

Akustičke karakteristike učionica VIŠER

Dragan Drinčić, Sonja Krstić, Miloš Ivanović

Sadržaj — U radu su prikazane merene akustičke karakteristike učionica na Višoj školi elektrotehnike i računarstva (VIŠER) u Beogradu. Meren je ukupni nivo buke, vreme reverberacije i razumljivost govora. Dobijeni rezultati su analizirani i upoređivani sa graničnim vrednostima datim u važećim standardima i preporukama iz ove oblasti. Na kraju su izloženi mogući načini popravke akustičkih karakteristika pomenutih učionica.

Ključne reči — Akustika, akustika prostorija za govor, akustika učionica.

I. UVOD

OKO 60% aktivnosti u učionicama se svodi na govor između predavača i učenika ili između samih učenika pa je jasno zašto su veoma važne njihove akustičke karakteristike. Kako učionice spadaju u grupu prostorija za govor to se pri oceni njihovih akustičkih karakteristika prvenstveno vodi računa o razumljivosti govora. Treba imati u vidu da je osećaj razumljivosti govora kod odraslih osoba bolji nego kod učenika, naročito učenika mlađeg uzrasta. Iz tog razloga odrasli se ne smeju osloniti na svoju procenu razumljivosti govora kada se radi o učionicama.

Učionice sa lošim akustičkim karakteristikama mogu se porediti sa čitaonicama u kojima je loše osvetljenje. U takvim uslovima učenici koriste većinu svoje koncentracije samo da čuju šta predavač govori, umesto da se skoncentrišu na sadržaj predavanja. Loši akustički uslovi postaju posebno problematični kada se radi o mlađim učenicima, učenicima koji imaju problema sa učenjem, držanjem pažnje i čitanjem, učenicima kojima jezik predavanja nije maternji ili učenicima sa oštećenim sluhom.

Loši akustički uslovi u učionici utiču ne samo na učenike nego i na predavače. Predavači u akustički lošem prostoru podižu nivo svog glasa što dovodi do pojačanog stresa i zamora, a u krajnjem može dovesti i do pogoršanja karakteristika njihovog sistema za govor.

U učionicama sa dobrim akustičkim uslovima učenje je lakše, dublje i manje zamorno a usvojeno gradivo je trajnije.

Dragan Drinčić, Visoka škola elektrotehnike i računarstva, Vojvode Stepe 283, 11 000 Beograd, Srbija (telefon: 381-63-7788226; faks: 381-11-3950024; e-mail: dragan.drincic@viser.edu.rs).

Sonja Krstić, Visoka škola elektrotehnike i računarstva, Vojvode Stepe 283, 11 000 Beograd, Srbija (telefon: 381-63-8399810; faks: 381-11-3950024; e-mail: sonja.krstic@viser.edu.rs).

Miloš Ivanović, Visoka škola elektrotehnike i računarstva, Vojvode Stepe 283, 11 000 Beograd, Srbija; (telefon: 381-63-8399810; e-mail: ivanovic_milos@yahoo.com).

II. AKUSTIČKI FAKTORI I RAZUMLJIVOST GOVORA

Akustički faktori koji utiču na razumljivost govora u učionici uključuju ukupan nivo ambijentalne buke, vreme reverberacije učionice i odnos nivoa glasa predavača prema nivou ambijentalne buke (odnos signal-šum).

Ambijentalna buka predstavlja bilo koji zvuk u učionici koji ometa ono što učenik želi da čuje, razume, i nauči od predavača. Pod ovim se podrazumeva spoljna buka, unutrašnja buka i buka same učionice. Spoljna buka se odnosi na buku čiji su izvori van školske zgrade. Unutrašnja buka potiče od izvora u školi, odnosno u neposrednoj blizini učionice. Buku učionice čine buka instalacija osvetljenja, buka sistema za grejanje provetravanje i hlađenje, buka koju stvaraju uređaji ili sredstva za nastavu (računari, projektori i td.) kao i buka koja je izazvana aktivnostima učenika.

Dugo vreme reverberacije nepovoljno utiče na razumljivost govora u učionici. Njegovo smanjenje doprinosi povećanju razumljivosti govora u učionici kao i smanjenju ukupnog nivoa ambijentalne buke.

Odnos signal-šum postaje lošiji što je rastojanje od predavača do učenika veće, tako da različita mesta u učionici imaju različit odnos signal-šum. Ovaj odnos je najniži u zadnjim redovima učionice ili na sedištima koja se nalaze u blizini pojedinih izvora buke.

III. PREPORUKE I STANDARDI

Akustici učionica se u svetu zadnjih godina poklanja mnogo pažnje. Rezultati velikog broja radova u ovoj oblasti omogućili su definisanje preporuka i donošenje standarda koji se odnose na akustičke uslove u njima.

Analizom tih preporuka i uvidom u najnovije standarde iz ove oblasti [1] - [3] može se zaključiti da nivo buke u paznoj učionici (bez učenika), sa nameštajem, ne sme da pređe 35 dBA. Optimalno vreme reverberacije, (takođe u praznoj učionici) treba da je najviše 0,6 s u učionicama čija je zapremina manja od 283 m³, a 0,7 s u učionicama čija je zapremina između 283 m³ i 566 m³.

Najnovija istraživanja u ovoj oblasti nam govore da je smanjenje nivoa buke na preporučene vrednosti od primarne važnosti, i da se mora voditi računa kako o buci u praznim učionicama tako i o buci kada su učenici u njima. Rezultati merenja pokazuju da je nivo ove druge za oko 10 dB viši [4].

Dakle, osnovna filozofija akustičkog dizajna učionica se svodi pre svega na smanjenje ukupnog nivoa buke ispod preporučenih ili propisanih granica. Nivo ambijentalne buke je potencijalno mnogo veći problem nego vreme reverberacije jer se dešava, ne tako retko, da je on za faktor 10 veći od propisanog. Odstupanja vremena

reverberacije od optimalnih vrednosti nikada nisu ni približno ovalika [4].

Tek kada je nivo buke doveden na odgovarajuću meru treba se pozabaviti akustikom učionice da bi se postigao što veći nivo govora u njoj. Kao veoma važan kriterijum se nameće odnos signal - šum čija vrednost na svim sedištima u učionici treba da bude najmanje 10 do 15 dB [4], [5]. Ovo nam govori da treba povećati energiju ranih refleksija na račun reverberantne energije. Tome svakako doprinosi i podešavanje optimalnog vremena reverbacije.

Pri tome treba jednovremeno voditi računa da refleksije velikog kašnjenja budu eliminisane ili značajno oslabljene.

IV. REZULTATI MERENJA KOD DRUGIH AUTORA

U radu [5] se navodi da vreme reverberacije u učionicama u Americi varira od 0,3 pa do iznad 1,5 s i da ima znatno veće vrednosti na nižim nego na višim frekvencijama. Takođe se navodi da je nivo buke u praznim učionicama noću i preko vikenda 30 - 35 dBA, 40 - 50 dBA kada radi sistem za grejanje hlađenje i ventilaciju i 55 do 75 dBA kada se u učionici nalazi nastavnik sa učenicima.

Tipičan nivo buke u učionicama sa učenicima je 60 dBA što je iznad nivoa govora velikog broja nastavnika pa ih učenici teško čuju.

Autori rada [6] navode da nivoi buke u učionicama u Engleskoj i Francuskoj, koji ne uključuju signal govora nastavnika, zavisno od tipa aktivnosti učenika iznose od 42 dBA pa do preko 63 dBA. U istom radu se navodi da je vreme reverberacije praznih učionica u granicama od 0,28 s do 1,55 s a učionica sa učenicima u granicama od 0,25 do 0,98 s.

Studija akustičkih karakteristika praznih učionica u Nemačkoj [7] pokazuje da se vreme reverberacije kreće u granicama od 0,4 do 1,1 s a nivo nuke od 20 do 39 dBA kada su prozori zatvoreni i 28 do 58 dBA kada su prozori otvoreni.

V. MERENJE AKUSTIČKIH PATAMETARA UČIONICA

Visoka škola elektrotehnike i računarstva (VIŠER) poseduje veliki broj učionica. Među njima se po svojoj veličini i raspoloživom broju mesta posebno izdvajaju četiri. Ove učionice se nalaze odmah na ulazu u zgradu škole, po dve (levo i desno) u prizemlju i na prvom spratu. One u prizemlju nose oznaku „donje“ a one na spratu „gornje“, a zbog svog nešto većeg smeštajnog kapaciteta se obično nazivaju „salama za predavanja“. Tako imamo donju salu levo (DSL) i donju salu desno (DSD), odnosno gornju salu levo (GSL) i gornju salu desno (GSD).

TABELA 1: DIMENZIJE I BROJ MESTA U UČIONICAMA

Učionica	<i>a</i> (m)	<i>b</i> (m)	<i>c</i> (m)	<i>V</i> (m ³)	<i>N</i>	<i>V/N</i> (m ³ /sd)
DSL	15,70	7,00	3,52	387	140	2,8
DSD	15,80	7,88	3,52	438	150	2,9
GSL	12,69	7,83	2,98	296	90	3,3
GSD	12,55	8,00	2,98	299	140	2,1

Dimenzije i broj raspoloživih mesta u navedenim učionicama (salama) prikazani su u tabeli 1. Dužina, širina i visina, u metrima, su označene malim slovima *a*, *b* i *c*, respektivno, zapremina slovom *V* i broj mesta slovom *N*.

A. Nivo buke

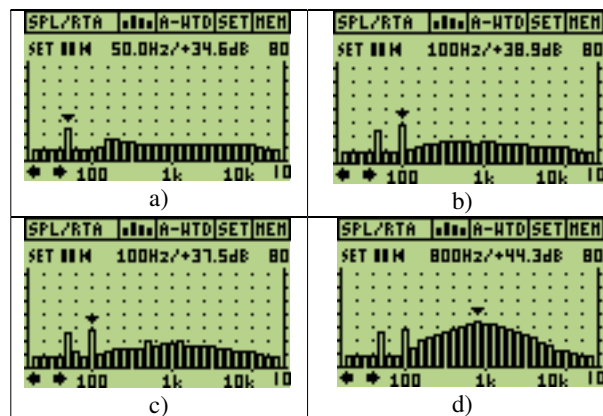
Nivo buke u učionicama je meren u vreme kada nije bilo nastave i kada se mali broj učenika nalazio u školi. Učenika nije bilo ni u ulaznom holu zgrade škole, ispred pomenutih učionica, gde u vreme normalnih radnih dana vlada prilična gužva.

Buka je merena na po 6 mernih mesta u svakoj učionici. Na svakom mernom mestu meren je ukupni ekvivalentni nivo buke L_{eqA} (izražen u dBA), kao i spektralni nivo buke u tercama sa centralnim frekvencijama od 20 Hz do 20 kHz. Svako merenje u trajanju od po 30 s je ponavljano tri puta.

TABELA 2: NIVO BUKE L_{eqA} U UČIONICAMA

Učionica	Sve isklj.	Svetlo	Svetlo projektor	Sve uklj
DSL	37,3	41,7	42,2	50,5
DSD	35,8	35,8	41,9	51,0
GSL	35,0	36,0	39,5	50,2
GSD	33,3	35,1	38,8	48,7

Pokazalo se da nivou buke u učionicama doprinosi rasveta, projektor (koji za potrebe predavanja stoji ovešen o plafon) i uređaj za hlađenje (i grejanje). Da bi odredili njihov pojedinačni uricaj na ukupni nivo buke u učionicama, merenja buke su rađena u četiri različita slučaja: kada je sva pomenuta oprema pogašena, kada je uključena samo rasveta, kada je uključena rasveta i projektor i kada je uključena sva oprema. Dobijene srednje vrednosti ekvivalentnog nivoa buke, za sve učionice, prikazane su u tabeli 2 dok su na sl.1, prikazane spektralne vrednosti nivoa buke, za svaki od pomenutih slučajeva, na jednom mernom mestu u učionici DSL.



Sl. 1. Spektralni nivo buke na jednom mernom mestu u učionici DSL: a) sva oprema ugašena, b) upaljena samo rasveta, c) upaljena rasveta, radi projektor, d) upaljena rasveta, rade projektor i uređaj za hlađenje.

B. Vreme reverberacije

Vreme reverberacije je takođe mereno u šest mernih tačaka u svakoj učionici, sa po tri ponavljanja u svakoj mernoj tački. Dobijene srednje vrednosti prikazane su u tabeli 3.

TABELA 3: VREME REVERBERACIJE UČIONICA DOBIJENO MERENJEM

Učionica	Vreme reverberacije T_{60} (s)	Vreme početnog opadanja T_{10} (s)	Preporučene vrednosti za T_{60} (s)
DSL	1,75	1,6	0,7
DSD	1,7	1,5	0,7
GSL	1,72	1,56	0,7
GSD	1,7	1,55	0,7

C. Subjektivno merenje razumljivosti govora

Subjektivno merenje razumljivosti govora u učionicama je rađeno pomoću logatoma, uz učešće neutreniranih govornika i slušalaca (studenata) sa minimalnim iskustvom u testovima razumljivosti. Na ovaj način se postiže da su uslovi testa veoma slični realnim uslovima.

Radi smanjenja vremena testiranja slušaoci su menjali svoja mesta ciklično. Kompletan ciklus je završavan kada svi učesnici odslušu test na svim predviđenim sedištim. U testovima je učestvovalo po 20 slušalaca i po tri govornika u svakoj učionici. Sedišta na kojima je merena razumljivost su bila logično razmeštena po učionici.

Srednja vrednost slogovne razumljivosti na datom sedištu \bar{P}_s je izračunata prema formuli:

$$\bar{P}_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_{si} \quad (1)$$

gde je: N - broj ispitanika (u ovom slučaju 20), P_{si} - slogovna razumljivost na datom sedištu za jednog ispitanika definisana kao odnos (izražen u procenatima) broja korektno zapisanih prema ukupnom broju izgovorenih slogova.

Razumljivost logatoma za celu učionicu (treća kolona u tabeli 5) nađena je kao aritmetička sredina dobijenih vrednosti razumljivosti na pojedinim sedištim.

D. Objektivno merenje razumljivosti govora

Kao kriterijum razumljivosti govora Peutz [8] je uveo procenat nerazumljivih suglasnika AL_{cons} (Articulation Loss of Consonants). AL_{cons} zavisi od odnosa direktnog i reflektovanog zvuka, vremena reverberacije prostorije i odnosa signal-šum u prostoriji.

Houtgast i Steeneken [9] su utvrdili da širokopojasni spektar govornog signala koji proizvode glasne žice modulišu usta u diskretne govorne zvuke. Pomenuta dvojica autora su našli da se modulacioni spektar govora nalazi u opsegu od 0,63 Hz do 12,5 Hz. Da bi se sačuvala razumljivost govora, kada govorni signal prolazi kroz neki

akustički prostor, moraju se sačuvati njegove originalne modulacione karakteristike. Stepem sa kojim su modulacione karakteristike očuvane direktni je pokazatelj razumljivosti govora u ovom prostoru i izražava se preko "indeksa prenosa govora" ili STI indeksa. U akustici prostorija se za merenje razumljivosti govora umesto STI vednosti češće koriste $RASTI$ vednosti, što je sličan podatak koji se, međutim, dobija uz manji broj merenja.

Danas postoje precizni prenosni instrumenti, ili softverski paketi, pomoću kojih se može relativno brzo izmeriti razumljivost govora u nekoj prostoriji, bilo mereći AL_{cons} ili $RASTI$.

Takođe postoje definisane međusobne veze između ove dve veličine, kao i povezanost njihovih vednosti sa procentom razumljivosti govora i slogova (logatoma) kako je prikazano u tabeli 4 [1].

TABELA 4: VEZE IZMEĐU VELIČINA KOJIMA SE IZRAŽAVA RAZUMLJIVOST GOVORA

Razumljivost govora	Raz. logat. (%)	AL_{cons} (%)	$RASTI$
Loša	0 – 34	Iznad 34	< 0,30
Slaba	34 – 48	34 – 15	0,30 – 0,45
Prihvatljiva	48 – 67	15 – 7	0,45 – 0,60
Dobra	67 – 90	7 – 3	0,60 – 0,75
Odlična	90 – 96	3 – 0	0,75 – 1,00

TABELA 5: RAZUMLJIVOST GOVORA U UČIONICAMA DOBIJENA MERENJEM

Učionica	Razumlj. govora	Razumlj. logatoma (%)	AL_{cons} (%)	$RASTI$
DSL	Prihvatljiva	74,7	12,0	0,46
DSD	Prihvatljiva	83,1	8,3	0,57
GSL	Prihvatljiva	85,9	11,9	0,46
GSD	Dobra	91,1	6,4	0,61

VI. ANALIZA MERNIH REZULTATA

Dobijene vrednosti za nivo buke u učionicama, tabela 2, pokazuju da je isti daleko iznad preporučene granice od 35 dBA. Rezultat je još indikativniji ako se ima u vidu da su merenja buke rađena u vreme kad nije bilo nastave, i kad je prisustvo studenata u susednim hodnicima, holu i zajedničkim prostorima bilo svedeno na najmanju meru.

Vreme reverberacije u sve četiri učionice (oko 1,7 s) takođe značajno prevazilazi optimalne vrednosti (0,7 s) za prostorije ove namene i veličine.

Razumljivost govora dobijena subjektivnim i objektivnim merenjima je u granicama „prihvatljive“, što je daleko od potrebnog za učionice. Ovaj rezultat, kao i prethodna dva za nivo buke i vreme reverberacije, jasno govore o lošim akustičkim uslovima za „prenos“ govora u pomenutim učionicama. Slika je još nepovoljnija ako se ima u vidu da su merenja rađena u vreme kada nije bilo nastave i kada je broj studenata u zgradi škole bio minimalan.

VII. ZAKLJUČAK

Dobijene vrednosti akustičkih parametara učionica pokazuju da su sve učionice veoma nepogodne za nastavu. Razumljivost govora u njima, i pri najpovoljnijim uslovima, što se tiče uticaja pojedinih izvora buke, je jedva prihvatljiva, što je apsolutno neodgovarajuće. U realnim uslovima rezultati će biti još i gori. Dosadašnja praksa takođe potvrđuje gore iznete činjenice, jer je izvođenje i praćenje nastave u njima povezano sa pojačanim naporom i predavača i studenata.

Smanjenje nivoa buke u gore navedenim učionicama je moguće pre svega pojačanom izolacijom ulaznih vrata i improvizovanih prozora prema unutrašnjosti zgrade. Smanjenje vremena reverberacije na vrednost od 0,7 s zahteva unošenje značajne količine apsorpcionog materijala što će takođe povoljno delovati na dalje smanjenje nivoa ambijentalne buke. Postavljanje podnih prostirki na izdignuti podijum i slobodne površine poda bi svakako dodatno doprinelo manjoj buci u učionicama.

Tokom obrade unutrašnjosti učionica treba voditi računa da površine zidova i plafona koje mogu doprineti pojačanju korisne zvučne energije na udaljenijim mestima ne budu prekrivene apsorpcionim materijalima. Takođe bi bio koristan akustički reflektor na poziciji iznad mesta gde se obično nalazi predavač, koji bi reflektovanu zvučnu energiju usmeravao prema učenicima koji se nalaze u zadnjim redovima sedišta. .

LITERATURA

- [1] DIN 18041-2004, *Acoustical quality in small to medium – sized rooms*.
- [2] SIA 181:2006, *Schallschutz in Hoshbau*, SIA, Zurich.
- [3] ANSI/ASA S12.60-2010, *Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools*, Part 1: Permanent Schools.
- [4] S. Souci, L. Guerra, N. Teichner and D. Campbell, "Classroom acoustics: Current and future criteria for the assessment of acoustics for learning", *Audio Engineering Society*, 120th Convention, Paper 6794, 2006.

- [5] J. S. Bradley, "Optimising Sound Quality for Classrooms", *Proceedings of XX Meeting of SOBRAC (Brazilian Acoustical Association)*, Rio de Janeiro, pp. 1-15, Oct. 21-24, 2002.
- [6] F. Berg, J. Blair and P. Benson, "Classroom Acoustics: The Problem, Impact, and Solution" *Language, speech, and hearing services in schools*, Vol 27, January 1996.
- [7] J. Seidel, L. Weber, P. Leistner and S. Laschczok, "Acoustic Properties in German class rooms and their effect on the cognitive performance of primary school pupils", *Forum Acusticum*, 2065-2069, Budapest, 2005.
- [8] V.M.A. Peutz, "Articulation loss of consonants as a criterion for speech transmission in a room". *J. Aud. Eng. Soc.* 19, 12, 1971.
- [9] T. Houtgast, and J. M. Steeneken, "A review of the MTF concept in room acoustics and its use for estimating speech intelligibility in auditoria.", *J. Acoust. Soc. Am.* 77: 1069–77, 1985.
- [10] J. S Bradley, "Acoustical Design of Rooms for Speech", *National Research Council of Canada*, March 2002.
- [11] J. S Bradley, "Predictors of speech intelligibility in Rooms". *J. Acoust. Soc. Am.* 80: 837–45, 1986.
- [12] J. S. Bradley, "Speech intelligibility studies in classrooms", *J. Acoust. Soc. Am.* 80: 846–54, 1986.
- [13] K. Eggenschwiler and M. Cslovejsek, "Acoustical requirements of classrooms and new concepts of teaching" *Acoustics 08*, 6397-6402, Paris, 2008.
- [14] R. Brook, "Rooms for speech and music. In G. Ballou (Ed.), *Handbook for sound engineers*" (2nd ed., pp. 155-197), Indianapolis, IN: Howard W. Sams, 1991.

ABSTRACT

In this paper, we present the measured acoustic characteristics of classrooms at the Advanced school of Electrical Engineering and Computer Science (VISER) in Belgrade. Specifically, we measure the total level of background noise, the reverberation time, and the intelligibility of speech. The results are analyzed and compared with current standards and recommendations. We also consider possible ways to improve the acoustic characteristics of the aforementioned classrooms.

ACOUSTICAL CHARACTERISTICS OF VISER CLASSROOMS

D. Drincic, S. Krstic, M. Ivanovic