

Istraživanje zvučnog ambijenta srpskih sakralnih prostora kao višemedijskog fenomena

Miomir Mijić, Miloš Bjelić, Dragana Šumarac Pavlović, Tatjana Miljković, Filip Pantelić

Apstrakt — Istraživanje zvučnih ambijenata u istorijskom kontekstu iznedrilo je posebnu oblast akustike nazvanu arheoakustika. Pored mnogih značajnih istorijskih objekata, tema takvih istraživanja bile su povremeno i akustičke karakteristike verskih prostora. Sintezom akustičkih, istorijskih i teoloških činjenica o srpskim sakralnim prostorima dolazi se do zaključka da je njihov koncept višemedijska tema u kojoj je zvuk samo jedna, mada važna komponenta. Da bi se dao smisao mogućnostima koje savremena akustička analiza može pružiti u tumačenju sakralnih prostora neophodno je izaći iz okvira fizike i posmatrati sadejstva zvuka sa ostalim korišćenim medijima kao što su slikarstvo, arhitektura, muzika, koreografija, svetlost. Ovaj rad razmatra mesto i ulogu akustike u kontekstu mogućih multidisciplinarnih istraživanja srpskih sakralnih prostora. Fokus se usmerava na nekoliko karakterističnih inženjerskih tema: na korelaciju impulsnih odziva i fizičkih formi sakralnih prostora, na auralizaciju zvučnog polja u njima kako bi se omogućilo izmeštanja istraživanja u laboratorijske uslove, na uticaj akustičkog ambijenta sa pozicije pojaca i sveštenika, kao i na akustičku karakterizaciju šireg fizičkog ambijenta iz kojeg vernici ulaze u domen sakralnog prostora i u koji se iz njega vraćaju.

Ključne reči — akustički ambijent; arheoakustika, crkve, impulsni odziv, sakralni prostor, *stage support*

I. UVOD

Jednom prigodom neko je zanimljivo primetio da je istorija sve do dvadesetog veka zapravo bila nema. Zvuk je oko čoveka oduvek nastajao, ali i nestajao u istom trenutku, ostajući dostupan samo neposredno prisutnim oko mesta gde se javio. Zbog toga se istorijsko proučavanje nužno fokusiralo na artefakte koji traju u vremenu, na građevine, predmete i zapise, dok su zvuci koji su pratili život ljudi, kao i informacije koje su ti zvukovi nosili, ostali trajno nedostupni. Tek sa audiotehnikom, koja se pojavljuje na prelazu iz devetnaestog u dvadeseti vek, i njenim razvojem čovečanstvo i civilizacija počinju da ostavljaju reativno trajne zvučne otiske koji o minulim događajima i ljudskim odnosima svedoče na svoj način i pružaju dodatne informacije [1].

S razvojem novih tehničkih mogućnosti, neumitno se postepeno javilo zanimanje za akustičke fenomene i u istorijskom kontekstu, što je učinilo da se s vremenom izdvoji nova multidisciplinarna oblast nazvana „arheoakustika“. Njena

najšira definicija kaže da se „arheoakustika bavi odnosima između ljudi i zvuka kroz istoriju“ [2]. Ilustrativna je i definicija koja naglašava upravo njenu multidisciplinarnost, i po kojoj se arheoakustika bavi „akustikom na arheološkim lokalitetima u različitim kulturama koristeći i kombinujući u svom pristupu fiziku, antropologiju i arhitekturu“ [3]. U tom kontekstu su i akustičke karakteristike srpskih crkvenih prostora povremeno bivale predmet istraživanja [4-10].

Pregledom naslova publikovanih radova u akustičkoj literaturi saznaje se da je arheoakustika došla u fokus istraživača krajem dvadesetog veka. To se može objasniti činjenicom da poslednje dekade prošlog veka koincidiraju sa eksplozivnim razvojem računara i raznih softverskih alata od značaj za tu oblast: za simulaciju zvučnog polja, za snimanje i analizu impulsnog odziva prostora, a kasnije i za auralizaciju. Postalo je jednostavno da se za razne istorijski značajne prostore dobije detaljna akustička karakterizacija. Ta mogućnost potoji čak i za prostore koji danas više ne postoje, samo ako su njihova geometrija i materijalizacija dovoljno detaljno dokumentovane.

U obilju danas dostupnih tehničkih mogućnosti nametnula se ideja traganja za širim smislom koju mogu dobiti izmerene ili izračunate akustičke informacije o prostoru, a koje su po pravilu predstavljene „autističnim“ numeričkim podacima. Naime, zvuk se uvek pojavljuje u nekom kontekstu i nosi informacije o tome koje čulo sluha čoveka dekoduje. Zvučne informacije se neumitno povezuju sa ostalim perceptivnim inputima koji se istovremeno stiču u moždanim centrima, pa je doživljaj čovekovog okruženja rezultat multisenzorske percepcije. U takvom kontekstu zvuk pod određenim okolnostima može dobiti jedan širi i složeniji smisao.

Možda najintrigantniji fenomen pojave zvuka javlja se u sakralnim prostorima. Crkvena služba koja se u njima odvija, sa vizuelnim dimenzijama prizora i narativom koji ih prati, tipičan su primer višemedijske forme koja kod ljudi aktivira multisenzorsku percepciju. U sakralnom prostoru zvuk je u sprezi sa drugim primenjenim medijima: slikarstvom, arhitekturom, svetlošću, muzikom, koreografijom. Da je u pitanju višemedijski efekat dokazuje, na primer, jasna razlika između doživljaja pri slušanju snimka nekog pojanja emitovanog s kućnog sistema za reprodukciju zvuka u atmosferi dnevne sobe i slušanja istog pojanja uz fizičko prisustvo službi u nekoj crkvi.

Miomir Mijić – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: emijic@etf.rs).

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

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

Tatjana Miljković – Elektrotehnički fakultet, Univerzitet u Beogradu, Bulevar Kralja Aleksandra 73, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: tm@etf.rs).

Filip Pantelić – Akademija tehničko-umetničkih strukovnih studija, Odsek Visoka škola elektrotehnike i računarstva, Vojvode Stepe 283, 11020 Beograd, Srbija (e-mail: filipp@viser.edu.rs).

Razlika u doživljaju koja je u navedenom primeru prilično jasna objašnjava fenomen multisenzorske percepcije u sakralnim prostorima. Višemedijsku prirodu pravoslavne crkvene službe istoričari su razmatrali dokazujući da je u tome evidentno združeno dejstvo monumentalnog slikarstva na zidovima, zvuka pojanja i specifičnog akustičkog odziva prostora crkve koji nastaje pri takvoj zvučnoj pobudi [11]. Šaron Gerstel u jednom svom članku konstatuje: "U ovoj maloj crkvi zvuk pojanja, reči koje se izgovaraju i sakralne slike povezane su na neočekivani i sofisticiran način" [12]. Specifične efekte produžene reverberacije i mešanje različitih zvukova koji nastaju u atmosferi crkvene službe neki istoričari su prepoznavali kao „mešanje nebeskih i ljudskih glasova“ [13].

U tehničkom domenu višemedijska priroda crkvene službe može se prepoznati kao najraniji pojavni oblik multimedijalnih događaja. Danas je savremena tehnologija, pogotovo ona najsofisticiranija, u multimedijalnim produkcijama prebacila poentu na tehnički spektakl, a ponekad i na spektakl tehnologije po sebi, ali sâm koncept događaja osmišljenog da podstakne multisenzorsku percepciju očigledno potiče od davnina.

Zvučna dimenzija crkvene službe zasniva se na ljudskom glasu i nekim specifičnim zvukovima koji prate određene radnje kao što su zvukovi posuda sa tamjanom, zvona, klepala. Neki istraživači srednjeg veka ukazuju da su Vizantinci bili pod uticajem zvuka i naglašavaju moguće psihološke dimenzije raznih zvučnih fenomena. U literaturi je zabeležen stav da je prijem zvuka kod publike bio faktor koji je uticao na organizaciju oslikavanja i postavljanje slika tematski povezanih sa pojanjem u određenim zonama crkve [13].

Sa aspekta fiziološke i psihološke akustike čulo sluha čoveka u predmodernom dobu bilo je isto kao i danas. To je suviše kratak vremenski period da bi evolucija unela neke fiziološke promene, što daje za pravo da se zaključuje savremenih istraživanja primene i na tumačenja reakcija ljudi suočenih sa višemedijskim delovanjem sakralnih prostora u srednjem veku. Uprkos postepene promene karaktera zvučnih ambijenata, pre svega značajnom povećanju ukupnog nivoa buke u životnoj sredini nastalom od početka industrijskog doba, čulo sluha je centralno svojstvo ljudskog iskustva danas kao što je bilo i za srednjovekovnog čoveka.

Istraživanje zvučne komponente ambijenta sakralnih prostora ne može se odvojiti od njihove višemedijske prirode. To zahteva postavljanje pravih pitanja koja ne smeju biti rezultat isključivo inženjerskih shvatanja teme. Traganje za odgovorima otvara nekoliko važnih istraživačkih pitanja. Prvo, to je utvrđivanje osnovnih karakteristika akustičkog odziva prostorija koji čine deo sakralnih prostora i njihovog odraza na subjektivni doživljaj slušalaca. Za postojeće prostore do tog saznanja se može doći neposrednim snimanjem impulsnih odziva, a za prostore koji su vremenom devastirani ili potpuno uništeni do toga se može doći metodama simulacije zvučnog polja (ako postoje zapisi sa dovoljno informacija o njihovoj geometriji i materijalizaciji).

Drugo, to je stvaranje baze snimaka onoga što ljudi slušaju tokom službe, snimljenih na različitim mestima u crkvama različitih veličina i formi. Glavni cilj toga je stvaranje mogućnosti da se u laboratorijskim uslovima primenom

auralizacije analizira priroda auditornih doživljaja u okvirima sakralnih prostora.

Treće, postoji izvestan uticaj zvučnog ambijenta na one koji pevaju, sveštenike, pojce i horove. U kontroli njihovog pevanog glasa oni se prilagođavaju onome kako sebe čuju, što zavisi od akustičkog odziva prostora. Povratna sprega koja neumitno postoji upravlja kontrolom glasa, a u ovom slučaju verovatno i na vokalnu interpretaciju.

Najzad, širi obuhvat sakralnih prostora, to jest ambijent u kome se nalaze verski objekti, ima neke svoje akustičke karakteristike. Tokom dolaska ljudi u crkvu one možda imaju ulogu u njihovoj pripremi za kompleksni doživljaj službe, a takođe predstavljaju ono što ih u zvučnom smislu dočekuje nakon završetka službe.

U ovom radu su detaljnije razmatrane četiri opisane istraživačke putanje u arheoakustičkom pristupu sakralnim prostorima i njihove veze sa tangentnim naučnim oblastima u kojim se analiziraju iste teme.

II. IMULSNI ODZIVI SAKRALNIH PROSTORA

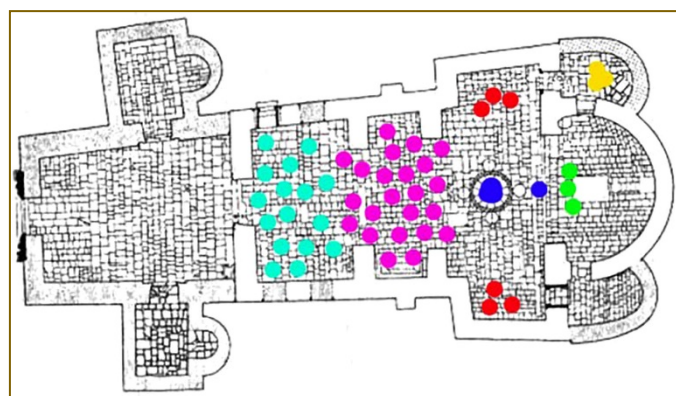
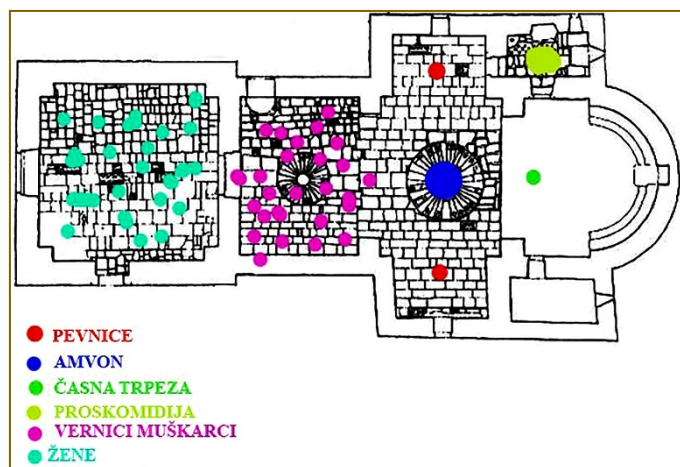
Od samog nastanka moderne akustike pre stotinak godina istraživanja su bila usmerena na pokušaje da se procesi u prostorijama na neki način numerički karakterišu, a sve sa ciljem da se u nekom sledećem koraku utvrde veze između dobijenih brojeva i dimenzija koje u subjektivnom doživljaju zvuka i estetike zvučne slike prepoznaje slušalac. Najveći zamah u tom domenu dalo je istraživanje koncertnih i operskih sala i pokušaji da se inženjerski izmerene veličine, što znači numerički pokazatelji, povežu sa subjektivnim doživljajem estetike onoga što slušalac čuje u sali tokom muzičkih izvođenja [14,15]. Saznanja o tome koja su stečena do danas predstavljaju dobru osnovu za istraživanje sakralnih prostora u kojima je zvuk element crkvene službe, i gde čulo sluha takođe na svoj kompleksan način vrednuje ono što prima.

Osnovni prikaz procesa u kome zvuk iz nekog izvora stiže do slušaoca je impulsni odziv prostora u kome se taj proces dešava. Zato prvi korak u istraživanju sakralnih prostora podrazumeva utvrđivanje karaktera impulsnog odziva u crkvama od interesa. Definicija impulsnog odziva podrazumeva da su u prostoru definišu pozicije izvora zvuka i prijemnika, a to su slušaoci. Njihove pozicije su relativno precizno određene liturgikom i arhitekturom crkve. Dva primera njihovih pozicija prikazani su na slici 1. Uzeti su primeri crkve Preobraženja u manastiru Pridvorica (12. vek) i crkve Vaszesenja Gospodnjeg u manastiru Mileševa (13. vek). Vidi se da postoji jasna podela na zonu u kojoj se nalaze potencijalni slušaoci i relativno lokalizovane pozicije izvora zvuka: pevnice, amvon i časna trpeza. To u izvesnom smislu pojednostavljuje pristup snimanju impulsnih odziva i svodi taj istraživački korak na relativno ograničen broj parova tačaka izvor zvuka – prijemnik zvuka.

III. AURALIZACIJA AMBIJENTA SAKRALNIH PROSTORA

Auralizacija je termin koji je uveden kao analogija pojmu vizuelizacije, pa se može slikovito reći da je to „renderovanje“ zvučnog polja [16]. Taj proces podrazumeva reprodukciju zvuka pomoću slušalica, jer je koncept zasnovan na pripremi binauralnih signala. Cilj auralizacije je da se kod slušaoca u laboratorijskim uslovima generiše auditorni događaj kakav bi

doživeo u različitim prostorima kada bi se u njima fizički nalazio, slušajući pri tome zvučne sadržaje koji se mogu proizvoljno birati. Auralizacija omogućava rekonstrukciju onoga što se čuje u nekom prostoru bez potrebe da se u njemu fizički nalazi, i što je u istraživačkom smislu posebno važno, da se to preslušava proizvoljan broj puta.



Sl.1. Osnova crkve Preobraženja u manastiru Pridvorica (gore) i crkve Vaznesenja u manastiru Mileševa (dole) sa naznačenim tačkama od značaja za snimanje impulsnih odziva.

Za auralizaciju je potrebno raspolagati binauralno snimljenim impulsnim odzivima prostora koji se želi predstaviti, a to znači sa signalima impulsnog odziva registrovanim na pozicijama levog i desnog uva neposredno prisutnog slušaoca. Takvi odzivi su označeni kao impulсни odzivi glave (HRTF – Head Related Transfer Function). Oni se u praksi dobijaju snimanjem impulsnog odziva pomoću veštačke glave ili pomoću takozvanih binauralnih mikrofona.

Veštačka glava je uređaj koji se izrađuje od tvrde gume ili sličnih materijala, i u geometrijskom smislu ima sve attribute ljudske glave [17]. Njene dimenzije i oblik kopiraju osnovnu formu prosečne ljudske glave utvrđene statistički, s posebno detaljno modelovanim ušnim školjkama. U unutrašnjosti veštačke glave, na poziciji ušiju, nalaze se mikrofoni čiji izlazni signali predstavljaju zvučne pritiske koji se javljaju na levom i desnom uvu slušaoca. Tako dobijeni signali sadrže u sebi uticaj glave kao prepreke, što je neophodno čulu sluha za dekodovanje prostornih dimenzija zvučnog polja. Veštačka

glava se postavlja na stativ na poziciji gde se želi registrovati signal.

Binauralni mikrofoni su minijaiturni mikrofoni koji se postavljaju u uši poput slušalica kakve se koriste uz mobilne telefone. Kao i veštačka glava, oni daju signale koji odgovaraju onome što deluje na uši slušaoca kada se nalazi u nekom zvučnom polju. Razlika je samo u tome što se glava pravi prema statistički utvrđenim dimenzijama i sa pojednostavljenom geometrijom lica, a binauralni mikrofoni daju signale koji su personalizavani, jer se pri snimanju nalaze na realnoj osobi.

Pobuda prostora pri snimanju impulsnog odziva vrši se neusmerenim zvučnikom postavljenim na odabranoj poziciji realnog izvora zvuka, to jest sveštenika ili pojca. Preko njega se reproduku posebno pripremljeni veštački signali koji su označeni kao MLS i *sweep*, i koji su napravljeni numerički. Kroz odgovarajuću numeričku proceduru iz takvog procesa dobija se signal impulsnog odziva za odabrani par tačaka izvor zvuka – prijemnik, to jest zvučnik i veštačka glava.

U istraživanju sakralnih prostora, a posebno u multidisciplinarnom pristupu njihovoj višemedijskoj prirodi, auralizacija može biti značajan istraživački alat, posebno u slučaju istraživanja istovremenog dejstva više medija na čoveka. Takav alat se može koristiti u dva važna domena. Prvo, beleženjem akustičkog odziva u prostorima od interesa moguće je u laboratorijskim uslovima auralizacijom stvoriti kod slušaoca auditorni utisak kakav bi bio kada bi se nalazio u tom prostoru. Pri tome, moguće je napraviti binauralne snimke sa bilo kojim muzičkim i drugim signalima, kao što su glas sveštenika, pojanja sa pevnica, zvuk zveckanja kadionice ili sve zajedno. Napravljeni snimak može se reprodukovati proizvoljan broj puta i u proizvoljnim trenucima u laboratoriji ili na nekom drugom mestu.

Drugo, pomoću softverskih alata za modelovanje zvučnog polja moguće je akustički odziv, to jest HRTF, dobiti simulacijom prostora koji odavno više ne postoje. Za takav postupak potrebno je raspolagati sa dovoljno detaljnim grafičkim prikazima objekta, to jest arhitektonskim crtežima dobijenim nekim prethodnim istraživanjima, i informacijama o materijalizaciji svega što je u njegovom enterijeru izloženo zvučnom polju.

Korišćenje mogućnosti auralizacije u istraživanju sakralnih prostora zahteva, pored ostalog, i razradu jedne teorijske teme iz domena obrade signala. Naime, postoje okolnosti u kojim se slušaoci kreću kroz prostor, kao na primer tokom raznih procesija. U literaturi je nagovešteno da se u crkvama mogu očekivati promene karaktera akustičkog odziva po prostoru, što je na neki način potrebno predstaviti i u auralizaciji. Za takve namene potreban je algoritam za kontinualnu promenu HRTF po trajektoriji kojom se slušalac kreće pri zadatim položajima izvora zvuka. S obzirom da se snimanje impulsnog odziva po definiciji obavlja za nepomičan izvor zvuka i mikrofona dok traje sekvenca snimanja (interval vremena koji je potreban za određeni broj ponavljanja sekvenci MLS ili *sweep* signala), jasno je da se može raspolagati samo sa snimcima HRTF u diskretnom skupu parova tačaka. Za kvalitetnu auralizaciju onoga što se čuje pri kretanju kroz prostor crkve potrebno je istraživati mogućnosti morfinga, a to znači interpolacije oblika binauralnih impulsnih odziva za bilo koju kombinaciji položaja

izvora zvuka i slušaoca, a na osnovu snimaka HRTF u konačnom broju tačaka duž zadate trajektorije.

IV. UTICAJ AKUSTIČKOG AMBIJENTA CRKVE NA PEVANJE

U literaturi iz oblasti arheoakustike inicirano je pitanje doživljaja sopstvenog glasa onih koji pevaju u crkvama [11,13]. Primećeno je da u tradicionalnim formama pravoslavnih crkava postoji razlika u karakteru doživljaja zvuka kada se peva sa različitih pozicija. Ukazano je da promena položaja pevača ima ulogu u ukupnom doživljaju ambijenta kod slušalaca, ali da takođe postoji povratno dejstvo na doživljaj sopstvenog glasa onog ko peva. Tako na primer, u literaturi se za jednu crkvu konstatuje da je „nedostatak rezonance uznemiravao i pevače i slušaocce“ [11].

Sa takvim informacijama iz literature jasno je da istraživanje zvučnog ambijenta sakralnih prostora neminovno zahteva i analizu njihovih akustičkih karakteristika sa aspekta onoga što čuju pevači, to jest sveštenici, pojci i hor. To utiče na formiranje njihovog pevanog glasa, kao i na celovit pevački izraz. Tema za istraživanje u tom domenu treba da bude korelacija između arhitektonskih odlika crkve, njene veličine i forme, i subjektivnog doživljaja sopstvenog glasa pevača na različitim pozicijama u njoj.

I u ovom domenu istraživanja se mogu koristiti saznanjima iz akustičke teorije koncertnih i operskih sala. U postupcima za njihovo objektivno ocenjivanje definisan je i koristi se parametar nazvan „podrška“ i označava se sa ST (*Stage support*). On numerički odslikava u kojoj meri ambijent svojim odzivom deluje na izvor zvuka nekom formom povratne sprege i tako pomaže u formiranju i kontroli zvuka koji se stvara, pevanog ili pomoću muzičkog instrumenta. Postupak njegovog izračunavanja je standardizovan [18]. Dobija se iz impulsnog odziva snimljenog u postavci kada se zvučnik nalazi na mestu gde bi se nalazio izvora zvuka (u koncertnim salama to je na bini a u crkvama su to uobičajene pozicije sveštenika, pojaca i hora), a meri mikrofonom se nalazi na rastojanju 1 m od akustičkog centra zvučnika. U karakterizaciji podrške najčešće se koristi takozvana „rana podrška“ ST_{Early} koja po definiciji predstavlja odnos u decibelima reflektovane energije koja stiže u prvih 100 ms i energije direktnog zvuka, pa je:

$$ST_{Early} = 10 \log \left[\frac{\int_{0.020}^{0.100} h^2(t) dt}{\int_0^{0.010} h^2(t) dt} \right]$$

gde je $h(t)$ signal snimljenog impulsnog odziva, a $t = 0$ trenutak stizanja direktnog zvuka u njemu. Prema tome, postoji teorijski aparat i merna procedura da se istraživanje usmeri u tom pravcu. Za koncertne sale definisana je optimalna vrednost, preciznije donji prag koji vrednosti ST_{Early} mora da prebaci da bi prostor bio zadovoljavajući za izvođače. Za okolnosti kakve postoje u crkvama tek predstoji utvrđivanje optimalnih vrednosti ovog parametra. Za to su potrebna merenja ST_{Early} i ankete među pevačima o njihovim utiscima u kojoj bi oni vredovali različite pozicije za pevanje.

V. ZVUČNI AMBIJENT PROSTORA U KOME SE NALAZE SAKRALNI OBJEKTI

Sastavni deo doživljaja sakralnih prostora je i zvuk ambijenta u širem smislu u kome se taj prostor nalazi. Realno je pretpostaviti da postoji razlika kada se nakon doživljaja službe izađe u bučnu ulicu sa mnoštvom zvučnih nadražaja koji privlače pažnju, što je upoćajeno u gradskim sredinama i uopšte u naseljima, i kada je to ambijent prirode kao u slučaju manastira i njihovog okruženja. Mesta gde je pozicionirana većina manastira još uvek okružuje manje-više očuvani mir i ambijent prirode.

Nesumnjivo je da takve ambijente karakteriše relativna tišina. Apsolutna tišina ne postoji, pa čulo sluha uvek registruje neke prisutne zvukove. Činjenica da su zvukovi takvih ambijenata vrlo niskih apsolutnih nivoa, otvara još i pitanje mikrofona s kojim bi se mogli registrovati za potrebe njihove naknadne analize. Za kvalitene uzorke signala tih ambijenata neophodno je raspolagati s mikrofonom vrlo niskog nivoa sopstvenog šuma što, moguće je, izlazi iz okvira standardne opreme za audio snimanja.

Snimci ambijenata iz očuvanih okruženja omogućili bi da se u laboratorijskim uslovima ambijent ekstremne tišine, kakav postoji u anehoičnim i semianehoičnim prostorijama koje se uobičajeno koriste za psihoakustičke testove, obogati zvučnim sadržajem prirodne „tišine“ manistirskih ambijenata.

U evropskim naseljima tokom prethodnih vekova zvuci koje su ljudi slušali bili su različiti od današnjih. Promene su nastupile sa industrijskom revolucijom koja je donela motore i mehaničke sprave čiji rad generiše buku. Ipak, razlika je mnogo dublja od ekoloških tema o kojim se danas intenzivno govori. Dok danas ljudi pokušavaju da pobegnu od gradske buke, za stanovnike ranih gradova zvuk je služio kao ključni izvor informacija. Formirao je semiotički sistem, prenoseći vesti, pomažući ljudima da se lociraju u vremenu i prostoru i čineći ih delom „audijalne zajednice“ [2]. Zvuk je pomogao da se izgradi identitet i da se struktuiraju odnosi među ljudima. Evolucija ovog informacionog sistema odražava promene u društvenoj i političkoj organizaciji i u odnosu prema vremenu i urbanom prostoru. Zbog toga je u istraživanju istorijske dimenzije zvučnog ambijenta sakralnih prostora potrebno uložiti napor da se u izvesnoj meri rekonstruišu mogući ambijenti u kojima su se oni mogli nekada nalaziti.

VI. PROBLEM REKONSTRUISANIH CRKAVA

U istraživanjima akustičkog aspekta srpskih sakralnih prostora izvestan problem može nastati u crkvama koji su u relativno novije vreme rekonstruisane. Materijali koji se pri tome koriste ili autorski stav onoga ko vodi rekonstrukciju mogu promeniti akustičke uslove u njima. To dalje može usmeriti današnja istraživanja u pogrešnom smeru jer je ambijent akustički izmenjen.

Primer toga može se videti u crkvi manastira Žiča. Prema kazivanju onih koji imaju auditivna iskustva sa tim prostorom pre i posle građevinskih intervencija, u crkvi su se nakon rekonstrukcijen u izvesnoj meri promenile akustičke karakteristike. Na žalost, nema rezultata akustičkih merenja iz perioda pre toga, ali se kroz diskusiju došlo do zaključka da je uzrok takve promene novi malter koji je upotrebljen prilikom rekonstrukcije.

Naime, crkve su sa aspekta akustičkog dizajna specifični prostori, jer u njima nema izrazito apsorpcionih površina, osim naroda koji se u njima okupi za vreme službe. Sve unutrašnje površine u crkvama su akustički „tvrde“, po pravilu malterisane radi oslikavanja, osim poda koji je pokriven kamenom. Takve tvrde površine dominantno određuju prepoznatljiv akustički odziv crkvenih prostora. Prema podacima iz literature, koeficijent apsorpcije malterisane površine na masivnom zidu je vrlo mali i može se očekivati da je u intervalu $\alpha = 0,05-0,07$ [19]. U odsustvu površina sa intenzivnom apsorpcijom, male varijacije vrednosti koeficijenta apsorpcije, čak samo na nivou druge decimale, mogu se značajnije odraziti na akustički odziv prostora.

Jednostavna numerička ilustracija može objasniti značaj karaktera maltera u crkvama. Zapremine starih srpskih crkava su u najvećem broju slučajeva u intervalu od 500 m^3 do 3000 m^3 [7]. Veće crkve su vrlo retke, dok manje od 500 m^3 nemaju očekivani akustički ambijent karakterističan za crkve. Uzimajući 1000 m^3 kao približnu sredinu tog intervala posmatranog u logaritamskoj razmeri i koristeći Sabinov obrazac za izračunavanje vremena reverberacije može se dobiti gruba procena kakvu promenu u akustičkom odzivu unosi promena maltera sa koeficijentom apsorpcije 0,05 na malter čija je vrednost 0,07. Pri tome su obe vrednosti veoma male u odnosu na vrednosti koeficijenta apsorpcije ostalih materijala koji se koriste u zgradama. U proračunu se polazi od pretpostavke da je vreme reverberacije tog hipotetičkog crkvenog prostora 2 s, što je ranije utvrđeno kao estetski optimum za pravoslavni crkvenu službu [5,7]. Na osnovu toga je procenjena i rezidualna apsorpcija zvuka koju unose svi drveni predmeti, tkanine i druga uobičajena oprema enterijera u crkvama

Pojednostavljen akustički proračun pokazuje da će se vreme reverberacije samo promenom prirode maltera i njegove poroznosti, to jest povećanjem njegovog koeficijenta apsorpcije sa 0,05 na 0,07, smanjiti sa vrednosti 2 s na vrednost 1,7 s. To je promena koja se zapaža slušanjem. Realno je pretpostaviti da se vrednost koeficijenta apsorpcije maltera u crkvama može kretati i u širim granicama od ovih koje su usvojene u pojednostavljenom proračunu, pa se mogu dobiti i veće promene akustičkog odziva.

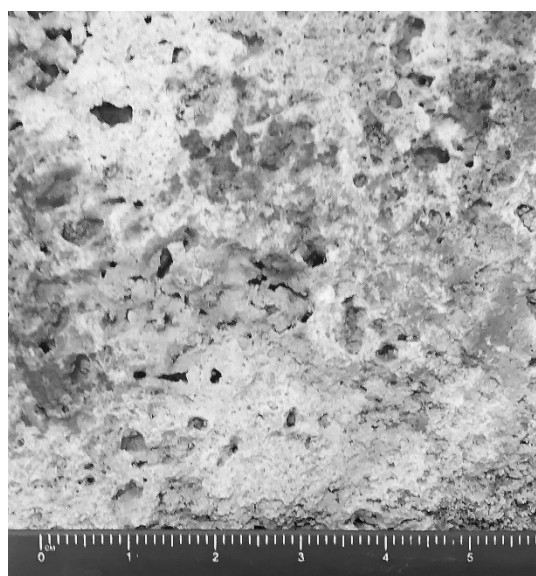
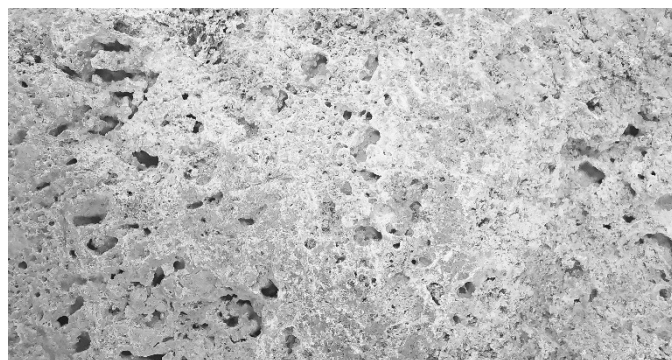
Prikazani proračun je krajnje aproksimativan, ali ukazuje na veliki značaj maltera za akustički odziv u okolnostima kada malterisane površine čine dominantnu apsorpciju u prostoriji, kao što je to u crkvama. U literaturi nisu nađeni podaci o apsorpcionim svojstvima starih maltera kakvi se nalaze u istorijski značajnim srpskim sakralnim građevinama. To je svakako jedna od tema koje zaslužuju detaljniju analizu i sasvim sigurno merenja na terenu. Problem u tome koji treba istraživački rešiti je što ne postoji standardizovani merni postupak za *in situ* merenja koeficijenta apsorpcije koji bi se mogao direktno primeniti. Posebno što se zahteva merenje izuzetno malih vrednosti.

Još jedan karakterističan slučaj od značaja za istraživanje zvučnog ambijenta srpskih sakralnih prostora nalazi se u crkvi manstira Gradac, sazidanoj u 13. veku. Ona je izgrađena od poroznog kamena čije je nalazište u lokalnoj sredini. Fotografije površine jednog primerka tog kamena prikazana je na slici 2. Ovaj materijal zbog svoje poroznosti nesumnjivo ima

značajno veći koeficijent apsorpcije od masivnog malterisanog zida kakav je uobičajen u crkvama. Ne postoje podaci o merenju apsorpcije ovakvog kamena, pa je to svakako još jedna tema za istraživanje.

Crkva manastira Gradac bila je u stanju polurazrušenosti do njene rekonstrukcije. Princip koji je usvojen pri obnovi je da se svi novoizgrađeni delovi ne malterišu kako bi se jasno naglasila razlika između originalnog i novog [20,21]. Zbog toga je relativno velika unutrašnja površina crkve ostala sa vidljivim poroznim kamenom kao sa slike 2. Subjektivni utisak u prostoru ove crkve je akustička prigušenost neuobičajena za takve ambijente.

Slučajevi kao što je crkva manastira Gradac nakon njene rekonstrukcije očigledno ne odslikava očekivane akustičke karakteristike sakralnog prostora. Možda upravo takva crkva može biti pogodna za neka istraživanja u domenu višemedijske prirode u okolnostima redukovano akustičkog sadržaja.



Sl.2. Izgled strukture kamena od koga je sačinjena unutrašnja površina crkve manastira Gradac: gore – izgled površine; dole – detalj sa razmernikom u cm da se može proceniti veličina poroznosti

VII. ZAKLJUČAK

Celovito istraživanje zvučnog ambijenta srpskih sakralnih prostora u kojima nastaju multisenzorski doživljaji zahteva saradnju istraživača iz svih domena njihove višemedijske prirode. Ono u toj kompleksnosti pokreće nekoliko sasvim novih pitanja iz domena akustike prostorija i psihoakustike za

čije je odgovore neophodan iskorak iz inženjerske rutine i uključivanje u multidisciplinarno posmatranje sakralnih prostora. U radovima istoričara postoji dovoljno naznaka za preciznije definisanje mogućih ciljeva istraživanja, a teorijske osnove iz oblasti akustike i obrade signala omogućavaju da se ostvari kvalitetativni pomak u metodologiji istraživačkog rada.

Primena auralizacije otvara nove mogućnosti za pouzdanije sagledavanje kompleksnih uticaja sakralnih prostora na prisutne ljude. Posebno je značajna činjenica da auralizacija omogućava premeštanje istraživanja u laboratoriju, gde je moguće postići kontrolu pobude i ponavljanje ispitivanja proizvoljan broj puta. Posebno je istraživački zanimljiv eventualni povratni uticaj akustičkog ambijenta na pevače, što bi dalo objašnjenja za neke pojave ranije konstatovane u istorijskoj literaturi.

LITERATURA

- [1] Miomir Mijić, "Audio industrija u Srbiji", Flogiston, 29/2021, Muzej nauke i tehnike, ISSN 0354-6640
- [2] <https://en.wikipedia.org/wiki/Archaeoacoustics>
- [3] A.González Menéndez "Archaeoacoustics: The Study of Acoustics at Archaeological Sites", OpenMind, 16 March 2020.
- [4] M.Mijić, "Acoustical characteristics of some Serbian Orthodox worship spaces", 120th Meeting of Acoustical Society of America, abstrakt objavljen u Journal of Acoustical Society of America, Vol. 88, Supplement 1, 1990, S185
- [5] M.Mijic, V. Banjac, "O ulozi ugrađenih akustičkih rezonatora u srpskim crkvama na primeru Gornje crkve u Sremskim Karlovcima", Građa za proučavanje spomenika kulture Vojvodine XX, Novi sad (1999) 87-104
- [6] M.Mijic, D. Sumarac-Pavlovic, "Acoustical characteristics of old wooden churches in Serbia", The Journal of the Acoustical Society of America Vol. 108, page 2648 (2000); <https://doi.org/10.1121/1.4743873>
- [7] M.Mijić, "Serbian orthodox church - An acoustical view", ICA, Rim, 2-7 septembra 2001. 6C.09.04
- [8] D.Šumarac Pavlović, „Uticaj geometrijskih karakteristika prostorije na njen akustički odziv“, Doktorska disertacija, Elektrotehnički fakultet u Beogradu, 2007.
- [9] M.Mijic, D. Sumarac-Pavlovic, "Acoustic resonators in serbian orthodox churches", Proc. Forum Acusticum, Sevilla (2002) RBA-05-001-IP
- [10] M.Mijić, D.Šumarac-Pavlović, „Acoustic Resonators in Serbian Orthodox Churches“, poglavlje u monografiji „Collected Papers in Building Acoustics: Room Acoustics and Environmental Noise“, Multi Science Publishing Co., London, 2010, 141-156
- [11] Bissera V. Pentcheva, "Hagia Sophia and Multisensory Aesthetics", Gesta 50, no. 2 (2011): 93-111
- [12] Sharon E. J.Gerstel, "Images in Churches in Late Byzantium", <https://books.openedition.org/psorbonne/39781>
- [13] S.Gerstel C.Kyriakakis, S.Antonopoulos, K.Raptis, J.Donahue, "Holy, Holy, Holy: Hearing the Voices of Angels", Gesta 60, No. 1 (2021): 31-49
- [14] L.Beranek, "Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture", Springer (2004)
- [15] Y.Ando, "Opera House Acoustics Based on Subjective Preference Theory", Springer (2015)
- [16] M.Kleiner, B.I.Dalenbäck, P.Svensson, "Auralization-An Overview", JAES Vol.41 No.11, 1993, 861-875
- [17] M.Mijić, "Audio sistemi", Akademska misao (2010)
- [18] ISO 3382-1: Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part 1: Performance spaces
- [19] M.Mijić, "ELA 1 – Koeficijenti apsorpcije materijala", Laboratorija za akustiku Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu, 1998.
- [20] A.Jurišić, "Gradac – rezultati areoloških istraživanja", Republički zavod za zaštitu spomenika kulture, Beograd (1989)
- [21] O.Kandić, "The Monastery of Gradac", Republički zavod za zaštitu spomenika kulture, Beograd (1987)
- [22] "Soundscape of Byzantium", *Speculum*, Vol. 92, No. S1 October 2017, pp. S321-S335

ABSTRACT

The study of soundscape in the historical context has given rise to a new field of acoustics called archaeoacoustics. In addition to many important historical buildings, the topic of such research was the acoustic characteristics of religious spaces, too. The synthesis of acoustic and historical facts about Serbian sacral spaces led to the conclusion that their concept is a multimedia topic in which sound is only one, although important component. In order to give meaning to the complex acoustic analysis results, one has to look beyond physics and recognize the interactions of sound with other applied media such as painting, architecture, music, light. This paper considers the place and role of acoustics in the context of possible multidisciplinary research of Serbian sacral spaces. The focus is on several characteristic topics: the correlation of impulse responses and physical forms of sacral spaces, the auralisation of the sound field in them to enable the relocation of research to laboratory ambient, the impact of the acoustic environment on the position of priests and chanters, as well as acoustic characterization the physical ambience from which people enter the sacred space and into which they come back.

Research of the Serbian sacral space soundscape as a multimedia phenomenon

Miomir Mijić, Miloš Bjelić, Dragana Šumarac Pavlović, Tatjana Miljković, Filip Pantelić