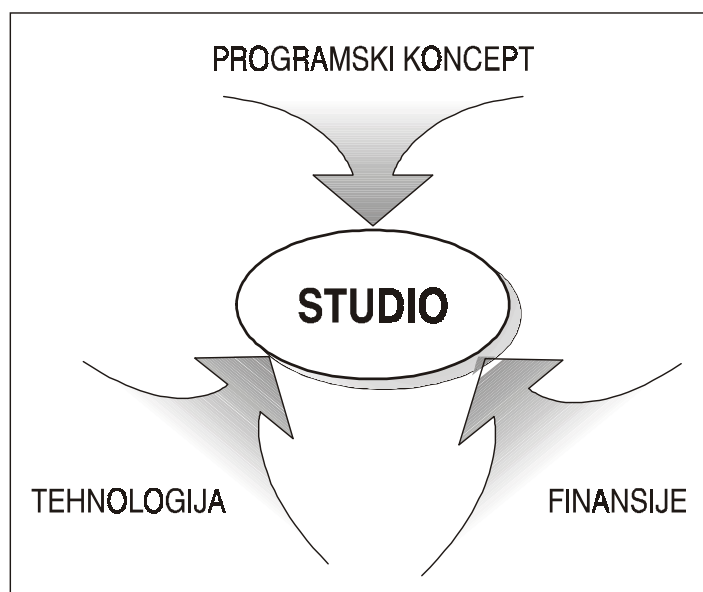


Akusti~ki dizajn studijskih prostora radiodifuznih stanica

Miomir Miji}

1. UVOD

Studijski prostori radiodifuznih stanica, radio ili TV, predstavljaju specifi~no mesto gde se su-eljavaju brojni tehnolo{ki i korisni~ki zahtevi. Karakteristi~na je velika raznorodnost tih zahteva, a uspe{no zadovoljavanje svakog od njih doprinosi ukupnom kvalitetu studijskog prostora. Zato pojam kvaliteta radiodifuznog studija predstavlja vi{edimenzionu veli~inu, a projektovanje i izgradnja ovakvih objekata zahteva razumevanje potreba korisnika i poznavanje razli~itih in`enjerskih oblasti. Me|usobno usagla{avanje ~esto suprotstavljenih zahteva u procesu nastanka studija podrazumeva sagledavanje zna~aja svakog od njih i spremnost za razli~ite kompromise.



Slika 1 - Simboli~ki prikaz procesa nastanka studija

Studio u radiodifuznoj stanici nastaje kao rezultat ravnote`e tri "sile": programskog koncepta, finansijskih mogu}nosti investitora i tehnologije, {to je simboli~no prikazano na slici 1. Na po~etku postoji samo "sila" programskog koncepta koja prezentira ideje vlasnika stanice. Finansijske mogu}nosti i mogu}nosti tehnologije predstavljaju "sile" koje deluju tokom realizacije takve po~etne ideje. Ova tri dejstva kroz me|usobno uravnote`enje kao rezultat daju studio.

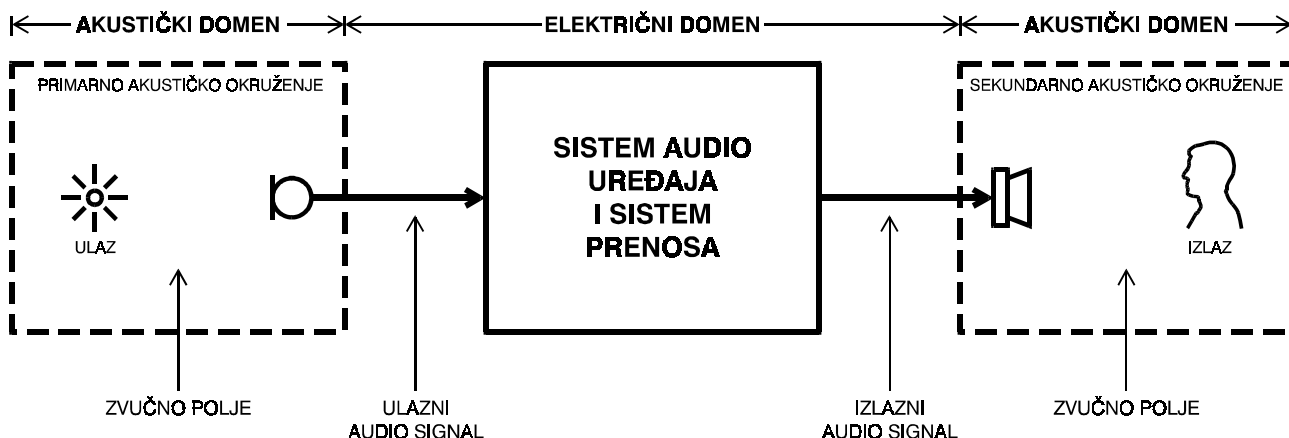
U tehnolo{koj komponenti sa slike 1 nalazi se i akustika. Njeno prisustvo je posledica ~injenice da se u radiodifuziji vr{i prenos zvu~nih informacija, zbog ~ega postoji zna~ajan akusti~ki aspekt kvaliteta studija. Otuda pojam akusti~kog dizajna studijskih

prostora obuhvata analizu akusti-kih zahteva i principe na kojima se zasniva njihova materijalizacija.

2. AKUSTI^KI ASPEKTI RADIODIFUZNOG PRENOSA ZVUKA

Lanac radiodifuznog prenosa zvuka, u kome je studio radio ili TV stanice prva karika, ima zadatak da prenese zvu-
ne informacije od nekog izvora zvuka u studiju do prostorno udaljenih slu{alaca. Zvu-
ne informacije su na tom putu kodovane signalom radijskog programa ili audio komponentom signala TV programa. Zato sistem radiodifuznog prenosa zvuka predstavlja samo jednu od brojnih varijanti op{te definicije audio sistema. Za njegovo predstavljanje mo`e se iskoristiti poznata generalizovana blok {ema audio sistema, prikazana na slici 2 [1,2].

Na po-etku lanca prenosa zvuka, tamo gde se nalazi mikrofonski sistem koji zvu-
ne informacije registruje, i na njegovom kraju, na mestu slu{aoca koji ih prima, informacije se nalaze u akusti-
kom domenu kodovane parametrima zvu-nog polja. Primarni akusti-ki domen sa slike, na ulazu u sistem, predstavlja zvu-
no polje u prostoriji studija. Sekundarni akusti-ki domen sa izlaza sistema nalazi se u prostoru gde je slu{alac programa. Taj slu{alac je i cilj postojanja ovakvog lanca prenosa informacija, pa zato njegovi stavovi predstavljaju merilo kvaliteta prenosnog sistema u celini.



Slika 2 - Generalizovana blok {ema audio sistema koja se mo`e primeniti i na radiodifuziju zvuka

Sekundarni domen, u smislu koji on ima na generalizovanoj blok {emi, pojavljuje se i u okviru studijskog prostora, na mestu gde realizator programa vr{i kontrolu audio signala slu{anjem zvuka reprodukovano^g monitorskim zvu-nicima. To je prostor tehni-ke re`ije (u anglosaksonskoj literaturi ozna-ena kao "control room"), pa se ovaj sekundarni akusti-ki domen iz generalizovane blok {eme audio sistema javlja i kao element u povratnoj sprezi kontrole kvaliteta signala.

Sa prikazane blok {eme je jasno da ukupni odziv radiodifuznog sistema, od izvora zvu-nih informacija do uha slu{aoca, zavisi izme|u ostalog i od odziva u oba akusti-ka do-
mena. Na odziv sekundarnog akusti-kog domena sa kraja lanca prenosa, gde se nalazi slu{alac, ne mo`e se uticati iz radiodifuzne stanice, ali su zato primarni akusti-ki domen i sekundarni domen u prostoru tehni-ke re`ije u potpunosti odre|eni akusti-kim

dizajnom studijskih prostora stanice. Zato se kvalitet tog segmenta u procesu projektovanja i izgradnje najneposrednije odra`ava na kvalitet emitovanog audio signala.

3. PROGRAMSKI KONCEPT STANICE KAO OSNOVA AKUSTI^KOG DIZAJNA

^injenica je da danas ne postoji jedinstven pojam radijskog, odnosno TV programa. U pristupu njihovoj realizaciji mogu se javiti veoma velike razlike, od minimalisti-kih do veoma slo`enih, ~ak grandioznih oblika produkcije. Sve razlike me|u oblicima programa neposredno se odra`avaju i na zahteve prema studijskim prostorima, a time i na njihov akusti-ki dizajn. Sve to proizilazi iz unapred postavljenih programskih ciljeva i zadataka, odnosno oblika programa utvr|enih programskim konceptom. Na taj na-in, osnovni dokument radija ili televizije, programski koncept, ima svoj zna-aj ne samo u procesu dobijanja dozvole kao obavezni prilog, ve} predstavlja polaznu ta-ku u procesu projektovanja studijskog prostora i prate}e tehnologije.

Su{tina ovih razlika najlak{e se mo`e ilustrovati na primeru radio stanice. Njene studijske potrebe zavise od toga da li se program pravi sa ciljem da to bude mali muzi-ki radio (DJ, odnosno "one man show"), komercijalni, prete`no muzi-ki radio, informativno-muzi-ki radio, informativni radio ili kao program velikih sopstvenih produkcionih zahteva. Ovu podelu treba shvatiti uslovno, a sigurno je da bi se pa`ljivijom analizom mogle uvesti jo{ neke kategorije, ili ~ak sasvim druga-ija podela. Analogno tome, i televizijski program se mo`e proizvoditi na razli-ite na-ine i sa razli-itom slo`eno{u studijskog rada, od minimalisti-kih formi, koje zahtevaju samo mali najavni studio, do slo`enih formi koje tra`e velike, dobro opremljene studijske prostore.

Svaka od mogu}ih varijanti programa ima svoje specifi-ke zahteve koje studijski prostor treba da zadovolji. Koriste}i opet primer radio stanice, studijski relevantni elementi u kojima se javljaju razlike mogu biti:

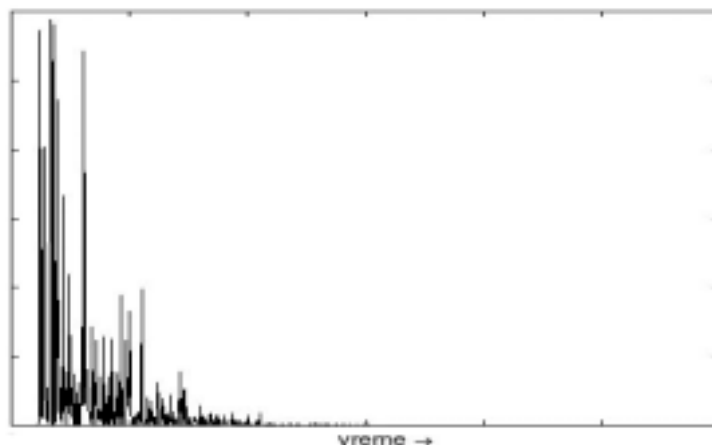
- primenjeni koncept mikrofonske tehnike studijskog rada,
- najve}i istovremeni broj u-esnika (govornika) u studiju,
- planirani nivo sopstvene produkcije (d`inglovi, reklame),
- obim i vrsta novinarskog rada,
- primenjena novinarska tehnologija za snimanje na terenu,
- postojanje odvijanih tehni-kih prostora za produkciju i emitovanje programa itd.

Ukratko, razlike u programskom konceptu stvaraju razlike u kreativnim zahtevima, {to se dalje preslikava na prostorne, tehnolo{ke i akusti-ke zahteve.

4. FIZI^KE OSOBINE ZVU^NOG POLJA U STUDIJSKOM PROSTORU

Zvu-no polje u studijskim prostorijama podle`e akusti-kim zakonima koji va`e za sve zatvorene prostore. Najop{tiji prikaz svakog prenosnog sistema, pa i prostorije, jeste njen impulsni odziv. Na slici 3 prikazan je tipi-an oblik impulsnog odziva dobijen merenjem u jednoj obi-noj prostorije. Njegov op{ti oblik je opadaju}i u vremenu, asimptotski te`e}i nuli. Prvu komponentu u odzivu stvara direktan zvuk, tj zvu-ni talas koji kre}e od izvora i najkra}im putem dospeva u posmatranu ta-ku prostora. Nakon direktnog zvuka javlja se mno{tvo refleksija koje nastaju kao posledica kretanja zvu-ke energije unutar fizi-ki ograni-enog prostora, reflektuju}i se uzastopno od grani-nih povr{ina. Pojava

reflektovanog zvuka je osnovna karakteristika zvu-nog polja u prostorijama. Fizi-ki proces formiranja sikscesivnih refleksija naziva se reverberacija i odre|en je veli-inom prostorije i sposobnostima povr{ina u njoj da apsorbuju zvu-nu energiju.



Slika 3 - Tipi-an izgled impulsnog odziva prostorije

Subjektivni aspekti percepcije zvuka omogu}avaju izvesno pojednostavljanje u analizama impulsnih odziva studijskih prostora i njihovo razdvajanje na tri komponente: direktan zvuk, prve refleksije i reflektovani zvuk. Direktan zvuk esencijalno sadr`i sve informacije koje je emitovao izvor bez eventualnih promena usled raznih spolja{njih uticaja. Zato pretvaranje direktnog zvuka u signal predstavlja osnovni cilj u procesu radiodifuznog prenosa zvu-nih informacija. Principi izgradnje studija zasnivaju se na tom zahtevu.

Pri prostiranju direktan zvuk podle`e fizi-kom zakonu opadanja energije talasa sa udaljavanjem od izvora, zbog `ega se sa svakim udvostru`avanjem rastojanja od izvora njegov nivo smanjuje za po 6 dB (tz. zakon "6 dB"). Ova `injenica se sadr`i u izrazu za nivo direktnog zvuka:

$$L_{dir} = L_w - 20\log(r) + 11 \quad [dB] \quad (1)$$

gde je L_w nivo snage zvu-nog izvora u dB (re 10^{-12} W), a r rastojanje od izvora zvuka u metrima. Ako zvu-ni izvor ima usmereno zra-enje, onda je u ugaonoj zoni oko pravca njegove ose nivo zvuka ne{to ve}i od vrednosti definisane izrazom (1). To pove}anje je srazmerno stepenu usmerenosti. Na ra-un toga, u pravcima izvan zone ose izvora nivo direktnog zvuka bi}e manji od vrednosti utvr|ene izrazom (1).

Prve refleksije `ine sve relativno malobrojne komponente koje stizu u relativno kratkom vremenskom intervalu nakon direktnog zvuka. Grupa prvih refleksija je vidljiva i na slici 3. One su zna-ajne za subjektivni do`ivljaj zvu-nog polja, kao {to je preciznost prostorne dimenzije stereo zvu-ne slike, subjektivni do`ivljaj prostora itd.

Tre}u komponentu zvu-nog polja, reflektovani zvuk, `ine sve ostale komponente odziva sa slike 3, nastale u procesu reverberacije. Proces reverberacije se pojednostavljeno mo`e opisati obvojnicom impulsnog odziva, odnosno brzinom kojom intenzitet komponenti u njemu opada. Istorijski je sticaj okolnosti da se ovaj nagib defini}e parametrom koji se naziva vreme reverberacije (T) i predstavlja interval vremena koji protekne dok se srednji nivo zvuka u procesu opadanja smanji za 60 dB. U najve}em broju realnih prostorija vrednost vremena reverberacije je dovoljno ta-no definisana izrazom:

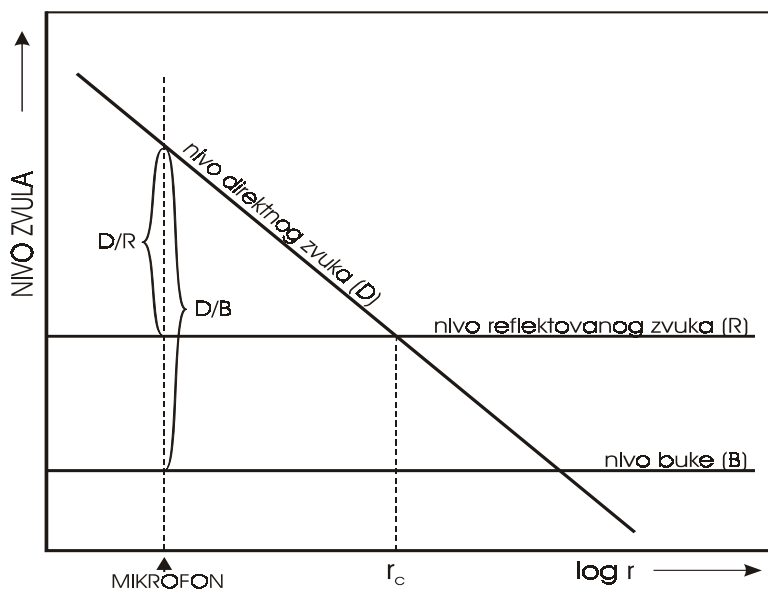
$$T = \frac{0,161 V}{A} = \frac{0,161 V}{\sum_i S_i \alpha_i + \sum_j A_j} \quad (2)$$

gde je A ekvivalentna apsorpciona površina u prostoriji. Ona pokazuje ukupne gubitke zvučne energije, a definisana je kao suma pojedinačnih gubitaka na svim segmentima unutrašnjih površina i na prisutnim predmetima. Zbog toga je ekvivalentna apsorpciona površina predstavljena sumom proizvoda površine S_i i koeficijenta apsorpcije α_i svih unutrašnjih površina, čemu je dodata i suma apsorpcionih površina A_j svih pojedinačnih predmeta unetih u prostoriju. U ovu grupu spada i apsorpcija prisutnih ljudi.

U energetskom smislu reflektovan zvuk je predstavljen sumom pojedinačnih energija velikog broja reflektovanih talasa. činjenica da se vrednosti pojedinačnih komponenti u sumi refleksija menjaju od mesta do mesta u prostoriji nema bitnog uticaja na vrednost njihovog zbira. Ako je broj komponenti u sumi dovoljno veliki, energija reflektovanog zvuka ima približno istu vrednost u svim tačkama prostorije. Pojednostavljujući energetski model zvučnog polja, nivo ove komponente u prostoriji u kojoj radi neusmereni zvučni izvor definisan je izrazom:

$$L_{ref} = L_w - 10 \log\left(\frac{V}{T}\right) + 14 \quad [dB] \quad (3)$$

gde je L_w nivo snage neusmerenog zvučnog izvora, V zapremina prostorije i T vreme reverberacije u njoj. Izraz je dovoljno tačan u većini običnih prostorija.



Slika 4 - Komponente zvučnog polja u studiju u funkciji rastojanja od izvora.

Na slici 4 grafički su prikazane vrednosti nivoa direktnog i reflektovanog zvuka u funkciji udaljenosti od zvučnog izvora, definisane izrazima (1) i (3). Vidi se zakon opadanja direktnog zvuka, definisan izrazom (1) i konstantnost nivoa reflektovanog zvuka utvrđena izrazom (3). U delu prostora neposredno oko izvora komponenta direktnog zvuka energetski dominira, a na većim rastojanjima dominira reflektovani zvuk.

Sa dijagrama na slici 4 vidi se da postoji neko rastojanje od izvora na kome komponenta direktnog i reflektovanog zvuka postaju jednake, na slici označeno sa r_c . Naziva se "poluprečnik zone direktnog zvuka", a često se koristi i naziv "kritično rastojanje". Iz izraza (1) i (3) vidi se da kritično rastojanje ne zavisi od snage izvora zvuka, jer se njenom promenom jednako menjaju nivoi i direktnog i reflektovanog zvuka (promenom nivoa snage izvora obe prave na slici transliraju se zajedno naviše ili naniže). Zato odnos ove dve komponente predstavlja karakteristiku prostorije. Uz izvesna zanemarivanja vrednost r_c se može izraziti izrazom:

$$r_c = 0,057 \sqrt{\frac{V}{T}} \quad (4)$$

gde je V zapremina prostorije (m^3) a T vreme reverberacije (s).

Značaj veličine r_c u prostoriji radiodifuznog studija proizilazi iz činjenice da u mikrofonskom signalu mora dominirati direktna komponenta da bi se ostvario njegov adekvatan informativni sadržaj. Formule pokazuju da kritično rastojanje zavisi od akustičkih i geometrijskih karakteristika studija. U unapred zadatim dimenzijama prostorije njegova veličina zavisi samo od rezultata akustičkog dizajna, odnosno unete akustičke apsorpcije, shodno definiciji iz izraza (2). Na veličinu r_c u izvesnoj meri može uticati i usmerenost izvora, jer se time povećava nivo direktnog zvuka u osi izvora. Zbog toga može u pravcu ose zračenja usmerenog izvora kritično rastojanje biti nešto veće od vrednosti definisane izrazom (3) (srazmerno drugom korenu faktora usmerenosti).

Nezavisno od rada zvučnog izvora, u studiju uvek postoje razni "parazitski" zvukovi koji kroz zidove, tavanicu, pod ili eventualne otvore dospevaju iz okoline i nazivaju se zbirnim imenom ambijentalna buka. U svakoj takvoj studiji ambijentalna buka je rezultat energetskog sumiranja relativno velikog broja komponenti, kao što je to slučaj sa reflektovanim zvukom. Zbog toga i nivo buke ima približno istu vrednost po celom prostoru, što je predstavljeno na slici 4.

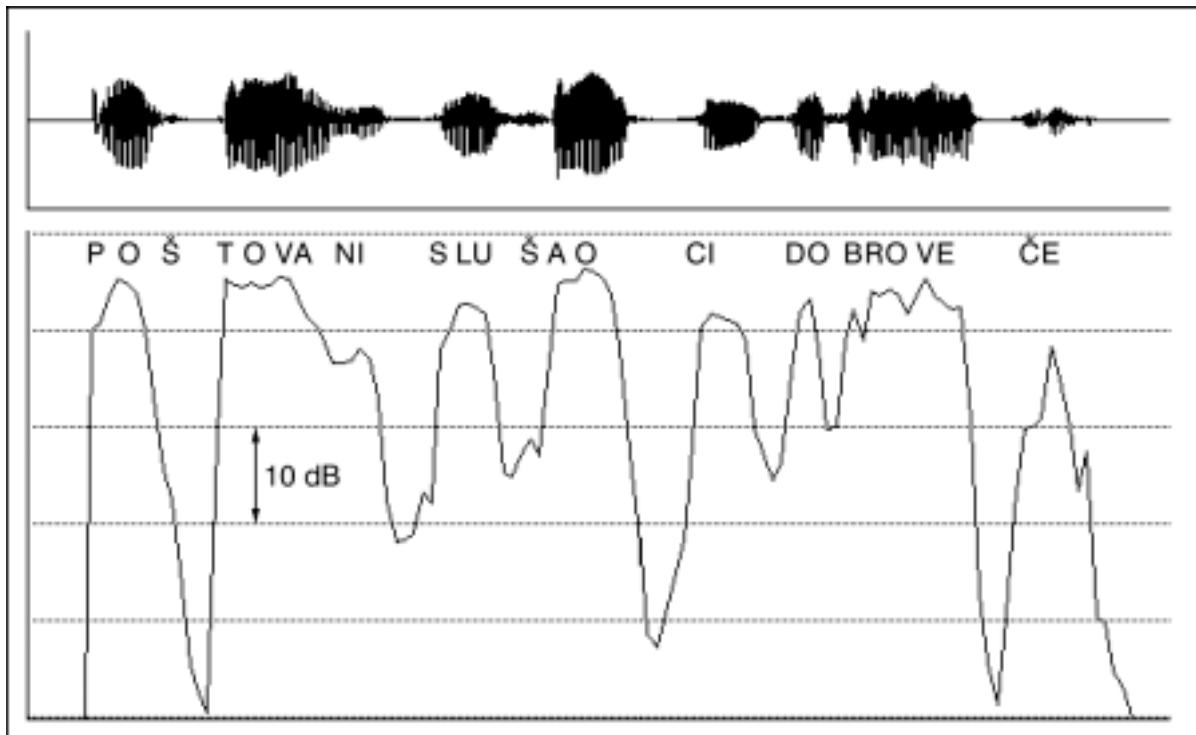
U zvučnom polju unutar prostorija postoje akustičke pojave koje se ne mogu opisati jednostavnom energetskom analizom, što je omogućilo utvrđivanje vrednosti nivoa direktnog i reflektovanog zvuka. Za njihovu analizu neophodna je primena složenijih matematičkih modela, pre svega talasne teorije. Talasne pojave imaju dva globalna uticaja na strukturu zvučnog polja u prostorijama: u pojedinim okolnostima mogu izazvati efekte koji unose promene u spektralnom sadržaju reflektovanog zvuka (koloracija) i realne vrednosti nivoa reflektovanog zvuka i ambijentalne buke mogu u izvesnoj meri da fluktuiraju po prostoriji. Najznačajnija talasna pojava jesu sopstvene rezonance prostorije. One se javljaju uvek kada se sticajem geometrijskih okolnosti omogućuje formiranje zatvorene putanje kretanja energije u prostoru. Fizička manifestacija rezonantnih pojava su stojeći talasi. Oni utiču na promene spektralnog sadržaja zvuka u funkciji koordinata položaja u prostoru. Kontrola izraženosti talasnih fenomena u studijskim prostorijama takođe je predmet akustičkog dizajna.

Prema tome, karakteristike obe konstantne komponente zvučnog polja, reflektovanog zvuka i ambijentalna buka, određene su akustičkim dizajnom studijskog prostora. Pri tome, komponentu reflektovanog zvuka i minimizaciju efekata talasnih pojava određuju geometrijske osobine prostora i apsorpciona svojstva primenjenih materijala. Ovaj aspekt rešavanja dizajna naziva se akustička obrada studija. Nivo ambijentalne buke određen je sposobnostima pregradnih konstrukcija da zaustave zvučnu energiju iz okoline. Ovaj segment akustičkog dizajna naziva se zvučna zaštita studija. Građevinske i enterijerske mere kojima se rešavaju ova dva segmenta međusobno su različite, pa se i u projektnoj dokumentaciji studijskih prostora posebno obrađuju.

5. ZNA^AJ AKUSTI^KIH OSOBINA STUDIJA

Studijski prostor u radiodifuznoj stanici postoji samo kada se u njemu pojavljuju `ivi izvori zvuka (govornici) a audio signal dobija mikrofonom. Samim tim, u radiodifuznim stanicama koje emituju samo gotove snimke, gde nema mikrofona, ne postavlja se pitanje akusti-kih osobina studija.

Za kvalitet percepcije zvu-nih informacija u radiodifuziji direktna komponenta zvu-nog polja predstavlja koristan signal, a reflektovana komponenta i ambijentalna buka predstavljaju maskiraju}e elemente. Istovremeno, reflektovani zvuk je nosilac informacija o prostoriji u kojoj se nalazi izvor a ambijentalna buka sadr`i informacije o {irem okru`enju. Zato u nekim okolnostima reflektovani zvuk i buka mogu postati posebna vrsta korisnih zvukova, ali se ni tada ne elimini}e efekat maskiranja osnovne informacije, ako u tom trenutku postoji.



Slika 5 - Promena nivoa signala govora pri izgovoru jedne re-enice

Efekat maskiranja zvu-nih informacija koje emituje neki izvor, kao pojava, za slu{aoca nastaje njihovim prekrivanjem drugim prisutnim zvucima u ambijentu. Zato je za kvalitet radiodifuznog prenosa zna-ajan odnos nivoa direktnog i reflektovanog zvuka (D/R), kao i odnos direktnog zvuka i ambijentalne buke (D/B) na mestu gde se nalazi udaljeni slu{alac. Signal na izlazu mikrofona sadr`i iste tri komponente kao i zvu-no polje, pa se odnos nivoa zvuka u studiju preslikava na odnos nivoa u mikrofonskom signalu. Veli-ine D/R i D/B u radiodifuznom signalu odre|uje pozicija mikrofona u datim uslovima u odnosu na zvu-ni izvor, kao {to je ozna-eno na slici 4.

Maskiranje, odnosno prekrivanje zvu-nih informacija, mo`e nastati na dva na-ina. Prvi na-in je energetsko prekrivanje koje nastaje pojavom nekog drugog signala. Ono se javlja na mestima dovoljno udaljenim od izvora gde ambijentalna buka prekriva energiju direktnog zvuka. Drugi na-in je vremensko prekrivanje reverberacijom, odnosno

reflektovanim zvukom. Ono se može nasvati i "samomaskiranje" jer je to maskiranje istim signalom kada reflektovani zvuk, koji uvek kasni u odnosu na direktni, prekriva kasnije delove korisnog zvuka.

Svaka korisna komponenta zvuka koja opadne ispod nivoa maskirajućeg zvuka postaje nedostupna slušaocu, ili se za njenu percepciju zahteva povećana koncentracija. Kriterijum dovoljno velike vrednosti odnosa D/R i D/B proizilazi iz minimuma koji onemogućava maskiranje najtiših segmenata zvuka, što je od najvećeg značaja kada se prenosi govor. Da bi se ilustrovala specifičnost govornog signala, na slici 5 je prikazana vremenska promena nivoa govora tokom jedne rečenice. Uočava se karakteristična velika dinamika govornog signala, jer nivo najtiših konsonanata može biti čak za oko 30 dB niži od najjačih vokala. Zato za ocenu kvaliteta prenosa govora nije relevantan srednji nivo njegovog signala, koji se prati modulometrima, već nivo u periodima najtiših segmenata. Prekrivanje makar jednog, najtišeg konsonanta na mestu slušaoca utiče na gubljenje smisla reči. Ta činjenica čini složenijim ostvarivanje dovoljnih vrednosti D/R i D/B.

Sa slike 4 se može videti da se na veličinu odnosa D/R i D/B u mikrofonskom signalu može uticati na dva načina:

- izborom načina rada sa mikrofonom u studiju i
- akustičkim karakteristikama studijskog prostora.

Postavljanje mikrofona u odnosu na izvore zvuka u studiju i izbor njihovih karakteristika prema datim uslovima naziva se mikrofonski koncept. U domenu akustičkih karakteristika obrada studija ima za cilj smanjenje nivoa reflektovanog zvuka, a zvučna zaštita doprinosi smanjenju nivoa ambijentalne buke.

U literaturi se mogu naći različiti kriterijumi za dozvoljene nivoe ambijentalne buke i maksimalno vreme reverberacije u prostorima studija. Zbog tesne veze sa konceptom mikrofonskog rada u praksi su moguće tolerancije u relativno širokim granicama. Korišćenje bliže postavljenih mikrofona omogućava manje akustičke intervencije, a primena udaljenih mikrofona nužno zahteva primenu ozbiljnih mera akustičke obrade i zvučne zaštite. Sa jedne strane, radijski program se može emitovati uz otvoren prozor u spikerskom studiju, a sa druge postoje ekstremni akustički zahtevi u studijima za TV produkciju dramskog programa.

Govoreći o značaju akustičkih osobina studijskih prostora za rad u njima, osim aspekta dobijanja kvalitetnog audio signala, moraju se pomenuti i subjektivni efekti na ljude koji su posledica akustičkog dizajna. Osobe bez studijskog iskustva, kao što su u praksi svi gosti u radijskim ili TV emisijama, imaju poseban, uglavnom neprijatan doživljaj prigušenog prostora, što znači studija sa veoma malim vremenom reverberacije i sa niskim nivoom ambijentalne buke. Zato problem akustičke obrade u studijima gde se planira dovođenje gostiju od kojih se očekuje da govore sa punom koncentracijom može da ima i taj aspekt negativnih subjektivnih efekata o kome se u nekim okolnostima mora voditi računa. U rešavanju ovoga problema poželjan je kompromis između nivoa obrade i primenjenog mikrofonskog koncepta, a značajnu ulogu u tom kontekstu dobija i vizuelni izgled enterijera.

6. ZNAČAJ AKUSTIČKIH OSOBINA REČIJE

Prostor tehničke reči je radodifuzne stanice sa akustičkog aspekta predstavlja okruženje u kome se vrši monitoring, što znači kontrola kvaliteta zvučne slike slušanjem reprodukcije pomoću zvučnika. Karakteristika prenosnog sistema zvučnik-uho realizatora

programa direktno utiče na kvalitet monitoringa. Kada se stvara sopstveni signal pomoću mikrofona u studiju akustički uslovi u režiji mogu značajno uticati na kvalitet emitovanog zvuka.

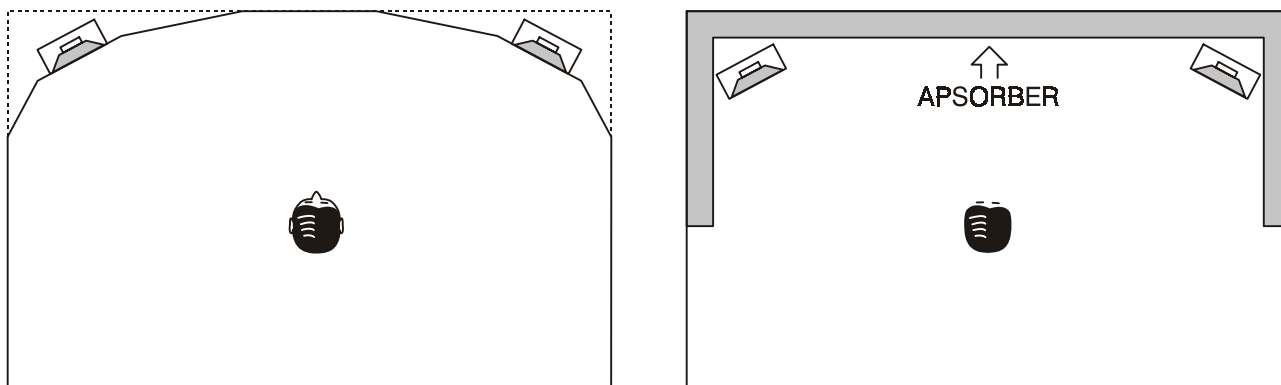
Ako je koncept programa takav da stanica isključivo emituje program sa gotovih snimaka napravljenih u nekim drugim uslova (tržišni proizvodi audio i video produkcije, snimci napravljeni u posebnom produkcionom studiju itd.) akustički uslovi u režiji nemaju bitnog značaja jer realizator programa ne utiče na kvalitet zvučne slike. Ostaje samo potreba opšte kontrole kvaliteta, pre svega prisutnosti signala (evidencija da program "ide") i kontrola njegovog nivoa. Akustički dizajn u takvim okolnostima svodi se, eventualno, na problem ugrožavanja neposredne okoline preglasnom reprodukcijom zvuka iz monitorskih zvučnika i na akustički komfor realizatora programa.

Za razliku od studija, zvučno polje u prostoru režije pri kontroli programa uobičajeno odlikuju relativno visoki nivoi direktnog zvuka koje stvaraju monitorski zvučnici. Zbog toga se u tehničkim režijama problem obezbeđenja dovoljno velikog odnosa nivoa direktnog zvuka i ambijentalne buke (D/B sa slike 4) uglavnom ne postavlja, osim u nekim ekstremnim uslovima. Zato je u akustičkom dizajnu režije osnovni kriterijum odnos direktnog i reflektovanog zvuka na mestu slušanja, jer od toga zavisi koliki će biti doprinos prostorije u onome što realizator čuje kada ocenjuje kvalitet signala, odnosno koliki će biti efekat vremenskog prekrivanja signala.

Povećavanje odnosa D/R u prostoru režije zahteva ili približavanje zvučnika ili smanjivanje nivoa reflektovanog zvuka, što znači smanjenje vrednosti vremena reverberacije. Zbog karakteristika zvučnika i zbog uobičajenog rasporeda audio opreme, što je diktirano ergonomijom i dimenzijama osnovnih uređaja, u režiji su ograničene mogućnosti približavanja glave realizatora programa monitorskim zvučnicima. Zbog toga smanjenje vremena reverberacije predstavlja osnovni put za rešavanje tog problema. Preporuke koje se mogu naći u ovoj literaturi [9] ili posebnim dokumentima [10] međusobno su uglavnom usaglašene. Standardni zahtev je da vreme reverberacije prostorije režije, bez obzira na njenu veličinu, bude smanjeno do 0,3 s ($\pm 0,05$ s). Podrazumeva se konstantna vrednost u centralnom frekventijskom području od 125 Hz do 4 kHz. U takvim uslovima može se obezbediti da uobičajena udaljenost monitorskih zvučnika od glave realizatora programa bude manja od r_c .

Osim povećavanja vremena reverberacije, akustičkim dizajnom prostorije tehničke režije treba takođe minimizirati pojavu svih četirih talasnih fenomena u tački gde se nalazi glava realizatora programa: izraženih sopstvenih rezonanci i superponiranja direktnog i nekog jakog reflektovanog talasa. Time se otklanjaju eventualne spektralne promene zvuka pri slušanju.

Kada se u realizaciji programa pojavljuju zahtevi koji prevazilaze jednostavno uključivanje spikera već se zahteva kreacija sopstvene složene stereo zvučne slike (više izvora u studiju, kreativna upotreba procesora itd.), pojavljuje se dodatni problem odgovarajućih akustičkih uslova u režiji. Naime, za stvaranje sopstvene kvalitetne stereo zvučne slike neophodna je mogućnost percepcije i procene na mestu gde se nalazi realizator programa. Postizanje malog vremena reverberacije i eliminacija četirih talasnih pojava nisu dovoljni, već je akustičkim dizajnom potrebno zadovoljiti i neke dodatne akustičke zahteve [6,7,8].



Slika 6 - Dva principa re{avanje akusti-ke obrade prostorije re`ije za kvalitetnu kontrolu stereo slike: pode{avanje geometrije prednje zone (levo) i LE-DE koncept (desno)

Stereo slika je vrsta slu{ne iluzije koja nastaje u mozgu na osnovu percepcije informacija iz levog i desnog zvu-nika. Iluzija nastaje zahvaljuju}i intenzitetnim ili vremenskim razlikama signala iz dva prostorno razdvojena zvu-na izvora (levi i desni zvu-nik). Do poreme}aja preciznosti ove iluzije dolazi kada se u prostoru gde se vr{i slu{anje pojavljuju brze refleksije koje dodatnim informacijama "zbunjuju" slu{ne centre. Zbog toga je u tehni-kim re`ijama gde se vr{i kreiranje slo`enije stereo slike neophodno akusti-kim intervencijama u prostoru oko zvu-nika eliminisati mogu}nost nastanka takvih brzih refleksija u pravcu realizatora programa. U praksi se to mo`e posti}i na dva na-ina {ematski prikazana na slici 6: pogodnim geometrijskim formama u zoni gde se nalaze monitorski zvu-nici, kako bi se eliminisala mogu}nost usmeravanja prvih refleksija prema realizatoru, ili intenzivnom apsorpcionom obradom prednje polovine prostorije re`ije (LE-DE koncept), {to vodi istom rezultatu. Ova skra}enica poti-e od engleskog naziva "Live End - Dead End"

Prema tome, zahtevi akusti-ke obrade prostorije tehni-ke re`ije mogu imati dva nivoa projektantskog pristupa:

- pode{avanje vremena reverberacije uz eliminaciju izra`enih talasnih pojava i
- kontrola prvih refleksija.

Koji se stepen obrade zahteva u svakoj konkretnoj re`iji zavisi od programskog koncepta i njegovih zahteva u odnosu na postupke u realizaciji programa.

7. MIKROFONSKI KONCEPT I AKUSTI^KI DIZAJN

U obja{njenju fizi-kih osobina zvu-nog polja u studiju je obja{njeno da se odnos D/R i D/B u radiodifuznom signalu mo`e pode{avati mikrofonom ili akusti-kim dizajnom. Osnovna mogu}nost uticaja mikrofona je u njegovom postavljanju u odnosu na izvor zvuka, kao na slici 4. Me|utim, postoje i drugi aspekti primene mikrofona koji u izvesnoj meri imaju isti uticaj, {to sve zajedno kori{enje mikrofona u studiju -ini slo`enim. Pojam mikrofonskog koncepta rada podrazumeva tri osnovna elementa:

- usvojeno rastojanje mikrofona od izvora zvuka, tj. usta govornika u studiju,
- izbor vrste mikrofona (usmerenost, osetljivost) i
- maksimalni broj mikrofona koji mogu biti istovremeno aktivni ("uklju-eni").

U TV studijima kao značajna tema postoji još i pitanje vidljivosti mikrofona u kadru, što utiče kao element u izboru i načinu njihovog korišćenja. Pojavljuju se zahtevi za minijaturizacijom fizičkih dimenzija mikrofona, za sakrivanjem mikrofona u dekoru i kostimima, postavlja se pitanje njihovog estetskog izgleda i boje itd.).

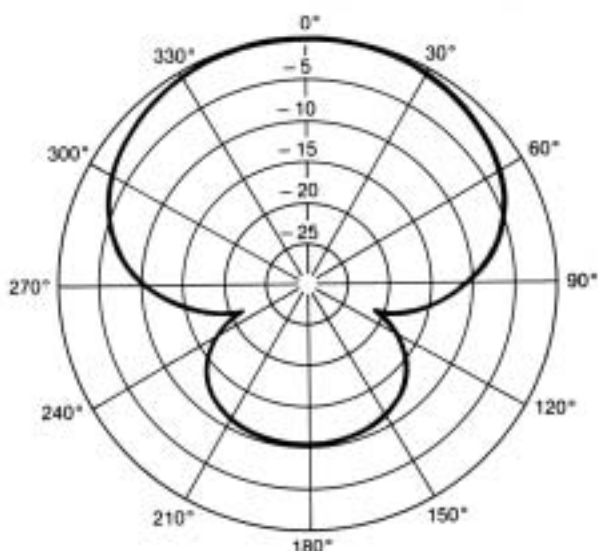
Pokazano je kako rastojanje mikrofona od izvora (npr usta govornika) određuje odnos D/B i D/R i objašnjeno je da to određuje razumljivost emitovanog govora. Rastojanja mikrofona od izvora u praksi zavise od općeg koncepta rada u studiju. Neki oblici rada u radijskim i TV emisijama dozvoljavaju približavanje mikrofona sasvim do usta govornika. To daje maksimalni odnos korisnog signala prema ostale dve komponente polja, ali zahteva izvesnu obučenost govornika i njegovu sposobnost koncentracije na odnos prema mikrofonom. Naime, nivo signala se u takvim okolnostima značajno menja sa malim pomeranjem glave. Zbog toga je realno pretpostaviti da duži govor sa bliskim mikrofonom mogu realizovati samo profesionalni akteri programa. Sa druge strane, u nekim formama televizijskog programa mikrophon mora biti sasvim izvan kadra, što podrazumeva njegovo udaljavanje od svih relevantnih izvora zvuka. Tada odnos D/N i D/R postaje veoma kritičan i dominantno zavistan od akustičkih kvaliteta studija, ali takav koncept rada dozvoljava veću slobodu govornika u kretanju bez posledica po nivo signala.

Ovo su dve krajnosti u postupcima korišćenja mikrofona između kojih postoji niz varijanti. Usvajanje koncepta isključivog rada sa bliskim mikrofonom daje u signalu maksimalni odnos korisnog zvuka prema reflektovanom zvuku i ambijentalnoj buci, što uvek povlači za sobom izvesno smanjenje potrebe za akustičkim intervencijama u izgradnji studija. Nije zanemarljiv mogući ekonomski aspekt takvog pristupa zbog izvesnog pojeftinjenja koje se tako postiže pri izgradnji. S druge strane, rad sa udaljenim mikrofonom podrazumeva neophodnost maksimalnih intervencija u akustičkoj obradi i zvučnoj zaštiti studija, što značajno poskupljuje njegovu izgradnju.

Pri izboru vrste mikrofona, što je takođe element mikrofonskog koncepta u studijskom radu, najznačajnija karakteristika je njegova usmerenost. Energija reflektovanog zvuka i ambijentalne buke nailazi na mikrophon sa svih strana, odnosno svi pravci nailaska ovih komponenti zvuka na mikrophon su podjednako verovatni. Zato usmeravanje prostorne karakteristike osetljivosti mikrofona utiče na smanjenje signala reflektovanog zvuka i buke. Istovremeno, signal direktnog zvuka, dok god se izvor nalazi u osi mikrofona, je osetljivost konstantna, ostaje nepromenjen. Drugačije rečeno, usmereni mikrophon pokazuje osobinu povećanja odnosa D/R i D/B u signalu na njegovom izlazu, posmatrano relativno u odnosu na neusmereni mikrophon.

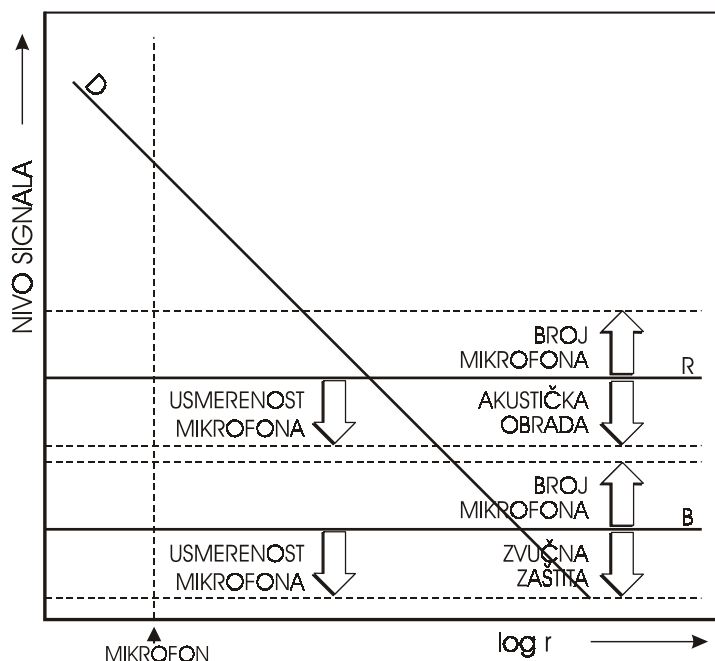
Ova osobina mikrofona iskazuje se parametrom koji se naziva efikasnost u difuznom polju (REE - *Random Energy Efficiency*) i izražava se u dB. REE pokazuje za koliko se decibela relativno smanjuje nivo signala zvukova, čija energija iz prostora uniformno nailazi na mikrophon, poput buke i reflektovanog zvuka, u odnosu na signal zvuka koji nailazi u njegovoj osi. Veća usmerenost povlači za sobom veću vrednost REE. Druginačin da se označi isto svojstvo mikrofona je veličina koja se u literaturi naziva faktor distance (FD). Ona pokazuje za koliko se usmereni mikrophon može udaljiti od izvora u odnosu na neusmereni izvor iste osetljivosti pa da odnos D/R, odnosno D/B, u njihovim signalima budu isti.

Na slici 7 prikazan je dijagram jedne od standardnih oblika usmerenosti mikrofona. Ta kriva se naziva hiperkardioida, pa je prikazana hiperkardioidna usmerenost. Takva vrsta usmerenih mikrofona često se primenjuje u radiodifuziji. Vrednosti REE i FD koje se postižu sa ovakvim mikrofonom označene su u potpisu ispod slike.



Slika 7 - Oblik hiperkardioidne usmerenosti mikrofona, gde je $RFF = 6 \text{ dB}$ i $FD = 2$.

Broj mikrofona koji iz programskih razloga moraju istovremeno biti uključeni u studiju tako je element mikrofonskog koncepta rada koji utiče na zahteve u akustičkom dizajnu studija. Ako se prenosi zvuk jednog izvora, a u studiju su istovremeno uključeni i drugi mikrofoni, svi oni, iako ne registruju nikakav direktan zvuk izvora (koristan signal), potpuno jednako registruju ambijentalnu buku i reflektovani zvuk. Nakon sabiranja u mikseti rezultatni signal reflektovanog zvuka i buke se povećava, u zavisnosti od broja uključenih mikrofona, dok koristan zvuk ostaje isti jer dolazi samo iz jednog mikrofona.



Slika 8 - Promene odnosa komponenti signala u zavisnosti od elemenata mikrofonskog koncepta i akustičkog dizajna.

Ako je u studiju istovremeno uključeno N mikrofona, povećanje nivoa signala reflektovanog zvuka i ambijentalne buke je u općtem slu-aju:

$$\Delta L = 10 \log N \text{ [dB]} \quad (5)$$

Ilustracija uticaja ovog pove}anja prikazana je dijagramom na slici 8.

Sagledavaju}i sve elemente koji }ine pojam mikrofonskog koncepta jasno proizilazi da rad sa mikrofonom mo}e delovati na kvalitet signala na isti na-in kao i mere koje se posti}u akusti-kim dizajnom. Krajnji rezultat uvek je superponirano dejstvo mikrofonskih i akusti-kih efekata. Zbog toga po-etak rada na akusti-kom dizajnu podrazumeva analizu programskog koncepta i definisanje osnovnih elemenata mikrofonskog koncepta za planirane programske oblike. Nakon toga utvr|uje se potreban obim akusti-kih intervencija na objektu studija.

8. METODE AKUSTI^KE OBRADJE STUDIJSKIH PROSTORA

Akusti-ka obrada studijskih prostorija radiodifuzne stanice, studija i tehni-ke re}ije, predstavlja skup enterijerskih intervencija koje imaju za cilj:

- smanjivanje nivoa reflektovanog zvuka i time pove}avanje kriti-nog rastojanja i
- minimizaciju {tetnih talasnih pojava.

Prvi cilj, pove}anje kriti-nog rastojanja, ostvaruje se pove}avanjem ukupne apsorpcije u prostoriji, odnosno smanjivanjem vrednosti vremena reverberacije. Drugi cilj, otklanjanje efekata talasnih pojava, ostvaruje se intervencijama na ta-no odre|enim segmentima unutra{njih povr}ina. Te intervencije mogu se realizovati postavljanjem apsorpcionih elemenata ili konstrukcijama koje pri refleksiji raspr{uju zvu~nu energiju.

U skladu sa tako postavljenim ciljevima, u akusti-koj obradi se primenjuju dva osnovna tipa konstrukcija: apsorberi i difuzori. Apsorberi imaju za cilj da {to efikasnije apsorbuju zvu~nu energiju, a difuzori imaju zadatak da menjaju smerove refleksija zvuka ili da reflektuju uz raspr{avanje energije po pravcima. Svi mogu}i akusti-ki ciljevi u studiju ostvaruju se kombinacijama ova dva tipa elemenata.

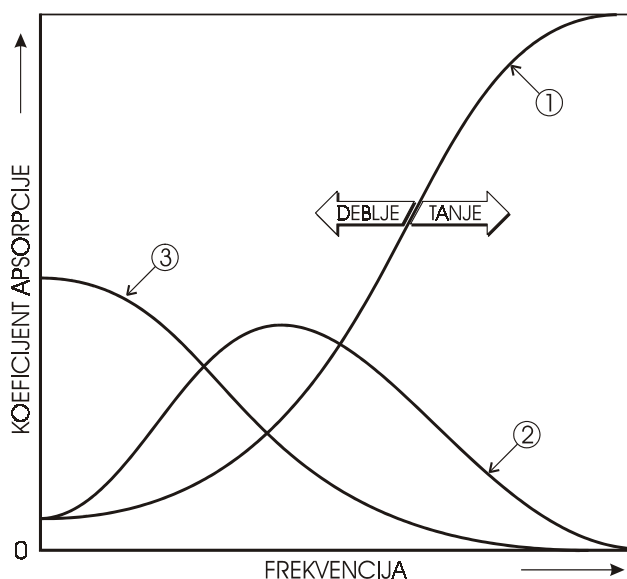
Izrada apsorpcionih konstrukcija mo}e se zasnivati na tri osnovna akusti-ka principa "tro{enja" zvu~ne energije. To su:

- porozni materijal,
- akusti-ki rezonator i
- mehani-ki rezonator.

Porozni materijali zasnivaju svoju apsorpcionu funkciju na veoma finoj unutra{njoj strukturi sa slo`enim sistemom unutra{njih {upljina. Kada se pod dejstvom zvu-nog polja u takvom materijalu pobudi oscilovanje veliki procenat molekula nalazi se u kontaktu sa zidovima pora i trenjem svoju mehani-ku energiju oscilovanja pretvaraju u toplotu. Ova promena oblika energije sa aspekta zvu-nog polja predstavlja gubitak. Zbog takvog principa funkcionisanja efikasnost poroznih materijala zavisi od ukupne koli-ine materijala, to jest od debljine, i fino}e unutra{nje strukture.

Na slici 9 prikazana je tipi-na karakteristika koeficijenta apsorpcije poroznog materijala. Variranjem debljine poroznog sloja prikazana kriva bi se pomerila ka ni}im frekvencijama (pove}anje debljine) ili ka vi}im (smanjivanje debljine). Na visokim frekvencijama ova vrsta apsorbera mo}e da ostvaruje skoro potpunu apsorpciju, ali je karakteristi-na njihova mala efikasnost na niskim frekvencijama. U akusti-koj praksi

koriste se razne vrste poroznih materijala napravljene na bazi mineralne vune, poliuretanskih pena, presovanog konca itd.



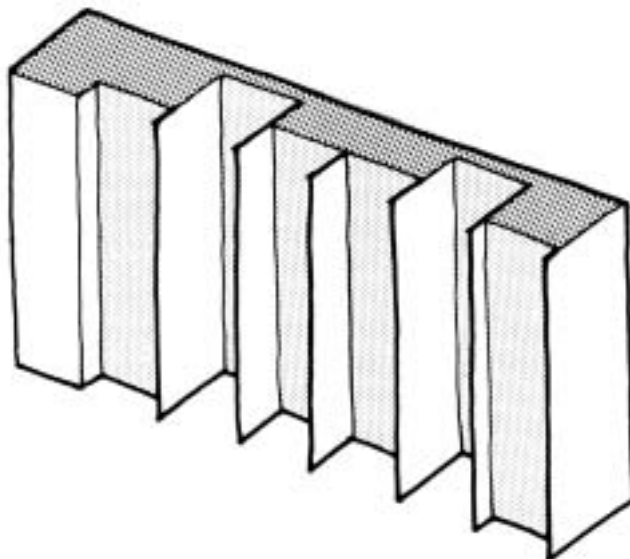
Slika 9 - Tipične apsorpcione karakteristike tri vrste apsorbera: 1 - porozni materijal, 2 - akustički rezonator, 3 - mehanički rezonator

Akustički rezonator je konstrukcija koja se principijelno sastoji od jedne zatvorene komore i relativno malog otvora na njoj. Za akustičku funkciju nebitan je oblik komore, već isključivo njena zapremina. Površina otvora predstavlja jedini put kojim energija može ući i izaći iz njegove unutrašnjosti. Kada se taj otvor izloži dejstvu spoljašnjeg zvučnog polja u rezonatoru nastaju zvučne oscilacije. Oscilacije se mogu javiti samo na sopstvenoj frekvenciji koja je određena njegovim geometrijskim dimenzijama: zapreminom unutrašnjosti komore i dimenzijama otvora.

Da bi se u akustičkom rezonatoru pojavile i održavale zvučne oscilacije, oscilatorni proces preko otvora kontinualno uzima prisutnu zvučnu energiju iz okoline. Ako se pri tome unutrašnjost komore ispuni poroznim materijalom, zvučna energija će se u njemu pretvarati u toplotu, što je gubitak sa aspekta zvučnog polja. Praktična realizacija akustičkih rezonatora može biti različita. Danas se najčešće koriste sistemi sa perforiranim pločama montiranim na izvesnom rastojanju ispred zida, čime se formira potrebna vazдушna komora. Na slici 9 pokazan je, između ostalog, i tipična vrednost koeficijenta apsorpcije ovakvih konstrukcija.

Mehanički rezonatori su konstrukcije koje se sastoje od elastične ploče -ija je jedna strana izložena zvučnom polju, a koja svojom drugom stranom zatvara izvestan vazdušni prostor i tako formira komoru. Time se takođe dobija oscilatorni sistem koji se sastoji od mase ploče i elastičnosti zatvorenog vazduha, srazmernoj njegovoj zapremini. Kao i kod akustičkog rezonatora, da bi se održavale oscilacije sistem oduzima energiju iz okolnog zvučnog polja i time ostvaruje proces apsorpcije. Mehanički rezonatori mogu u praksi ostvarivati relativno niske rezonantne frekvencije i predstavljaju osnovni način za apsorbovanje energije u najnižem delu zvučnog spektra. Na slici 9 prikazana je tipična vrednost koeficijenta apsorpcije ovakvih konstrukcija.

Kada se u prostoru studija zahteva minimizacija četinih talasnih pojava osim apsorbera primenjuju se difuzori, to jest konstrukcije koje raspršavaju zvučnu energiju i time sprečavaju formiranje jake refleksije. Postoje posebne akustičke konstrukcije koje imaju tu ulogu.



Slika 10 - Principijelna skica izgleda QRD difuzora

Na slici 10 prikazana je skica osnovne forme tzv QRD difuzora (Quadratic Residual Difusor). To je matemati-ki definisana geometrijska forma koja u frekvencijskom opsegu -ija {irina zavisi od geometrijskih dimenzija raspr{uje zvu~nu energiju pri refleksiji. ^esto i obi~ne stvari kori{ene u enterijeru studija (police, name{taj, oprema itd.) mogu imati difuzorsku ulogu ako su dovoljno velike u odnosu na talasnu du`inu.

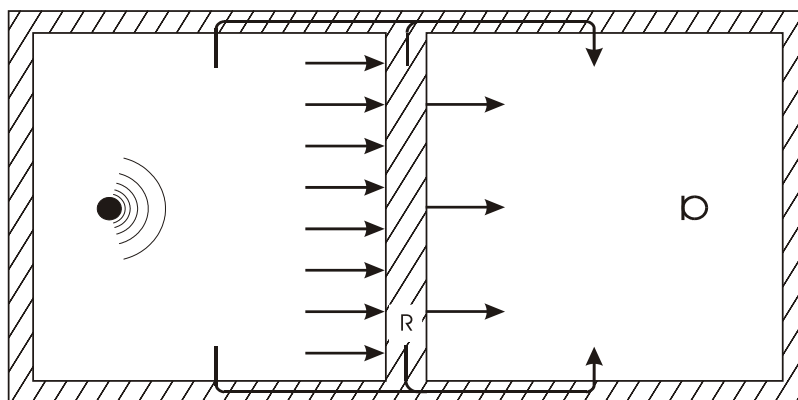
Akusti~ka obrada studijskih prostora podrazumeva razne kombinacije opisanih konstrukcija da bi se u ~itavom frekvencijskom opsegu dobili adekvatni rezultati (apsorpcije ili difuzije).

9. PRINCIPI ZVU^NE ZA[TITE STUDIJSKIH PROSTORA

Zvu~na za{tita studija je segment akusti~kog dizajna koji obuhvata sve mere ~iji je cilj potiskivanje nivoa ambijentalne buke, u smislu prikazanom na slici 8. U klasi~noj konfiguraciji gra|evinskih objekata u kojima se sme{taju studijski prostori postoje tri karakteristi~na pravca prodora buke na kojima se mora intervenisati. To su:

- prodor iz neposredne okoline u studio,
- prodor iz neposredne okoline u re`iju i
- prodor iz re`ije u prostor studija.

Prodor zvu~ne energije izme|u dve susedne prostorije, u op{tem slu~aju, dominantno se odigrava kroz pregradni zid, {to je prikazano na slici 11. U prostoriji gde se javlja buka zvu~na energija poga|a pregradu i jedan deo energije iz vazduha prelazi u strukturu materijala. Zahvaljuju}i tome, jedan deo primljene energije sa druge strane pregrada biva izra~en u susednu prostoriju, odnosno pregrada postaje zvu~ni izvor.



Slika 11 - [ema prodora zvuka izme|u dve prostorije

Pregradna konstrukcija propu{ta na drugu stranu samo jedan deo ukupne energije koja je poga|a. Veli-ina koja pokazuje odnos zvu-ene snage koja je pre{la na drugu stranu i snage koja poga|a pregradu naziva se koeficijent transmisije. U praksi se sposobnost pregrade da na drugu stranu propusti samo jedan deo zvu-ene energije iskazuje veli-inom koja se zove "izolaciona mo}". Ona je definisana izrazom:

$$R = 10 \log \frac{1}{\tau} \quad [\text{dB}] \quad (6)$$

gde je τ koeficijent transmisije. Ve}a vrednost R neke pregrade ozna-ava da ona efikasnije zadr`ava zvu-enu energiju.

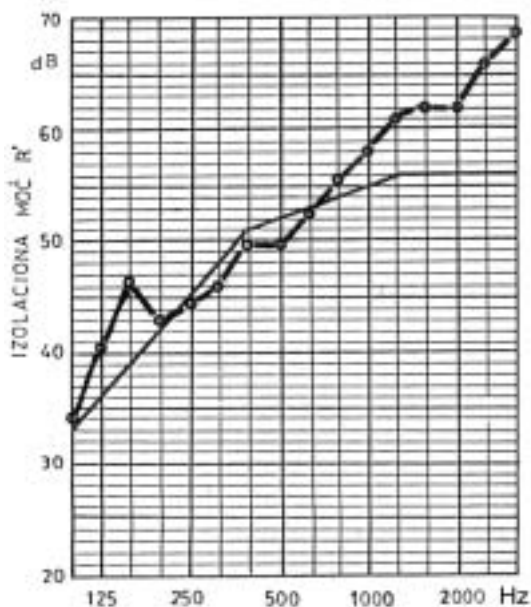
Polaze}i od {ematske ilustracije sa slike 11 zaklju-uje se da }e ambijentalna buka u studiju zavisi od tri parametra: nivoa buke u susednim prostorijama, veli-ine grani-nih povr{ina i izolacione mo}i pregradnih konstrukcija. Na slici je tako|e ozna-eno da zvu-na energija prolazi i bo-nim pregradama (bo-no provo|enje). Akusti-ki dizajn studija podrazumeva sagledavanje zna-aja svih puteva prolaska i odre|ivanje minimalne potrebne izolacione mo}i pregrada u datim uslovima da bi se ostvarili zahtevani nivoi ambijentalne buke.

Osnovni parametar koji odre|uje izolacionu mo} neke pregrade je njena masa. Ve}a masa podrazumeva ve}u vrednost R . Izolaciona mo} se u praksi mo`e kretati od oko 20 dB (lo{ija vrata) do preko 60 dB (veoma masivni zidovi). Pobolj{anje izolacione mo}i u odnosu na vrednost koja se posti`e njenom masom mo`e se realizovati uvo|enjem diskontinuiteta u stukturi pregrade. Takva intervencija vidu ka dvostrukim i vi{estrukim pregradama. Diskontinuiteti omogu}avaju da vrednost R bude ve}a od onoga {to bi njena ukupna masa mogla da ostvari.

Izolaciona mo} svake realne pregrade zavisi i od frekvencije. Tipi-an oblik krive izolacione mo}i jedne pregrade prikazan je na slici 12. To je izmerena vrednost za betonski zid debljine 15 cm [22]. Prime}uje se monoton rast vrednosti R po frekvencijama. Manja odstupanja od idealnog pravca posledica su raznih talasnih pojava u materijalu pregrade. Radi jednostavnosti se ~esto umesto prikazivanja izolacione mo}i pomo}u dijagrama, kao na slici, koristi izra`avanje jednim brojem. Takva vrednost se dobija prora-unom po posebnoj numeri-koj proceduri koja se sprovodi polaze}i od dijagrama. Pri tome su mogu}a dva pristupa: usrednjavanjem pojedina-nih vrednosti ili pomo}u posebno definisanih procedura izra-unavanja [18,19].

Ilustracija prolaska zvu-ene enrgije izme|u susednih prostorija ilustrovana slikom 11 pokazuje i druge prisutne puteve zvu-ene energije. Treba imati u vidu da zvu-na energija poga|a sve povr{ine u prostoriji i pojavljuje se u svim ~vrstim strukturama koje ograni-avaju

prostorije. Kada jednom u|e u gra|evinski materijal, zvu-na energija se prostire u skladu sa odre|enim fizi-kim zakonima. Tako se u prostoriji sa druge strane pregrade pojavljuju i bo-ni zidovi kao izvori istog zvuka. Pojava da energija preko bo-nih zidova prelazi iz jedne prostorije u drugu naziva se bo-no provo|enje. Zbog toga se velike izolovanosti izme|u dve prostorije ne mogu ostvariti akusti-kim oja-avanjem samo pregradnog zida, ve} je potrebno adekvatno intervenisati i na svim bo-nim povr{inama.



Slika 12 - Izmerena izolaciona mo} betonskog zida debljine 15 cm [22]

10. ZVU^NA ZA[TITA U STUDIJSKOJ PRAKSI

Projektni zadatak u prakti-noj realizaciji zvu-ne za{tite studijskih prostora sastoji se od iskaza da treba ostvariti dozvoljno nizak nivo ambijentalne buke. Na-ini kojima se to posti`e mogu biti razli-iti, u teorijskom smislu -esto veoma slo`eni, pa se u ovom obimu teksta problematika zvu-ne za{tite mo`e prikazati samo okvirno. U tom projektantskom poslu postoje dve osnovne teme:

- pravilna mikrolokacija studijskih prostorija (izborom njihovog okru`enja) i
- dovoljno velika izolaciona mo} pregradnih konstrukcija.

Izbor mikrolokacije je akusti-ka mera koja uglavnom ne zahteva posebnu investiciju, a mo`e zna-ajno da smanji ulaganja u dodatne izolacione mere. Lokacija studija treba da bude udaljena od jakih izvora buke, odnosno treba da bude okru`ena prostorijama u kojima je, po prirodi stvari, nivo buke dovoljno nizak. Tek nakon optimizacije polo`aja studijskih prostora u odnosu na druge sadr`aje u objektu stanice pristupa se razmatranju potrebnih gra|evinskih mera.

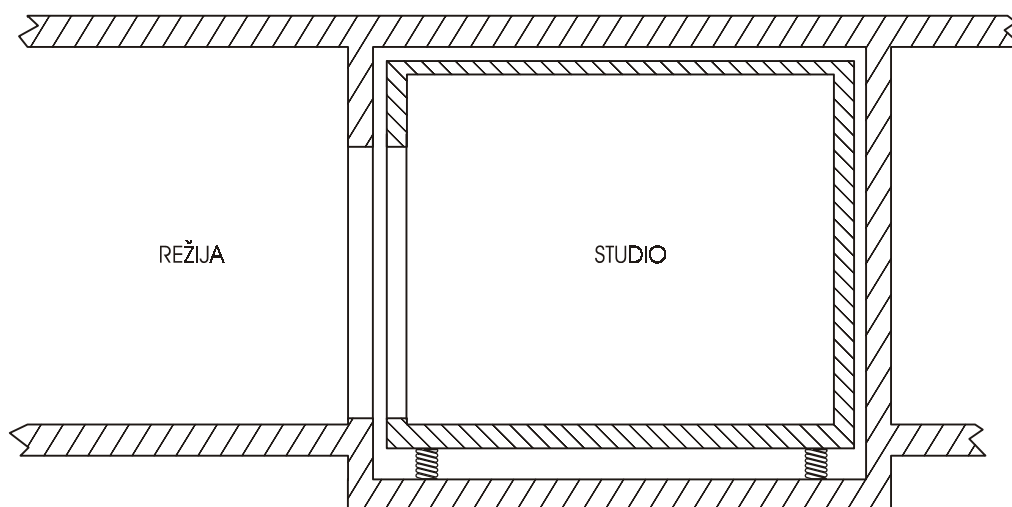
Od svih principa koje pru`a akusti-ka teorija dovoljno velika izolaciona mo} pregradnih konstrukcija pri izgradnji studijskih prostora u praksi se uglavnom posti`e jednim od slede}ih principa:

- dovoljno velikom masom zidova,

- dodavanjem lake akustičke obloge na postojeći zid, ili
- konstruktivnim sistemom "kuća u kući".

Izolaciona moć standardnih pregradnih konstrukcija, od kojih se uobičajeno sastoje zgrade, dominantno zavisi od njihove mase. To je takozvani "zakon mase" -ija je matematička definicija neizostavna u svim ud`benicima akustike.

Pod pojmom lake pregrade podrazumeva se relativno tanka savitljiva obloga (1-3 cm) koja se pravi od gipsanih plo-a (tzv gipskarton) ili drvenih plo-a (medijapan i sli-no) koja se dodaje preko postojećeg masivnog zida. Plo-a se postavlja na izvesnom rastojanju od površine zida, što se postiže odgovarajućom potkonstrukcijom od drvenih greda ili limenih profila. Povećanje izolacione moći zida dodavanjem lake pregrade zasniva se na različitim fizičkim mehanizmima oscilovanja obloge od tankog materijala i masivnog materijala osnovne pregrade. Ovakvim dodatkom može se povećati izolaciona moć zida i do 10 dB.



Slika 13 - Sistemi gradnje nazvan "kuća u kući" ili "kutija u kutiji"

Sistem gradnje "kuća u kući" omogućava ostvarivanje najvećih izolovanosti prostorije od okoline. Zasniva se na potpunom odvajanju konstrukcije prostorije od objekta, kao što je {ematski prikazano na slici 13. Unutrašnja konstrukcija prostorije se oslanja na odgovarajuće elastične oslonce, bez drugih dodira sa susednim pregradama. Ovaj način rešavanja zvučne izolacije može imati u praksi različite modifikacije i konstruktivna pojednostavljenja.

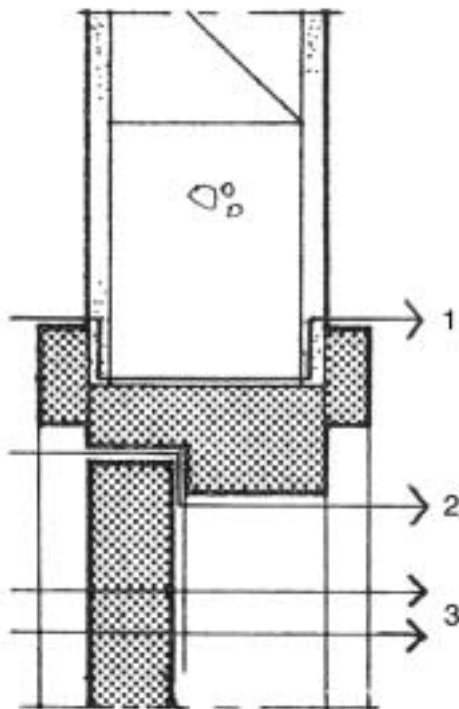
Sopsobnost građevinskih pregrada da zadrže zvuk može biti naručena svakim otvorom koji se pojavi između dve susedne prostorije. U praksi to mogu biti kanali za instalacije, slučajno ostavljeni otvori, dimnjački kanali, {upljine iznad tavanica itd. U studijima su kanali za instalacije posebno kritično mesto jer se pojavljuju kao nužnost. Zato je u postupku gradnje studija neophodno posebno obezbediti adekvatno zatvaranje svih otvora koji se, namerno ili slučajno, pojavljuju u pregradama.

11. SPECIFI^NI AKUSTI^KI DETALJI ZVU^NE ZA[TITE

Postoji nekoliko specifičnih detalja koji mogu značajno uticati na nivo zvučne zaštite studija postignut odgovarajućom izolacionom moći njegovih građevinskih pregrada. Među

njima se moraju apostrofirati vrata, studijski prozori i sistem ventilacije, odnosno klimatizacije.

Vrata - u tehni-kom smislu predstavljaju element pregrade koji se posebno ugra|uje u za to napravljeni otvor u zidu, i koji ima mogu}nost otvaranja. ^injenica da se vr{i ugra|ivanje i da je mogu}e otvaranje dominantno odre|uje njihove izolacione karakteristike. Na slici 14 {ematski su prikazani putevi prolaska zvu~ne energije kroz vrata ugra|ena u zid. Vidi se da zvuk mo`e prolaziti kroz {upljine izme|u okvira vrata i zida (1), kroz fuge izme|u krila vrata i okvira (2) i kroz materijal krila (3).



Slika 14 - [ema prodora buke kroz vrata: 1 - izme|u okvira vrata i zida, 2 - izme|u krila i okvira, 3 - kroz krilo

Izolaciona mo} krila vrata dominantno je odre|ena njihovom masom. Zbog toga, vrata velikih izolacion mo}i, kakva se obi~no zahtevaju na ulazu u studijske prostore, imaju relativno te{ka krila. Pojava prolaska zvuka kroz fuge oko krila i oko okvira uti-u na smanjenje ukupne izolacione mo}i. U praksi se ~esto de{ava da pojava fuga drasti~no degradira rezultat koji krilo samostalno mo`e da ostvari.

Zbog toga se na vratima u studijskim prostorima zahteva pa`ljiva eliminacija svih fuga. Oko krila to se posti`e gumenim zaptivkama, ~esto dvostrukim, sa posebnim mehanizmima za zatvaranje koji u zatvorenom stanju obezbe|uju ~vrsto naleganje krila na zaptivke. Eliminacija fuge oko okvira vrata posti`e se njegovim ulivanjem u betonski okvir ili drugim adekvatnim sistemima ugradnje.

I pored svih mera koje se mogu preduzeti, vrata uvek predstavljaju relativno slabo mesto u sistemu zvu~ne izolacije studijskih prostora. Taj problem se mo`e minimizirati pa`ljivim planiranjem celine objekta, pre svega komunikacionih pravaca, radi eliminacije vrata na pozicijama kriti~nim sa aspekta zvu~ne za{tite. Kada na takvim mestima ipak nije mogu}e sasvim izbe}i vrata, insistira se na postavljanju dvostrukih vrata sa tampon zonom izme|u njih, kako bi se udvajanjem postigla ve}a ukupna izolaciona mo}.

Studijski prozor - predstavlja specifi~nu konstrukciju koja ima za cilj omogu}avanje vizuelne komunikacije izme|u studijskih prostorija bez potrebe otvaranja, uz maksimalno mogu}u vrednost izolacione mo}i. Njihovu izolacionu mo} odre|uje masa stakla, {to zna~i

njegova debljina, i veličina razmaka između okana. Veća masa stakla i veći razmak znače veću izolacionu moć. Treba napomenuti da na svakom prozoru postoje principijelno isti putevi prolaska zvuka kao na slici 14. Međutim, zbog odsustva potrebe otvaranja zaptivanje ovakvih prozora se u praksi lakše postiže.

Ventilacija i klimatizacija - kada postoji u studijskim prostorima, predstavlja jedan od najznačajnijih faktora koji određuju nivo ambijentalne buke, u smislu kako je to predstavljeno na slici 3. Ova buka se u prostoru studija energetski sabira sa zvukovima koji kroz pregradne konstrukcije dopiru iz okoline. Zbog toga pri projektovanju treba pažljivo definisati dozvoljeni nivo buke iz mašinskih sistema imajući u vidu da, ne samostalno, već zajedno sa ostalim komponentama treba da zadovolji usvojeni ukupni nivo ambijentalne buke studija.

Kanali u sistemima ventilacije i klimatizacije predstavljaju u praksi dominantne puteve prolaska zvuka između prostorija. Takva pojava se naziva "preslušavanje". Ono često može potpuno da obezbedi uloženi trud i novac u pregrade velike izolacione moći. Problem se rešava pažljivim planiranjem trasa kanala u objektu i dodatnim intervencijama u njihovoj konstrukciji.

12. ZAKLJUČAK

Akustički dizajn kao element u projektovanju i izgradnji studijskih prostora posledica je činjenice da se jedan segment u lancu radiodifuznog prenosa zvuka odvija u domenu zvučnog polja. U ovom radu su objašnjeni principi na kojima se zasniva uticaj akustičkog domena na ukupnu prenosnu karakteristiku radiodifuznog sistema u celini i na njemu na koje se postižu njegova optimalna svojstva.

Činjenica da ne postoji jednoznačan tehnički model studijskih prostora, ni u radio ni u TV stanicama, preslikava se i na zadatak njihovog akustičkog dizajna. Obim primene različitih mera zvučne zaštite i akustičke obrade studija i rešenja varira u zavisnosti od programskih potreba, a to znači od programskog koncepta stanice. Akustičke potrebe studija izvan radiodifuzije, za različite namene, uglavnom su jasno definisane i tehnički rešenja su pravolinijska. U radiodifuziji kvalitetan akustički dizajn obavezno podrazumeva optimizaciju između programskog koncepta i finansijskih mogućnosti investitora, sa jedne strane, i adekvatnog mikrofonskog koncepta i građevinsko-enterijerskih mera, sa druge. Zbog toga u radu nisu prikazane nekakve zahtevane akustičke norme koje se bespogovorno moraju ispoštovati. Njih u svakom konkretnom slučaju propisuje projektant tehnologije studija imajući u vidu sve zadate okolnosti.

U radu je pokazano da akustički dizajn radiodifuznih studija treba posmatrati u dva odvojena segmenta: mikrofonski koncept rada (izbor i način korišćenja mikrofona) i građevinsko-enterijerske mere. Svaki konkretan objekat radiodifuzne stanice ima svoj optimum u ravnoteži ova dva inženjerska segmenta. Kvalitetan dizajn znači nalaganje te mere optimuma. Podbacivanje mere znači nedovoljan kvalitet signala, a njeno prebacivanje je nepotrebno trošenje investitorovog novca.

LITERATURA

1. M.Mijić, *Uvod u audiotehniku* (autorizovane beleške sa predavanja), Fakultet dramskih umetnosti, Beograd, 1999.
2. G.Davis, R.Jones, *The Sound Reinforcement Handbook*, Hal Leonard Publishing Corp., Milwaukee, 1990.

3. R.Horvitz, *Lokal Radio Handbook*, Internews, New York, 1991.
4. C.Gilford, *Acoustics for Radio and Television Studios*, IEE Monograph Series 11, London, 1972.
5. H.Kurtovi}, *Osnovi tehni-ke akustike*, Nau-na knjiga, Beograd, 1990.
6. M.Miji}, "Iskustva u projektovanju u izgradnji audio re`ija primenom LE-DE koncepta", XVIII Konferencija za ETRAN, Vrnja-ka banja 1998., Zbornik radova, Sveska II, 497-500
7. A.Jarvinen, L.Savioja, H.Moller, V.Ikonen, "Design of a reference listening room - a case study", 104th AES Convention, maj 1998.
8. E.Voelker, W.Teuber, "The importance of early sound for recording and reproduction - is the quality of digital sound transmission sufficient", 104th AES Convention, maj 1998.
9. K.B.Benson, *Audio Engineering Handbook*, McGraw-Hill Book Company, Njujork, 1988.
10. "Tehni-ki parametri studija u radiju", Tehni-ki standardi JRT, Preporuka P1, 1979.
11. "Tehni-ki parametri tehni-kih re`ija u radiju", Tehni-ki standardi JRT, Preporuka P2, 1979.
12. "Tehni-ki parametri monta`nih re`ija u radiju", Tehni-ki standardi JRT, Preporuka P3, 1982.
13. "Dozvoljeni nivo zvu-nih smetnji (buke) u studijima i tehni-kim re`ijama u radiju i televiziji", Tehni-ki standardi JRT, Preporuka P5, 1979.
14. "Tehni-ki parametri studija i tehni-kih re`ija u televiziji", Tehni-ki standardi JRT, Preporuka P6, 1982.
15. *Guide to Acoustic Practice*, BBC Engineering, 1980.
16. *Sound Insulation of Partitions in Broadcasting Studio Centres: Field Measurement Data*, BBC Engineering, 1986.
17. A.Robertson, *Microphones*, Hayden Publishing Comp., New York, 1963.
18. JUS U.J6.151:1982 - Akustika u gradjevinarstvu - Standardne vrednosti za ocenu zvu-ne izolacije
19. JUS U.J6.153:1989 - Akustika u gradjevinarstvu - Metoda za izra`avanje zvu-ne izolacije jednim brojem
20. G.Alkin, *TV Sound Operations*, Focal Press, London, 1975.
21. S.Alden, *Audio in Media*, Wardworth Publishing Company, Lomdon, 1996.
22. Izve{taji sa rezultatima merenja iz arhive Laboratorije za akustiku, ETF, Beograd