

AKUSTIKA I ELEKTROAKUSTIKA U SAKRALNOM PROSTORU

Ante Jergović
ELEKTRO-AKUSTIKA, Zagreb

UDK 247.9
Pregledni članak

Auktor priloga je projektant u firmi specijaliziranoj za projektiranje razglasnih sustava, arhitektonske akustike i rješavanje problema razumljivosti u posebno zahtjevnim prostorima. Nakon iznošenja osnovnih podataka o akustici i elektro-akustici, naglašava uvjete koje je potrebno ostvariti da se dobije dobra akustika crkvenog prostora. Utvrđujući kriterije za arhitektonsku akustiku crkve, Auktor upozorava na potrebu dogovora arhitekta i akustičara prije stvaranja projekta, usklađivanje materijala, volumena i osnovnog arhitektonskog rasporeda prostora da bi čujnost izgovorene riječi te glazba bili razgovjetni i ugodni za slušanje.

Akustika i elektro-akustika su dva pojma koja se vrlo često tretiraju kao jedan. Kada se spominje akustika, ljudi uglavnom pomisle na mikrofona, pojačalo tj. razglasni sustav, odnosno na elektro-akustiku. Akustika prostora tj. arhitektonska akustika, znanost je sama za sebe i kao takva vrlo važna u sakralnim prostorima.

Zadatak je arhitektonske akustike da u prostorijama stvori uvjete za dobro i ugodno slušanje. Dobra akustika se postiže zadovolje li se ovi uvjeti:

1. u prostoriji ne smije biti buke, ni unutrašnje ni one koja dolazi izvana;
2. zvuk u prostoriji mora biti dovoljno glasan na svim mjestima;
3. u prostoriji ne smije biti jeke ili flater-jeke, ni na mjestu gdje su sjedala ni ondje gdje je postavljen mikrofona;
4. glasnoća zvuka mora biti približno posvuda jednaka, što znači da na mjestima udaljenijima od izvora zvuka treba izravnom zvuku dodati onaj reflektiran od prikladno postavljenih ploha u prostoriji;
5. u prostoriji ne smiju nastati neželjene rezonancije;
6. odjek mora biti dovoljno malen da bi se izbjegla preklapanja uzastopnih zvukova (slogova i tonova) u govoru i muzici. Prostorija ipak treba da bude dovoljno "živa" na svim frekvencijama, kako bi slušanje govora i glazbe bilo popraćeno ugodnim osjećajem. Pri tome izravan zvuk mora biti u stanovitom odnosu prema reflektiranome.

Primijenimo li uvjete dobre akustike na sakralne objekte, s posebnom pažnjom se možemo osvrnuti na točku šest koja govori o pomalo kontradiktornim zahtijevima. Naime obilježja koje čine sakralni prostor-crkvu dobrom za razumljivost "službe Božje riječi", tj. govora, u isto vrijeme je čine lošom za "glazbu u bogoslužju" i obratno. Tako npr. za dobru razumljivost govora, vrijeme odjeka i volumen crkve moraju biti mali. Glavnina refleksija zvuka dolazi od stropa i nema velike potrebe za difuznošću. S druge strane, za slušanje glazbe u bogoslužju, traži se veće vrijeme odjeka pa samim time i veći volumen crkve. U ovom slučaju poželjnije su bočne refleksije nego stropne i veliki stupanj difuznosti, posebno stražnjih zidova.

Iz navedenoga razabiremo da na dobru akustiku crkve utječe u osnovi: volumen; oblik; vrijeme odjeka.

Razmotrimo li točku jedan spomenutih zahtjeva, namće nam se pitanje lociranja sakralnog objekta u urbanoj sredini. Smještaj sakralnog prostora uz bučne prometnice, tramvajske pruge, glavna raskršća, željezničke stanice, aerodrome i sl., tj. pogrešan izbor lokacije, u kasnijoj fazi znači velike napore u projektiranju, odnosno skupim građevinskim zahvatima.

Sve nas to upućuje na potrebu uključivanja akustičara već u fazi idejnog projekta, a nadalje u fazama glavnog projekta, odnosno unutrašnjeg uređenja crkve kao sakralnog prostora. Nažalost, to u našim današnjim prilikama iz mojega saznanja nije slučaj. Vrlo često se događa da arhitekti gledaju na svoj posao u prvom redu kao priliku da pokažu svoj umjetnički talent i smisao za oblikovanjem, što ih neminovno odvede u nesrazmjer između forme i funkcije bogoslužnog prostora. Ukoliko je to slučaj, a nažalost iz mogeg iskustva, u većini današnjih projekata jest, ostvarivanje zahtjeva na razumljivost govora (službe riječi), odnosno ugodnog slušanja muzike (glazbe u bogoslužju), biva prepreka u ostvarivanju prethodno navedenih vizija arhitekata.

Utvrđivanje kriterija arhitektonske akustike crkve

U prvoj fazi, tj. prije izrade idejnog projekta važno je definirati kriterije akustike crkve s odgovornim osobama, orguljašem, odnosno dirigentom, župnikom pa čak i sa članovima župskog vijeća. U svakom slučaju prilikom definiranja kriterija akustike važno je da sudjeluje i arhitekt. Čemu dati prednost: prirodnom rasprostiranju glazbe u

bogoslužju ili službi riječi Božje, temeljne su zadaće pri određivanju kriterija akustike.

Tradicionalna djela za orgulje, stvarana su u crkvama s jako velikim vremenom odjeka, starim katedralama. Razumljivost je u ovim crkvama vrlo loša. Pogledamo li u povijest liturgije, vidimo da razumljivost izgovorene riječi u davno doba i nije bila toliko bitna (bogoslužje na latinskom). U trenutku kada se to promijenilo u postojećim crkvama, liturgija je utjecala na formiranje posebnog načina govora što su ga misnici bili prinuđeni primjenjivati: povećana pozornost dikciji, sporiji govor, obvezatna retorika itd. Nove crkve toga doba su počele doživljavati promjene u arhitekturi odnosno interijeru (npr. postavljanje propovjedaonice na povišenom mjestu pri sredini lađe crkve itd.)

Postoji li jaka želja za tradicionalnom glazbom u bogoslužju, velikim pravim crkvenim orguljama s cijevnim te akademskim zborom, bogoslužni prostor treba akustički projektorati po akustičkim kriterijima bliskim kriterijima za koncertne dvorane. U tom slučaju treba donijeti i odluku o tipu razglasnog sustava koji će biti projektiran. Naime može se dogoditi da dobar razglasni sustav bude u suprotnosti s vizijom unutrašnjeg uređenja ovakvog bogoslužnog prostora. Ako odaberemo ovaj koncept, sugerirano vrijeme odjeka je nešto više od 2 sekunde na srednjim frekvencijama. Ako je želja za katedralnim zvukom nešto manje izražena može se odabrati vrijeme odjeka između 1,8-2 sekunde.

Nasuprot prethodnom konceptu, dijametralno suprotno, može se odabrati, s današnjom tehnologijom, ostvariv koncept, po kojem razglasni sustav daje dovoljnu glasnoću i razumljivost govora kao i kvalitetno pojačavanje glazbe. Taj koncept traži puno kraće vrijeme odjeka, optimalno vremenu odjeka za govor. Potrebno vrijeme odjeka za glazbu u bogoslužju moguće je ostvariti danas dostupnim kvalitetnim uređajima za umjetnu jeku i elektronskim orguljama.

I u jednom i u drugom slučaju posebnu pažnju treba posvetiti projektiranju adekvatnih razglasnih sustava. Po prvom konceptu razglasni sustav služi za ostvarivanje dovoljne glasnoće i razumljivosti izgovorene riječi, za razliku od drugoga u kojem uz prethodni zahtijev treba dovoljno kvalitetno prenijeti glazbu i osigurati iluziju katedralnog odjeka

Sjetimo li se prvog zahtjeva za dobru akustiku dolazimo i do postavljanja kriterija akustike vezane s bukom. Radi se o kontroli buke koja dolazi od izvora unutar sakralnog prostora (klima uređaja, grijanja, rasvjete, pomoćnih prostora itd., te iz vanjskog svijeta (ulice, prometnice, igrališta itd.). Problem buke koja dolazi od izvora koji se nalaze unutar

sakralnog obijekta, u prvom redu rješavamo postavljanjem kriterija na dopuštenu bučnost koju ugrađeni uređaji moraju zadovoljiti, odnosno na mjesto i način njihove ugradnje.

Što se tiče buke koja dolazi izvana, najjednostavniji način je odabiranje lokacije koja je pošteđena buke. Ako to nije izvedivo neophodno je odrediti kriterije za dopuštene razine buke u određenim prostorijama, koji se moraju poštivati tijekom projektiranja. Projektom se moraju iznaći rješenja kojima će ti kriteriji biti ispunjeni.

Ljudsko uho ne čuje sve frekvencije čujnog spektra jednako dobro. U praksi to znači da neke frekvencije iste razine čuje bolje od drugih. Zbog toga su uvedene NC krivulje za procjenu i normiranje buke po cijelom čujnom frekventnom području. Neki od tipičnih kriterija kao smjernice za postavljanje kriterija na buku su:

- lađa crkve	NC 25
- pozicija mikrofona	NC 20
- župski ured	NC 35
- pjevaonice	NC 25
- učionice	NC 30
- toaleti, hodnici	NC 45

Volumen

Kako odrediti optimalni volumen s obzirom na dobru akustiku? Kao što smo već napomenuli vrijeme odjeka izravno je ovisno o volumenu. Uobičajeno je da se volumen računa zbrajanjem površina lađe crkve, klupa, prezbiterija, kora itd., te množi s visinom. U svrhu dobre akustike volumen se određuje odnosom $m^3/vjerniku$. Taj odnos je vrlo važan jer u crkvama s relativno velikim vremenom odjeka ("živim prostorima") vjernici predstavljaju najveći iznos apsorpcije zvuka, a vrijeme odjeka ovisi o volumenu i ukupnoj apsorpciji.

Kao što je već rečeno akustički "živa crkva", primjerenija je za izvođenje glazbe u bogoslužju za razliku od akustički "mrtve crkve", koja je pak bolja za razumljivost govora. Kao smjernice za određivanje volumena u prvim fazama projektiranja mogu poslužiti vrijednosti:

<i>Crkva</i> -sve ide prko razglasa/akustički gluha/	3 - 7 $m^3/sjedalu$
<i>Crkva</i> -između akustički žive i mrtve	6 - 8 $m^3/sjedalu$
<i>Crkva</i> - katedralni zvuk	7 - 10+ $m^3/sjedalu$

Treba imati u vidu da veći volumeni od navedenih, omogućavaju veću fleksibilnost pri postavljanju određenih upojnika zvuka i difuzora za kontrolu jeke, flater jeke i ostalih akustičkih anomalija crkve.

Uobičajeni oblici

Uz volumen i vrijeme odjeka, odabir pravog oblika crkve kao bogoslužnog prostora veoma je važan preduvjet dobre akustike. Odabirom pak neprikladnog oblika mogu nastati u završnim fazama vrlo veliki akustički nedostaci, koje je kasnije jako skupo, a vrlo često i nemoguće potpuno otkloniti.

Kroz povijest susrećemo razne oblike sakralnih prostora koje pripisujemo i određenim stilovima. Tako da danas, kao posljedicom kreativnosti arhitekata, nailazimo na zaista neuobičajena rješenja, koja su vrlo često u potpunoj suprotnosti sa zahtjevima na dobru akustiku

Analizom oblika bogoslužnih prostora nailazimo najčešće na nekoliko oblika koji su više ili manje prihvatljivi s akustičkog stanovišta. Uobičajeni oblici su, pravokutni, križ, lepeza, krug te njihove kombinacije.

U *pravokutnom obliku*, ako su odnosi dužine, širine te visine ispravno odabrani, a prezbiterij smješten na jednoj strani s kraćom stranicom, zvuk bez problema putuje od misnika do stražnjeg dijela crkve. Uz pretpostavku da je vrijeme odjeka u granicama normale, refleksije od stražnjeg zida imaju na razinu zvučnog tlaka u klupama veću korist od većine ostalih oblika. Oblik stropa u ovom slučaju uglavnom ne predstavlja problem, osim za slučaj zakrivljenog stropa čiji je radius u visini ušiju vjernika. Stražnji zid može prouzročiti jeku, o čemu treba voditi računa. Rješenje u tom slučaju je razbijanje zida neravnim površinama, tj. difuzorima ili tretmanom s akustičkim upojnicima. Da bi zadržali pogodnosti stražnjih refleksija sugeriraju se rješenja s difuzorima.

Oblik križa kao oblik bogoslužnog prostora crkve varira od jednostavnog križa s jednakim krakovima pa do katedralnog plana s dugačkom lađom i kratkim poprečnim (bočnim) lađama. Ako su poprečne lađe plitke u odnosu na njihovu širinu, imamo osjećaj jednog akustičkog prostora. U slučaju da su bočne lađe dugačke u odnosu na svoju širinu tada glavna i bočna lađa imaju različita vremena odjeka, a to zahtijeva posebne analize. Stražnje refleksije zvuka su u ovom obliku uglavnom korisne, ali je ispunjenje klupa njihovim zvukom prekinuto dubljim bočnim lađama. Strop, koji je isto u obliku križa, mora biti dodatno

analiziran na refleksije, posebno u nerijetkim slučajevima kupola i kružnih oblika, koji mogu biti uzrokom flater jeke

Oblik lepeze je normalan rezultat proizišao iz težnje da što više klupa i vjernika bude primaknuto oltaru (II. vatikanski sabor). Bočni zidovi uglavnom su ravni, a stražnji zakrivljeni, a zakrivljenje slijedi liniju klupa/sjedala. Katkad se može naići i na kor koji se spušta stepeničasto i do samog pezbiterija. Negativne refleksije fokusiranja od ovakvih stražnjih zidova, može se ublažiti njihovom difuznošću.

Određena zakrivljenja zidova u lepezi može biti uzrokom jeke, koja nastaje zbog dugog puta refleksija. Pažljivo projektiran konveksni strop u ovom obliku može dati osjećaj ugodnog okruženja zvukom. Oblik lepeze može biti i uzrokom većih akustičkih nedostataka ako je jako širok, a stražnji zid i zid kora imaju kružni oblik. Navedene površine su uzrokom jake i fokusirajuće jeke.

Kružni oblik je akustički gledano najopasniji oblik, ako ga se odabere kao oblik bogoslužnog prostora-crkve. Zaobljeni zidovi mogu prouzročiti velike nedostatke prouzročene efektom fokusiranja. U praksi to znači da imamo velike oscilacije u rasporedu razina zvučne energije u prostoru. Bez obzira na to primjenjujemo li po zidovima tretman apsorpcije ili difuzije, ovakav oblik ima stalnu tendenciju efekta fokusiranja.

Ako se ipak inzistira na ovakovom obliku, projektu se mora pristupiti s velikom pozornošću. Određena kombinacija difuzije i apsorpcije, uz pažljiv odabir pozicije presbiterija i kora, može dati prihvatljive rezultate.

Strop u kružnom obliku ili u obliku kupole također je kritičan. Projektiranje stropa ovakvog oblika mora biti temeljeno na refleksijskim materijalima i razbijenim formama.

Završna obrada-namještaj

Gledano akustički, na isti način kao i forme, i materijali završne obrade i klupe te svi elementi interijera trebaju biti u službi funkcije. Danas imamo na raspolaganju više nego ikada raznih vrsta materijala koji mogu biti upotrijebljeni za izradu interijera bogoslužnog prostora-crkve. Jednom odabrani, i uporabljeni, postaju čimbenici rezultirajuće akustike crkve. Svi materijali u prostoru uključujući i namještaj, slike, skulpture itd. su akustički materijali sa svojim karakterističnim svojstvima, bez

obzira na to bili oni reflektori ili apsorberi. Neki se ponašaju kao reflektori na jednim frekvencijama, a kao upojnici zvuka na drugim.

Najčešće korišteni materijali su: gips, tepisi i tepisoni.

Gips ploče se nerijetko smatraju akustičkim materijalima. Za zvuk frekvencije 250 Hz i više ove ploče su reflektor kao i žbuka, panel ploče, beton i ostali tvrdi materijali. Ispod 250 Hz, gipsane ploče reagiraju na zvuk kao membranski upojnici. Gipsane ploče mogu biti ozbiljan čimbenik u akustici kada ih se koristi u velikim količinama na zidovima i stropovima, posebno u crkvama gdje se namjerava koristiti prave crkvene orgulje s cijevima. U takvim slučajevima zbog apsorpcije 250 Hz i niže, ne vodi li se o tome dovoljno računa, gipsane ploče mogu ozbiljno ugroziti zvuk orgulja. Treba napomenuti da se na nižim frekvencijama iverice, šper ploče, panel ploče, staklene plohe i slični tvrdi materijali u obliku "ploča", ponašaju slično gipsanim pločama.

Tepisi, tapisoni i sl. mogu imati vrlo veliki utjecaj na akustiku crkve. Ukoliko je odnos volumen/sjedalo velik, uporabom tepiha možemo kontrolirati veliko vrijeme odjeka. Treba napomenuti da nije preporučljivo koristiti tepihe i slične apsorpcione materijale na pjevačkom koru, umjesto njih treba uporabiti dobro dizajnirane refleksijske površine. Kada su tepisi i tapisoni u pitanju treba imati na umu da na tržištu ima jako puno različitih tepiha koji imaju i različite karakteristike apsorpcije.

Tretman pojedinih zidova akustičkim upojnicima u crkvama se ne koristi samo za ispravno uravnoteženje vremena odjeka, već naročito za tretman površina koje su uzrokom jeke, flater jeke i sl. Problem refleksijskih površina može biti vrlo ozbiljan kada je izvor zvuka zvučnička skupina, od koje refleksija dolazi na mikrofoni i time prouzrokuje mikrofoniju. Zvučnička skupina je točkasti izvor zvuka smješten iznad misnika; ravne plohe korā i stražnjeg zida mogu fokusirati zvuk iz zvučnika natrag na prednje klupe, koje čujemo kao jeku. Bočni zidovi mogu također s refleksijama zvuka biti uzrokom neugodne jeke, posebno na udaljenim klupama, ovisno o refleksijama prostorije.

Ako te plohe nisu razbijene, difuzne, kako bi onemogućile fokusirane refleksije, moraju biti jako apsorpcione. Tretman upojnicima mora biti izveden vrlo pažljivo jer može imati veći utjecaj na izgled interijera.

Zaključak

Dobrom suradnjom akustičara i arhitekta od samog početka projektiranja pa do kraja izvedbe crkve, vrlo je teško uočiti što je izvedeno zbog dobre akustike, a što zbog izgleda interijera. Dakle, moguće je ostvariti i vizualni i funkcionalni zahtjev. Dobra akustika crkve jedan je od funkcionalnih zahtjeva. A mogli bismo s pravom istaknuti: i jedan od najvažnijih!