija kako bi se one privede nameni na nivou kakav ovakav objekat NT parka zaslužuje – da se predavanja i laboratorijske vežbe odvijaju bez napora predavača i slušalaca-studenata tj. da se govor umerenog nivoa savršeno čuje i razume.

Standard iz akustike u građevinarstvu SRPS U.J6.215:1982, [8], utvrđuje tehničke uslove za projektovanje i

izradu malih i srednjih prostorija, tj. mere koje osiguravaju dovoljan akustički kvalitet, naročito razumljivost govora, kao i mere za smanjenje buke promenom vrste, veličine i rasporeda apsorpcionih površina, geometrijskim oblikovanjem prostorija i dodatnom zvučnom zaštitom – to su teme za nastavak istraživanja u okviru Laboratorije za akustiku i govorne tehnologije, koja je deo CEVAS-a kao prvog akreditovanog centra izuzetnih vrednosti na FTN.

4. ZAKLJUČAK

Stakleni pregradni zidovi i staklena vrata između laboratorija i soba za laborante, iako vizuelno zabrinjavaju i navode na pitanja „Da li će laboranti morati da šapu u svojoj sobi kako ne bi ometali lab. vežbe i drugu nastavu?“ i „Da li će njih ometati glasan govor predavača iz laboratorije?“ – merenja predstavljena u ovom radu su pokazala da nije opravdan strah. Staklena vrata i zid smanjuju nivo zvuka za oko 20 dB, što je sasvim dovoljno da se buka od govora u susednoj prostoriji (oko 60 dB(A)) svede na nivo šapata (oko 40 dB(A)). Eventualno treba ispod staklenih vrata staviti četkice do poda jer ispod vrata prolazi još nekoliko dB buke, pa se preslušavanje može svesti ispod nivoa pozadinske buke i praktično učiniti nečujnim. To je samo jedna od mogućnosti da se jeftinim doradama prostora na licu mesta dodatno popravi sasvim solidno projektovana i solidno realizovana zgrada NTP sa aspekta zvučne zaštite. Npr. profili kao „spušteni plafoni“, kojima se mogu donekle vizuelno pokriti i instalacije po plafonima, mogu biti od odabranih apsorpcionih materijala umesto običnih limova koji samo odzvanjaju i tako po praktično istoj ceni značajno unaprediti akustički ambijent i percepciju-doživljaj zvuka u ambijentu NT parka.

Tim iz Laboratorije za akustiku i govorne tehnologije sa FTN, koji je vršio merenje buke u NT parku u delu namenjenom za departmane FTN, imao je problema sa preciznim merenjem izolacione moći po jedinim pregradama – ali ona će ostati ista i posle useljenja i moći će naknadno da se ponovo izmeri, jer sama po sebi ne zavisi od pozadinske buke. Precizna profesionalna merenja izolacione moći prozora, vrata (staklenih i ostalih) i zidova (staklenih i zidanih) ponoviće se naknadno uz odgovarajuću mernu opremu koju u trenutku merenja nismo imali na raspolaganju. Tada će biti urađena i spektralna analiza izolacije od buke po oktavama ili još preciznije – po tercama. Sada, pre useljavanja je bilo važno ustanoviti „nultu-početnu“ pozadinsku buku u prostorijama NTP i to je izvršeno detaljno profesionalnim fonometrom klase 1 – po svim etažama i u svim vrstama prostorija: laboratorije, nastavnički kabineti i grupne kancelarije, hodnici, atrijumi, biblioteke, amfiteatar.

Zahvalnica: Milanu Stojiljkoviću, master-inženjeru „Zaštite životne sredine“ koji je ustupio profesionalni fonometar, laborantima Katedre za telekomunikacije i obradu signala Dušanu Nikoliću i Dejanu Nemecu, koji su vršili merenja, kao i Tamari Delić, studentu master akademskih studija „Animacije u inženjerstvu“ na FTN, koja je napravila stilizovane prikaze poprečnih preseka zgrade i mernih tačaka za merenje buke.

5. LITERATURA

- [1] Vlado Delić, Milan Sečujski, Milan Narandžić, Dragana Konstantinović, Srđan Kolaković, Rade Doroslovački, *Analiza akustičkog ambijenta u prostorijama Naučno-tehnološkog parka u Novom Sadu*, XXVI Skup Trendovi Razvoja - Položaj visokog obrazovanja i nauke u Srbiji, Kopaonik, 16.-19. 02. 2017.
- [2] *Glavni arhitektonsko-građevinski projekat i glavni projekti instalacija za zgradu Naučno-tehnološkog parka Univerziteta u Novom Sadu – deo na Fakultetu tehničkih nauka*. Autorski tim idejnog rešenja: Dragana Konstantinović, Miljana Zeković, Radivoje Dinulović, Darko Reba, Departman za arhitekturu i urbanizam, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad; rukovodilac izrade projekta Dr Radivoje Dinulović, dipl. inž. arh. 2009-2011.
- [3] *Proračun zvučne zaštite. Objekat: Naučno tehnološki park Univerziteta u Novom Sadu – deo na Fakultetu tehničkih nauka*. Odgovorni projektant Aran Teodorčević, Novi Sad, pp.181-247 (deo Glavnog projekta, [1])
- [4] SRPS U.J6.201:1990 - *Akustika u građevinarstvu - Tehnički uslovi za projektovanje i građenje zgrada*, "Sl. glasnik RS" 14/82, objavljen 03.02.1990. na 10 strana, izdanje 2 ED.
- [5] *Rion Sound Level Meter and Octave Band Analyser NA-29E*, Instruction Manual, Rion Co. Ltd., Tokyo, Japan (1991)
- [6] Pravilnik br. 07-93/168 od 19.09.1989. Sl. list SFRJ Pravilnik 50-1253/1 (Sl. List SFRJ br. 67/89))
- [7] SRPS U.J6.153:1989 - *Akustika u zgradarstvu - Metode za izražavanje zvučne izolacije jednim brojem*, na 3 strane, povučen 01.01.2000.
- [8] SRPS U.J6.215:1982 - *Akustika u građevinarstvu - Tehnički uslovi za projektovanje i izradu - Akustički kvalitet malih i srednjih prostorija*, "Sl. glasnik RS" 14/82, objavljen 17.04.1982. na 10 strana, izdanje 1 ED.
- [9] *Pravilnik o dozvoljenom nivou buke u životnoj sredini*, "Sl. glasnik RS", br. 54/92