

**Javna ustanova
Mješovita srednja elektrotehnička škola Tuzla**

Sejfudin Agić

OZVUČAVANJE IV



**za 4. razred
elektrotehničke
škole**

-Interna skripta-

Tuzla, septembar/rujan 2009.

1. UVOD	2.
2. PRIRODA ZVUKA I NJEGOVO ŠIRENJE	4.
2.1. KARAKTERISTIKE ZVUČNOG TALASA	4.
2.1.1. Frekvencija i talasna dužina	4.
2.1.2. Brzina zvuka	5.
2.1.3. Amplituda i faza	5.
2.1.4. Harmonički sadržaj	6.
2.2. POJAVE UZ ŠIRENJE ZVUKA	6.
2.2.1. Refleksija zvuka	6.
2.2.2. Difrakcija zvučnog talasa	7.
2.2.3. Refrakcija zvučnog talasa	7.
2.2.4. Apsorpcija zvuka	8.
2.2.5. Usmjerenost zvučnog izvora	9.
3. MIKROFONI	11.
3.1. PODJELA MIKROFONA	11.
3.1.1. Električna podjela	11.
3.1.2. Akustička podjela	11.
3.2. OSOBINE MIKROFONA	12.
3.2.1. Osjetljivost	12.
3.2.2. Efikasnost	12.
3.2.3. Impedansa	12.
3.2.4. Frekventna karakteristika	12.
3.2.5. Usmjernost karakteristika	13.
3.2.6. Stepen korisnosti	13.
4. OZVUČAVANJE OTVORENOG PROSTORA	15.
4.1. PROSTIRANJE ZVUKA U OTVORENOM PROSTORU	15.
4.1.1. Prostiranje zvuka na kratkim rastojanjima	15.
4.1.2. Uticaj vremenskih prilika na slabljenje zvuka	16.
4.1.3. Slabljenje zvuka uslijed apsorpcije u vazduhu	17.
4.2. POSTAVLJANJE ZVUČNIKA NA OTVORENOM PROSTORU	17.
4.2.1. Nivo zvuka i snaga ozvučavanja	17.
4.2.2. Akustička povratna sprega	18.
4.2.3. Centralno ozvučavanje	19.
4.2.4. Sektorsko ozvučavanje	21.
4.2.5. Uređaji za kašnjenje	24.
4.2.6. Stereofonsko centralno ozvučavanje	24.
5. PRIMJERI OZVUČAVANJA OTVORENOG PROSTORA	27.
5.1. MANJI SPORTSKI STADION	27.
5.2. VECI SPORTSKI STADION	27.
5.3. VELIKI SPORTSKI STADION	27.
5.4. MOTO-TRKALIŠTE	29.
5.5. VELIKI TEREN	29.
5.6. LJETNA POZORNICA	30.
5.7. GRADSKE ULICE	31.
5.8. STANIČNI PERONI	31.
6. POSTAVLJANJE ZVUČNIKA U PROSTORIJAMA	33.
6.1. NIVO ZVUKA I SNAGA OZVUČAVANJA	33.
6.2. AKUSTIČKA POVATNA SPREGA	34.
6.3. CENTRALNO OZVUČAVANJE	34.
6.4. SEKTORSKO OZVUČAVANJE	36.
6.5. STEREOFONSKO OZVUCENJE	37.
6.6. UREĐAJI ZA KAŠNJEњE	38.
6.7. UREĐAJI ZA VJEŠTAČKU REVERBERACIJU	38.
7. PRIMJERI OZVUČAVANJA PROSTORIJA	41.
7.1. POZORIŠTE	41.
7.2. OPERA	42.
7.3. KONCERTNA I UNIVERZALNA DVORANA	43.
7.4. CRKVA	43.
7.5. SVEĆANA SALA	44.
7.6. SLUSAONICA	45.
7.7. KONGRESNE HALA	45.
7.8. SALA ZA SJEDNICE	46.
7.9. FABRIČKA HALA	47.
7.10. RESTORAN	47.
7.11. RADNE PROSTORIJE	48.
7.12. AUTOMOBIL	48.
7.13. DISKO-KLUB	48.
8. TEHNIKE POSTAVLJANJA MIKROFONA	51.
8.1. BUBNJEVI	51.
8.1.1. Bas bubanj (kick drum)	52.
8.1.2. Doboš bubanj (snare drum)	53.
8.1.3. Prijelazni bubenjevi (tom bubenjevi)	53.
8.1.4. Činele	54.
8.2. ŽIĆANI INSTRUMENTI	54.
8.2.1 Bas gitara	55.
8.2.2. Akustična gitara	55.
8.2.3. Električna gitara	55.
8.2.4. Klavir	56.
8.2.5. Gudački instrumenti	56.
8.3. PUHAČKI INSTRUMENTI	57.
8.4. OZVUCAVANJE VOKALA	57.
9. UREĐAJI ZA OZVUČAVANJE	60.
9.1. ELEMENTI UREĐAJA ZA OZVUČAVANJE	60.
9.2. STOL ZA MIJEŠANJE (MIKSETA)	63.
9.2.1. Postupak izvođenja tonske probe	64.
9.3. PROCESORI SIGNALA	64.
9.3.1. Ekvilajzer (EQ)	65.
9.3.2. Dinamički procesori signala	65.
9.4. EFEKTI	67.
9.4.1. Reverb	67.
9.4.2. Delay	68.
10. LITERATURA	70.

1. UVOD

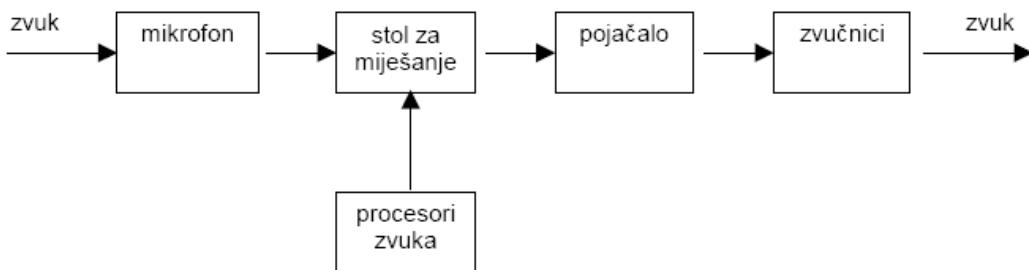
Pojam ozvučavanja vanjskog ili unutrašnjeg prostora ili instrumenata je bitan pojam s kojim se susrećemo indirektno svaki dan. Bez obzira slušamo li muziku sa CD-a, stojimo u publici na koncertu, gledamo televiziju, slušamo radio i sl., u svim tim područjima potrebno je instrumente ili glasove koje čujemo ozvučiti.

Pod ozvučavanjem muzikala podrazumijevamo njihovo spajanje u određeni sistem upotrebom odgovarajuće opreme u koju spadaju mikrofoni, pojačala, zvučnici, stolovi za miješanje, razni procesori zvuka i naravno kablovi. Sve to nam služi da bi dobili jedinstvenu zvučnu

sliku koju distribuiramo našim razglasnim sistemom ili koju emitiramo na određeni način.

U ovoj skripti će se prvenstveno govoriti o ozvučavanju vanjskih i unutrašnjih prostora te instrumenata za potrebe izvođenja muzike uživo.

U užem smislu, kada govorimo o ozvučavanju mislimo na postupak u kojem akustičko-mehaničko-električnom pretvaranjem upotrebom odgovarajućih pretvarača (mikrofona) zvuk, odnosno promjene zvučnog pritiska, pretvaramo u električni (strujni) signal.



Slika 1.1. Elektroakustički lanac

Na slici 1.1 prikazan je osnovni elektroakustički lanac jednog zvučnog sistema. Kao što vidimo, sve započinje upravo mikrofonima. Tu se događa akustičko-mehaničko-električno pretvaranje energije. S obzirom da su oni „davatelji“ električnog signala, ovdje će naglasak biti na pravilnom izboru i metodama postavljanja mikrofona.

Radi podsjećanja u skripti su još prikazane osnovne karakteristike zvuka i mikrofoni koji se najčešće susreću u praksi ozvučavanja.

Nova znanja o ozvučavanju otvorenog prostora će biti prikazana u istoimenom poglavlju, a zatim slijede primjeri ozvučavanja otvorenog prostora.

Postavljanje zvučnika je veoma interesantno slijedeće poglavlje ove skripte. Metode i trikove ozvučavanja i postavljanja razglaša u zatvorenom prostoru su objašnjeni na velikom broju praktičnih primjera.

Tehnike postavljanja mikrofona pri ozvučavanju različitih muzičkih instrumenata je posebno interesantno i primjenljivo poglavlje sa puno praktičnih znanja.

I poslijednje poglavlje govori o uređajima za ozvučavanje. Posebna pažnja je posvećena stolovima za miješanje – miksetama te različitim mogućnostima korištenja miksete u obezbjeđivanju optimalnog zvuka pri ozvučavanju.

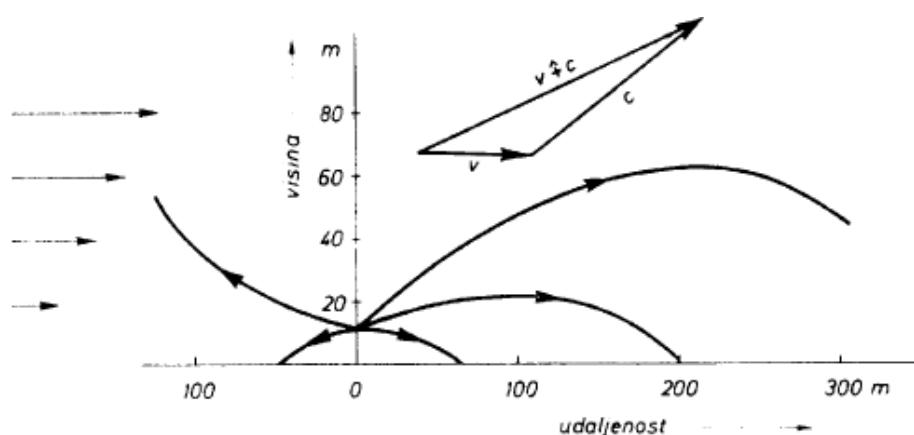
Pošto nije napisan prihvatljiv udžbenik za predmet Ozvučavanje za IV razred ova skripta predstavlja skromni doprinos autora da prevaziđu taj problem i omogući učenicima i svim zainteresiranim lakše praćenje i savlađivanje nastave iz ovog predmeta.

Skripta je napisana prema Nastavnom planu predmeta Ozvučavanje za 4. razred i odlukom Nastavničkog vijeća Elektrotehničke škole u Tuzli dozvoljena za internu upotrebu.

PRIRODA ZVUKA I NJEGOVO ŠIRENJE

2

poglavlje



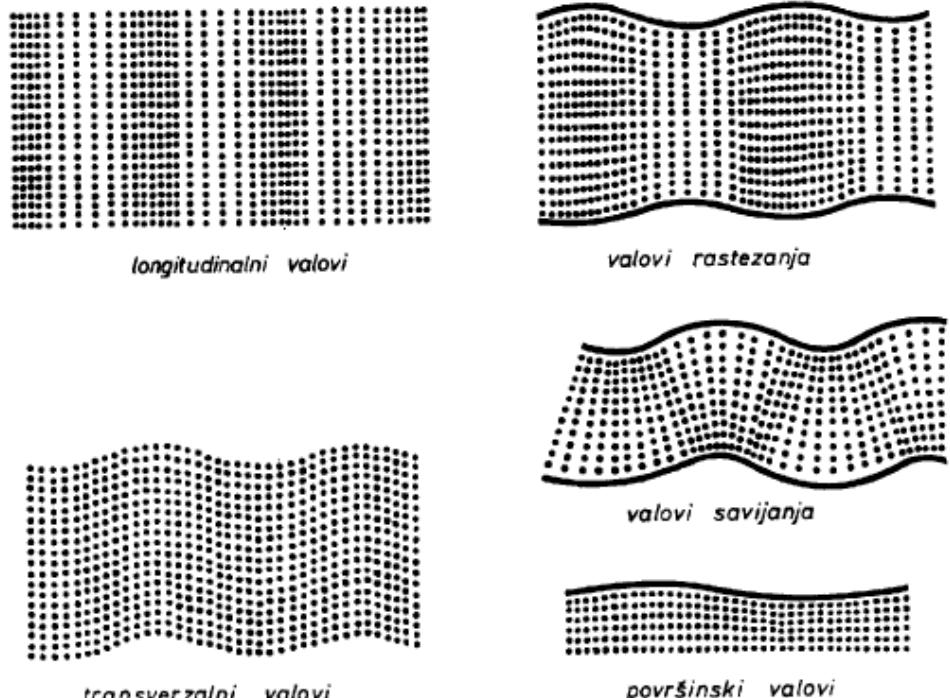
Širenje zvuka pod uticajem vjetra

2. PRIRODA ZVUKA I NJEGOVO ŠIRENJE

Sve što čovjek čuje je zvuk. Zvuk je periodična promjena pritiska koji se širi elastičnim medijem (npr. zrakom) nekom određenom brzinom. Promjene pritiska nastaju zbog titranja molekula medija koje su zbog vanjskog uticaja (sile) izbačene iz svog ravnotežnog položaja. Zvuk se širi medijem zgušnjavanjem i razrjeđivanjem čestica medija (molekule zraka). Čestice pobjuđene promjenom

pritiska titraju i prenose energije s jedne na drugu. Promjena pritiska se može osjetiti i dijelovima tijela ako je niske frekvencije i dovoljno visokog intenziteta.

U plinovima i tekućinama zvuk se širi samo kao longitudinalni talas, a u čvrstima medijima i kao transverzalni.



Slika 2.1. vrste talasova u čvrstim tijelima

2.1. KARAKTERISTIKE ZVUČNOG TALASA

Karakteristike zvučnog talasa obuhvataju:

- objektivne parametre i
- subjektivne parametre.

U objektivne parametre spadaju:

- frekvencija
- talasna dužina
- brzina zvuka
- amplituda
- faza
- harmonijski sadržaj i sl.

U subjektivne parametre ubrajamo:

- glasnoću
- visinu tona
- boju tona
- maskiranje i sl.

U nastavku će biti obrađeni neki od ovih parametara.

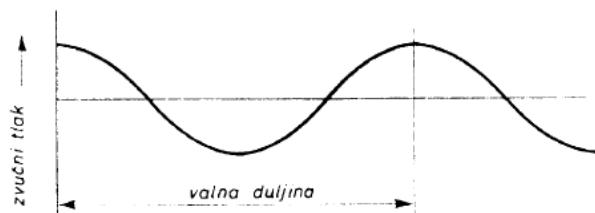
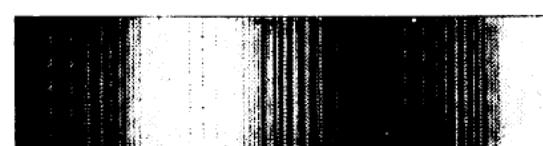
2.1.1. Frekvencija i talasna dužina

Budući da se talas širi medijem konstantnom brzinom c može mu se odrediti talasna dužina λ uz poznatu frekvenciju f

$$\lambda = c / f$$

gdje je:

- λ u metrima, c u m/s, f u Hz



Slika 2.2 talasna dužina

Fizikalno, to je razmak između dvije tačke najvećeg zgušnjenja ili razrjeđenja medija kroz koji se talas širi. Taj razmak se naziva period.

U akustičkom području je omjer talasnih dužina, odnosno frekvencija, relativno velik. Zvuk je čujan od oko 16 Hz do oko 20 kHz (λ od >20 m pa do <2 cm), što je više od 10 oktava. Zvuk frekvencije ispod 16 Hz je infravzdušak, a iznad 20 kHz je ultravzdušak. Pri frekvencijama iznad 10 GHz govori se o hipervzdušku.

2.1.2. Brzina zvuka

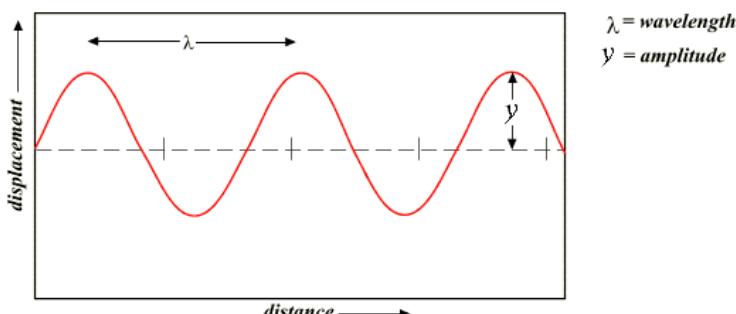
Brzina zvuka je drastično ovisna o mediju. U zraku zavisi o njegovoj gustoći ρ_0 , o atmosferskom pritisku p_0 i o konstanti γ , koja daje omjer specifične topline zraka uz konstantan pritisak prema onoj uz konstantan volumen.

Brzina se u zraku (općenito u plinovima) može izračunati prema:

$$c = \sqrt{\frac{\rho_0 \gamma}{p_0}}$$

Za zrak je $\gamma=1,4$. Porastom nadmorske visine manji je atmosferski pritisak p_0 , ali isto tako i gustoća zraka,

Wave

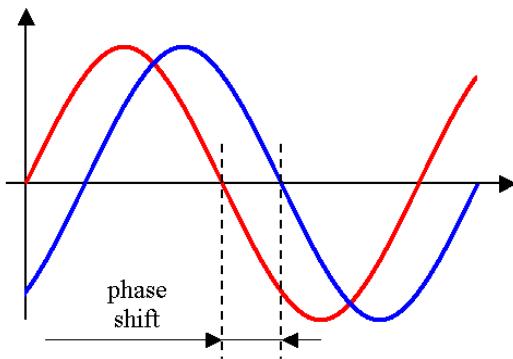


Slika 2.3. sinusni talas

Uzmimo opću jednadžbu talasa:

$$y = A \sin(\omega t - \varphi)$$

U navedenoj jednadžbi faza je označena simbolom φ i izražava se u stepenima (Izražava se u stepenima iako se radi o vremenskom pomaku). Razlog je tome što je vrijeme pomnoženo s kružnom brzinom ω (koja opisuje talas).



Slika 2.4. dva sinusna talasa pomaknuti u fazi

odnosno njegova specifična težina ρ_0 . Zato promjena atmosferskog pritiska neznatno utječe na brzinu zvuka.

Brzina zavisi i o temperaturi zraka – t sa:

$$c = 331,4 + 0,6 t \text{ (m/s)}$$

Pri 200 °C brzina zvuka iznosi 343 m/s, a pri -200 °C padne na 319 m/s (po stupnju C pada s oko 0,5 m). Ovisna je i o relativnoj vlažnosti, ali malo (do 3,3 %). Međutim, promjena brzine zbog promjene vlažnosti može znatno uticati na smjer širenja zvuka. Npr., zbog zasićenosti zraka vlagom iznad površine vode zvučni talasovi se usmjeruju prema gore.

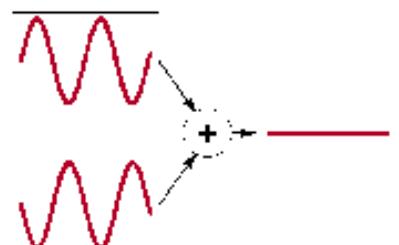
2.1.3. Amplituda i faza

Promotrimo talas, kao npr. na slici 2.3. (sinusni talas). Udaljenost od horizontalne osi koordinatnog sistema do maksimuma (ili minimuma) sinusnog talasa se naziva amplituda talasa (na slici označeno kao y). Što je amplituda veća, veći je i intenzitet promjene pritiska, tj. veća će biti nivo signala.

Vrijednost udaljenosti između maksimuma i minimuma talasa (maksimalni pozitivni dio i maksimalni negativni dio) se naziva peak-to-peak vrijednost.

Kada govorimo o talasovima, pomak u fazi označava vremenski pomak, tj. Određeno kašnjenje.

Pojam faze najlakše je objasniti npr. u dva talasa. Na slici 2.4. prikazan su dva sinusna talasa istih amplituda, ali pomaknuti u fazi za određeni ugao, tj. drugi talas kasni određeno vrijeme za prvim. Superpozicijom ova dva talasa možemo dobiti rezultantni talas na način da se dijelovi izvornih talasova koji su oba pozitivni ili oba negativni zbrajamaju (konstruktivno), a dijelovi suprotnih predznaka se oduzimaju (destruktivno). Odnosno amplituda se pojačava ili smanjuje.



Slika 2.5. superpozicija dva talasa u protufazi

Imamo li dva talasa koja su u protufazi (pomak od 180°) oni se superpozicijom ponište, kao na slici 2.5.

Govorimo li o audio signalu to znači da ako se emitira isti signal iz dva izvora, a da su u protufazi, oni će se poništiti. U savršenim uvjetima ukoliko se potpuno ponište nećemo čuti ništa. To se manifestira npr. kod ozvučavanja instrumenta sa dva mikrofona postavljena tako da „slušaju“ isti izvor iz različitih pozicija (jedan nasuprot drugom npr.) što rezultira signalom koji je pomaknut u fazi.

2.1.4. Harmonijski sadržaj

Govoreći o karakteristikama zvučnog talasa, do ove tačke se referiralo na sinusni talas koji se sastoji od jedne jedine frekvencije koja proizvodi čisti ton. Najčešće zvučne pojave nemaju čisti sinusni oblik.

Muzički instrumenti vrlo rijetko proizvode sinusni ton, što je i dobro jer kada bi bilo tako svi bi zvučali isto. Faktor koji nam omogućuje da razlikujemo zvukove različitih instrumenata je prisutnost i drugih frekvencija uz onu osnovnu. Fourierovom analizom može se svako periodično, nesinusoidno titranje rastaviti na sinusoidalno titranje osnovnog tona (prvog harmonika) i viših tonova (viših harmonika) koji su cijelobrojni višekratnici osnovnog tona. Zato drugačije zvuče npr. violinica i klavir koji odsviraju isti muzički ton (npr. A).

Frekvencijsko područje muzičkih instrumenata je relativno široko. Najniže osnovne tonove imaju orgulje (od 16 Hz), harfa (32 Hz), kontrabas (35 Hz), bastruba (41 Hz) itd. Ovi osnovni tonovi su, međutim, slabiji od njihovih nižih harmonika, jer je talasna dužina pri takо niskim frekvencijama mnogo veća od tijela instrumenta pa je emitiranje zvuka slabo.

Najviše osnovne tonove postižu flauta piccolo (3951 Hz, eventualno do 4200 Hz), harfa (3136 Hz), ksilofon (2794), itd. U zavisnosti o broju i jačini harmonika granične čujne frekvencije instrumenata su znatno više.

Ton može biti:

- čisti ton - u prirodi se gotovo ne pojavljuje, ali se često upotrebljava u mjerne svrhe,
- muzički ton - sastoji se od osnovnog tona i manje ili više harmoničkih tonova. Amplituda osnovnog tona ne mora uvijek biti viša od amplitude viših harmonika. Slušnu visinu tona određuje osnovni ton.

- šum - nepravilno titranje u čijem spektru nema niti stalnih frekvencija niti stalnih amplituda. Posebna vrsta šuma je prasak, koji je kratkotrajna pojava strmog uspona i različite zastupljenosti pojedinih frekvencija u spektru.

Spektralna slika šuma nije linijska nego kontinuirana, što znači da pojedini tonovi gusto ispunjavaju cijelo frekvencijsko područje. Šum često služi u mjerne i ispitne svrhe. Mjeranjem se može ustanoviti da je u bilo kojem području frekvencija snaga šuma u pojasu širine od 1 Hz ista.

Iz tog razloga se toplinski šum, analogno nazivu u optici, naziva bijelim šumom. Reproduciran preko zvučnika takav šum zvuči svjetlo, kao da ima sasvim slabo zastupljene niske frekvencije. Razlog tome je sljedeći: zbog jednakih snaga u pojasu od 1 Hz na niskim oktavama snaga šuma je manja nego na visokim. Npr., usporedbom oktava 100-200 Hz i 3000-6000 Hz proizlazi sljedeće: širina pojasa prve oktave je 100 Hz, a druge 3000 Hz, što daje odnos širina 1:30. To znači da je snaga šuma u niskoj oktavi 30 puta manja. Uzme li se u obzir da je na malim glasnoćama osjetljivost uha za niske frekvencije mnogo manja nego za srednje i visoke, jasno je zašto je tonalitet bijelog šuma visok.

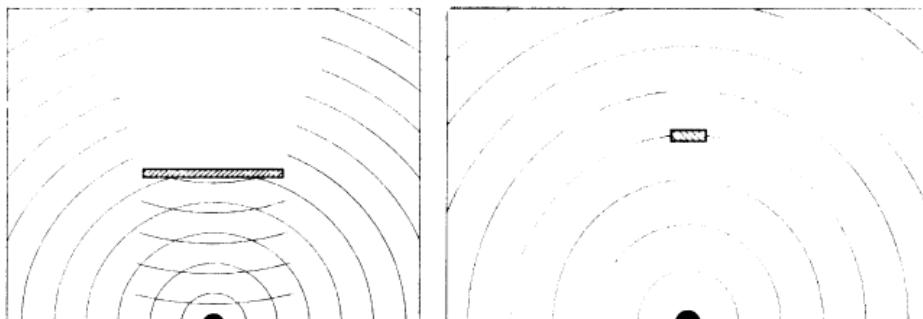
Iz navedenih razloga bijelim šumom nije se uvijek moguće koristiti u mjerne svrhe (npr. pri mjerenu frekvencijske karakteristike zvučničke kutije). Stoga se često upotrebljava tzv. ružičasti šum (engl. pink noise, njem. rosa Rauschen), koji je sličan bijelom šumu, ali mu snaga na višim frekvencijama pada s 3 dB po oktavi, kako bi se na cijelom tonfrekvencijskom području dobila jednolika snaga šuma. Takav oblik šuma se lako dobiva filtriranjem bijelog šuma filtrom čija frekventna karakteristika pada s 3dB/okt.

2.2. POJAVE UZ ŠIRENJE ZVUKA

Na širenje zvučnih talasova mogu se primijeniti zakoni širenja svjetlosti, kao u optici.

2.2.1. Refleksija zvuka

Refleksija zvuka je vrlo bitan pojam o kojem svaki ton majstor mora uvijek voditi računa. Bilo da se radi o željenim refleksijama, bilo o neželjenim (npr. koncert u akustički neobrađenom, zatvorenom prostoru).



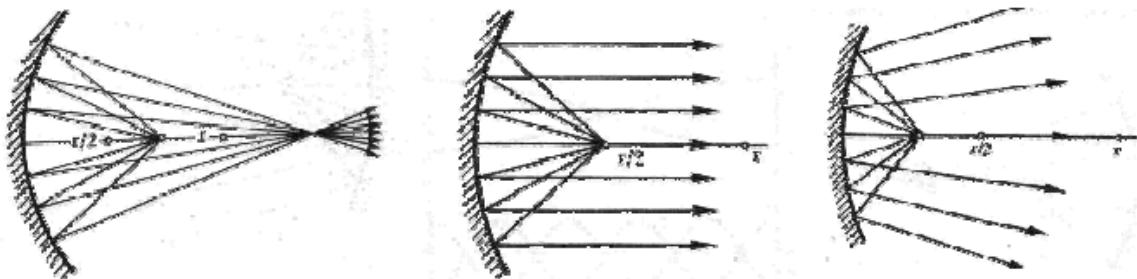
Slika 2.6. Refleksija zvučnih talasova od prepreke čije su dimenzije veće, odnosno manje u odnosu na talasnu dužinu

Na sl. 2.6. prikazana su dva primjera refleksije zvučnih talasova od zapreke mnogo većih dimenzija od njihove talasne dužine. U prvom primjeru talasovi se potpuno odbijaju od zapreke, pa ih iza nje praktički i nema; taj prostor je u „zvučnoj sjeni“.

Izlazni ugao reflektiranog talasa odgovara upadnom kutu ako se radi o glatkoj reflektivnoj površini. U protivnomy pojavljuje se difuzna refleksija ili čak potpuna difuznost. U slučaju paralelnih stijena može doći do „stojećih

talasova“ (nastaju kod kretanja dva jednaka talasa jednoga prema drugome. Efektivne vrijednosti pritiska mogu u čvorovima ili trbusima biti trajno jednake nuli), tj. pojačanja istofaznih refleksija, a protufazne refleksije mogu se potpuno poništiti.

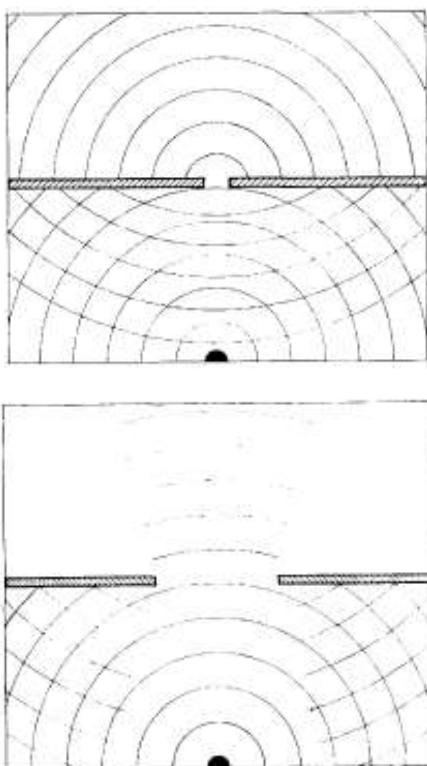
U slučaju konkavnih površina dolazi do fokusiranja ako je razmak d izvora i reflektirajuće konkavne plohe $r < r/2$, do paralelnosti zraka ako je $d=r/2$ odnosno raspršenja ako je $d>r/2$.



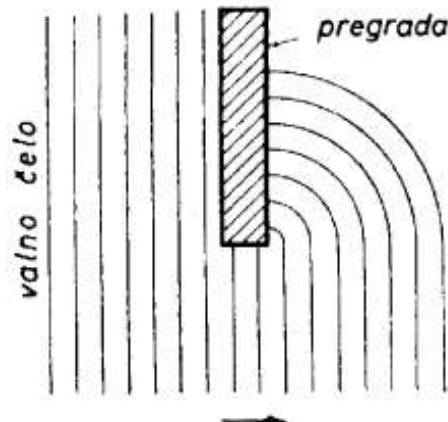
Slika 2.7. Refleksija od konkavne površine

2.2.2. Difrakcija zvučnog talasa

Iz iskustva poznato je da se čuje i ono što se zbiva iza neke pregrade. Zvučni talasovi zaobilaze zapreke, mijenjajući pri tome smjer širenja, pa dolazi do skretanja ili difracije (Slika 2.9).



Slika 2.8. Difrakcija zvučnog talasa kojem je talasna dužina manja, odnosno veća od dimenzija otvora



Slika 2.9. Difrakcija ravnog talasa oko ruba pregrade

Difrakcija je to veća, što je veći omjer talasne dužine prema dimenzijsima pregrade. Prilikom prolaska talasova kroz mali otvor dolazi Takođe do difracije. Tada otvor postaje izvorom kuglastog talasa koji se širi na sve strane iza pregrade (slika 2.8).

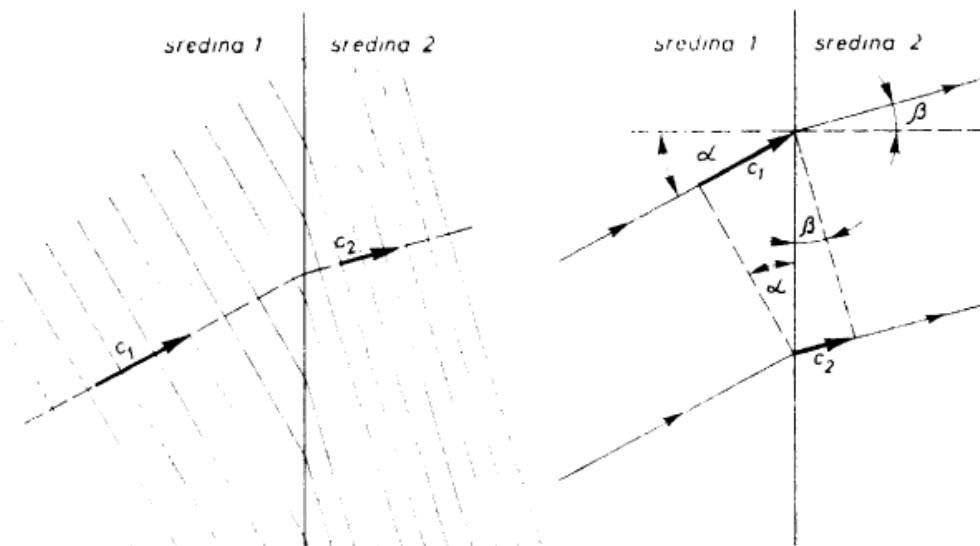
2.2.3. Refrakcija zvučnog talasa

Pri prijelazu zvuka iz jednog medija u drugi dolazi do loma zvučnih zraka (Slika 2.10).

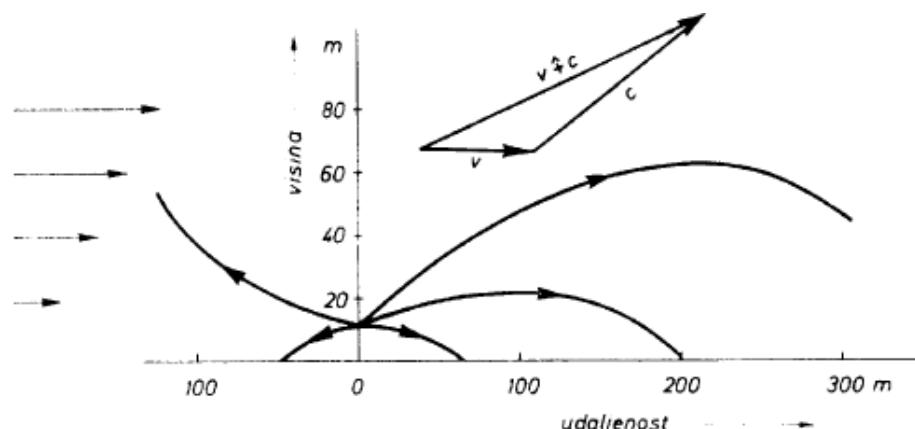
Veličina promjene smjera zavisi o odnosu brzina širenja zvuka u pojedinom mediju:

$$\sin \alpha : \sin \beta = c_1 : c_2$$

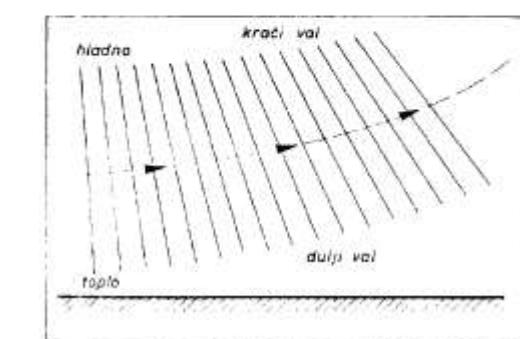
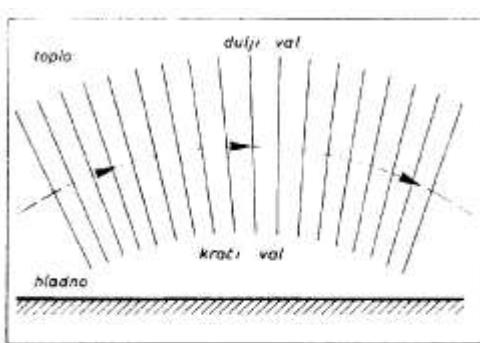
Između brzine zvuka u zraku i one u krutim medijima velika je razlika, pa pri prijelazu zvuka iz zraka u krutu tvar ili obratno zvučne zrake izlaze (ulaze) gotovo okomito na razdjelnu površinu.



Slika 2.10. Refrakcija zvučnih zraka u medijima s različitim brzinama širenja zvuka



Slika 2.11. Širenje zvuka pod uticajem vjetra



Slika 2.12. Promjena smjera zvučnog talasa zbog razlika u temperaturi

Zbog razlika temperature u slojevima zraka biti će različite i brzine zvuka u pojedinim slojevima. U topljem sloju brzina zvuka je veća, pa je veća i njegova talasna dužina. Zato će se, npr. uz pri zemlji toplij zrak zvuk skretati prema gore, tj. hladnjem zraku (Slika 2.12).

Smjer širenja zvuka mijenja i vjetar, jer se njihove brzine vektorski zbrajaju. Brzina zvuka uz tlo je manja zbog trenja (vjetra). Zvuk „uz vjetar“ se širi od tla prema gore, a „niz vjetar“ prema tlu (Slika 2.11).

2.2.4. Apsorpcija zvuka

Svakim prolaskom kroz neku sredinu ili preko neke površine zvučna energija se djelomično gubi i pretvara u toplinu. Stepen (koeficijent) apsorpcije a frekventno je ovisan i pokazuje koliki dio zvučne energije je pretvoren u drugi oblik.

Pretvaranje energije nastaje unutrašnjim i vanjskim trenjem.

Unutrašnje trenje je deformacija materijala (npr. ploča odnosno membrana se pobude na titranje).

Vanjsko trenje nastaje izmenu titrajućih čestica i skeletnih elemenata materijala na koji zvuk (čestice)

nailazi (npr. pomicanje zraka u porama materijala, ili zbog postignute rezonancije zraka u npr. vratu Helmholtzova rezonatora znatno povećanje trenja i time apsorpcije).

Apsorpcija zvuka u zraku nastaje zbog reakcije između H_2O i O_2 molekula, pa je jasno da zavisi i o vlažnosti zraka. Povećanjem vlažnosti zraka se apsorpcija smanjuje, te povećava porastom frekvencije.

Koeficijent apsorpcije α je omjer apsorbiranog zvučnog intenziteta I_a prema ukupnom upadnom intenzitetu I_u :

$$\alpha = \frac{I_a - I_u}{I_u}$$

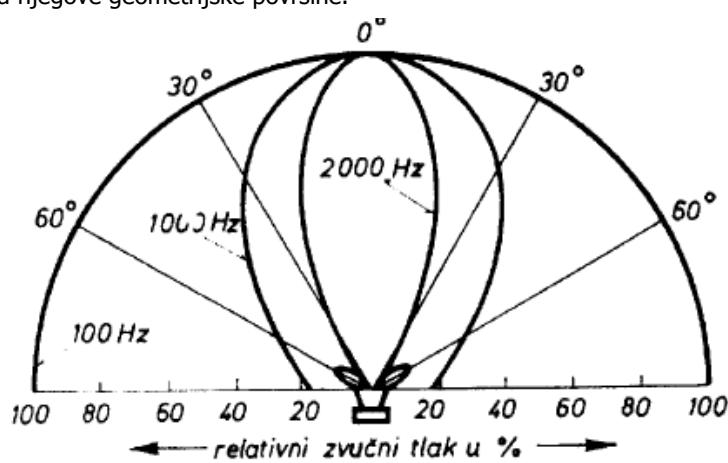
α se često navodi u %. Postoje i vrijednosti iznad 1 (100%) koje pokazuju da je aktivna radna površina nekog apsorbera veća od njegove geometrijske površine.

Dio zvučne energije, koji se ne reflektira i ne apsorbira, prolazi kroz materijal pregrade na drugu stranu (transmisija). Koeficijent transmisije ϑ je omjer propuštenog zvučnog intenziteta prema upadnom:

$$\vartheta = \frac{I_d}{I_u}$$

2.2.5. Usmjerenost zvučnog izvora

Usmjerna karakteristika izvora ovisna je o frekvenciji. Općenito vrijedi da je intenzitet talasova kojima je talasna dužina mnogo veća od dimenzija izvora (npr. promjera zvučničke membrane) približno jednak u svim smjerovima. Povećanjem frekvencije, dakle smanjenjem talasne dužine u odnosu na dimenziju izvora dolazi do odgovarajuće promjene u usmjernoj karakteristici, tj. izvor postaje usmjeren.

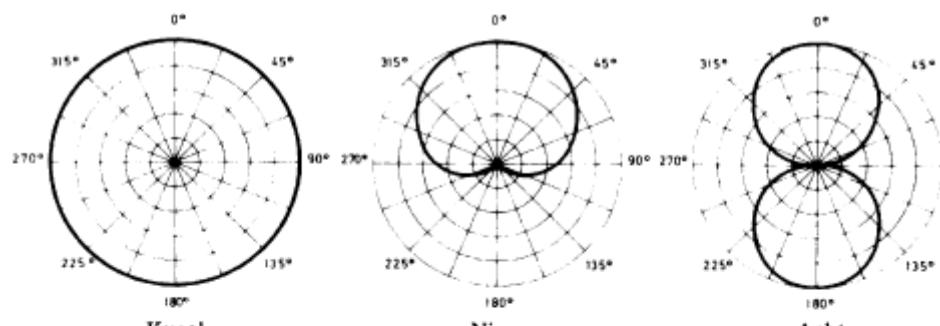


Slika 2.13. Usmjerenost zvučnog izvora zavisno o frekvenciji

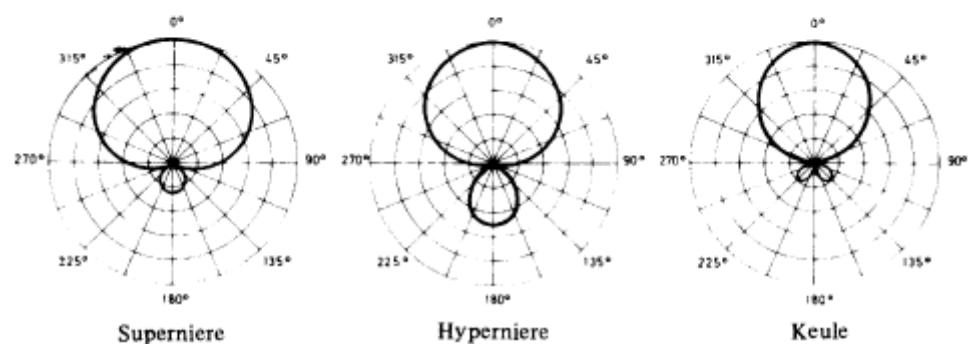
MIKROFONI

3

poglavlje



Grundformen



Različite usmjerene karakteristike zračenja mikrofona

3. MIKROFONI

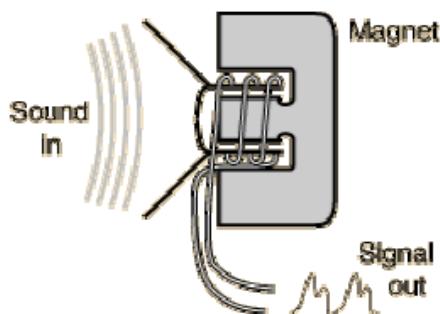
Kad je riječ o izboru mikrofona, postoji više pojma o kojima je potrebno voditi računa. Uvdje će biti riječ o nekim najvažnijim svojstvima mikrofona koja nam sužavaju krug njegove primjene.

3.1. PODJELA MIKROFONA

3.1.1. Električna podjela

Elektrodinamički mikrofon

Kod elektrodinamičkog mikrofona djelovanje se zasniva na elektrodinamičkom efektu.

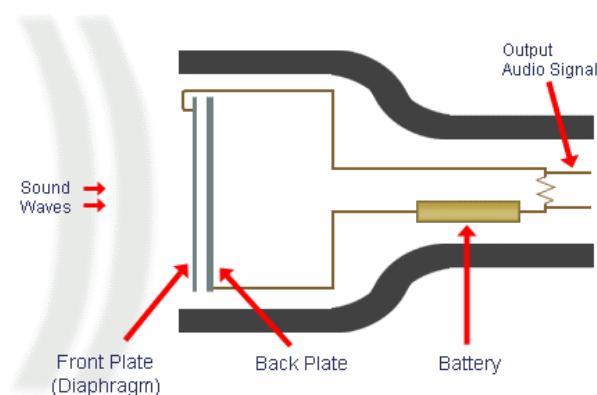


Slika 3.1. Princip elektrodinamičkog mikrofona

Ukratko, kao što se vidi na slici 3.1., membrana je spojena sa zavojnicom koja se nalazi u magnetskom polju permanentnog magneta. Izlazni napon proporcionalan je brzini titranja. Kod elektrodinamičkih i elektromagnetskih mikrofona izlazni napon je proporcionalan zvučnom pritisku onda kada je brzina titranja proporcionalna zvučnom pritisku.

b) Kondenzatorski mikrofon

Membrana je u ulozi jednog pola kondenzatora. Titranjem membrane mijenja se kapacitet mikrofona.



Slika 3.2. Kondenzatorski mikrofon

Izmjenični izlazni napon razmjeran je pomjeraju x membrane.

$$u(t) = C \cdot x$$

Veličina izlaznog napona i pomjeraja ne zavisi o frekvenciji. Kako bi taj odnos bio neovisan o frekvenciji, i pomak membrane dakle, mora biti neovisan o frekvenciji.

Ovom mikrofonu je za rad potreban ulazni napon za početno nabijanje kondenzatora, a ostvaruje se ili baterijom koju umetnemo u mikrofon ili uključivanjem tzv. „fantomskog“ napajanja (48 V - na stolu za miješanje).

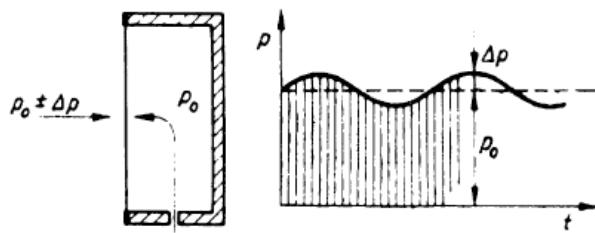
Što se tiče električke podjele mikrofona, potrebno je još spomenuti i ugljene, kristalne, tračne i ostale mikrofone koji neće biti obrađeni detaljnije jer se koriste jako rijetko (neki gotovo nikad) u ozvučavanju već u druge posebne svrhe. Recimo ugljeni mikrogon isključivo u telefoniji i slično.

3.1.2. Akustička podjela

Tlačni mikrofon

Ako je samo jedna strana membrane izložena zvučnom talasu, ona titra zbog promjenljive razlike pritiska izvan i unutar mikrofona. Na vanjski stacionarni pritisak je superponirana izmjenična zvučna komponenta.

Nivo atmosferskog pritiska u unutrašnjosti kućišta mikrofona je osigurana malom rupicom u kućištu. Kroz nju se ne mogu proširiti brze promjene superponiranog zvučnog pritiska do unutrašnje strane membrane.



Slika 3.3. Tlačni mikrofon

Budući da je zvučni pritisak u nekoj tački zvučnog polja neovisan o položaju elementarne plohe na koju djeluje, i tlačni mikrofoni su jednakom osjetljivim sa svih strana, bez obzira kako je usmjerenova površina membrane s obzirom na smjer širenja zvučnog talasa.

Usmjerna karakteristika (objašnjeno kasnije) je kružnica, ali na višim frekvencijama, na kojima su dimenzije mikrofona reda veličine talasne dužine, karakteristika se izobličuje.

Gradijentni mikrofon

Kod gradijentnih mikrofona zvučni pritisak djeluje s obje strane membrane. Na prednju stranu djeluje pritisak p_1 , a na stražnju p_2 .

Na membranu djeluje sila:

$$F = S \cdot (p_1 - p_2)$$

Ta sila proporcionalna je promjeni pritiska po jedinici dužine, znači gradijentu pritiska, pa otuda i naziv tih mikrofona.

Treba voditi i računa o tome da zbog različite dužine puta zvučnog talasa dolazi do fazne razlike ϕ .

Usmjerna karakteristika gradijentnog mikrofona je u obliku osmice. Budući da udaljenost izmenju prednje i stražnje strane membrane zavisi o kutu upada zvučnog talasa, i gradijent pritiska ovisan je o tom kutu.

Spajanjem tlačnog i gradijentnog mikrofona u seriju dobiva se mikrofonska kombinacija koja ima usmjernu karakteristiku u obliku bubrega ili kardioide.

3.2. OSOBINE MIKROFONA

3.2.1. Osjetljivost

Pod osjetljivošću mikrofona razumijeva se odnos elektromotorne sile – e , mjerene na izlaznim priključnicama prema zvučnom pritisku – p , slobodnog zvučnog polja na mjestu mikrofona:

$$s = \frac{e}{p}$$

Osjetljivost se izražava ili u mV/Pa (milivolt/paskal) ili u dB (decibelima).

Ako se naznačuje u decibelima, uspoređivanje se obično obavlja sa zamišljenim mikrofonom, koji bi uz pritisak od jednog paskala dao na izlazu elektromotornu silu od jednog volta:

$$s = 20 \log\left(\frac{e}{p}\right) \text{re} \left[\frac{\text{V}}{\text{Pa}} \right]$$

Oznaka „re“ znači „u relativnom odnosu za 1Pa-1V izlaza“.

Ako nije drugačije istaknuto, osjetljivost se uvijek odnosi na napon neopterećenog mikrofona, na frekvenciju 1000Hz i na smjer s prednje strane mikrofona okomito na ravninu titravnog elementa. Budući da osjetljivost mikrofona iznosi dio mV/Pa, ili tek nekoliko mV/Pa, dobiva se za osjetljivost velik negativni broj decibela.

Referentni zvučni pritisak od 1 Pa, ima sasvim praktičko značenje, jer je to približno pritisak što ga proizvodimo govorom na udaljenosti 30 centimetara od usta.

3.2.2. Efikasnost

Kad mikrofon daje snagu nekom otporu ili impedansiji, treba ga gledati kao izvor energije. U vezi s tim uveden je pojam efikasnosti mikrofona.

To je odnos električne snage prilagođenog mikrofona prema snazi zamišljenog mikrofona, koji bi uz zvučni pritisak od 1 Pa dao snagu od 1 mV. Prilagođenje zahtijeva da opteretni otpor R_t bude jednak unutarnjem otporu mikrofona, i u tom slučaju na opteretnom otporu vlada pola elektromotorne sile, te je snaga:

$$p = \frac{e^2}{4R_t} = \frac{e^2}{4R_t} \cdot \frac{p^2}{p^2} = \left(\frac{e}{p}\right)^2 \cdot \frac{p^2}{4R_t}$$

U odnosu na snagu od 0,001W uz pritisak od 1Pa dobivamo efikasnost u decibelima:

$$n = 20 \log\left(\frac{e}{p}\right) - 20 \log R_t + 24B$$

Primjer:

- Dinamički mikrofon koji ima osjetljivost od - 65 dB re V/Pa, unutrašnju impedansu od 10Ω , pa prema navedenoj formuli efikasnost od - 51 dB, treba priključiti na pojačalo koje pojačava snagu za 90 dB. Koliku će izlaznu snagu dati pojačalo uz zvučni pritisak od 1Pa?

Sabiranjem broja dB dobivamo: $-51 + 90 = 39$ dB, što odgovara snazi od približno 8000 mW ili 8 W.

3.2.3. Impedansa

Pod impedansom mikrofona razumijeva se ona impedansa koju mikrofon ima kao izvor izmjenične elektromotorne sile.

To je, dakle, unutarnja impedansa mikrofona kao generatora. Naznačena vrijednost impedanse mikrofona obično se odnosi na frekvenciju 1kHz.

Ako se radi o dinamičkim mikrofonima, koji gotovo redovito imaju transformator, naznačena impedansa jest impedansa titravnog elementa prenesena na sekundarnu stranu transformatora.

Mikrofoni se općenito dijele na one s:

- niskom impedansom ($10, 50, 200$ ili 600Ω) i
- visokom impedansom ($25, 50$ ili $80 \text{ k}\Omega$).

U novije vrijeme konstruktori nastoje da impedanse mikrofona normiraju, tako da niska impedansa bude 200Ω , a visoka $50 \text{ k}\Omega$.

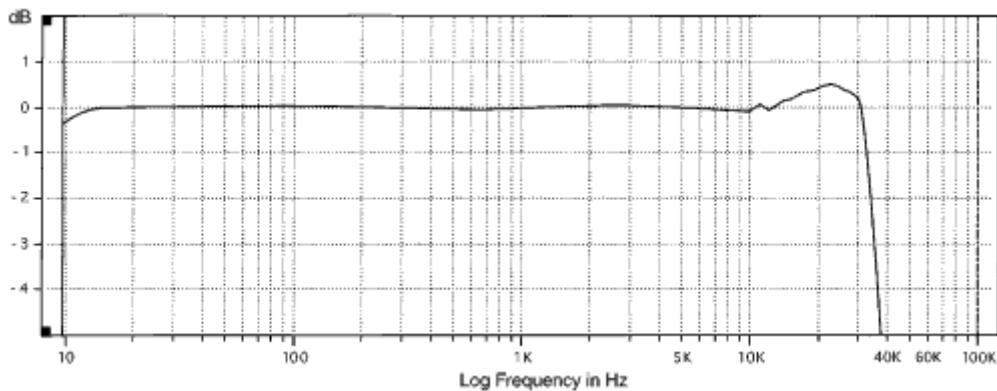
Iza mikrofona s niskom izlaznom impedansom može se priključiti dulji kabal, a da to ne djeluje na gornju graničnu frekvenciju. Mikrofone s visokom izlaznom impedansom treba što kraćim vodom priključiti direktno na ulaz prepojačala.

3.2.4. Frekventna karakteristika

Pokazuje zavisnost osjetljivosti mikrofona o frekvenciji. Ako nije posebno navedeno prikazana je za okomiti upad zvučnog talasa na površinu membrane.

Kod kvalitetnih mikrofona osjetljivost bi u cijelom prijenosnom području trebala biti jednaka.

Na slici 3.3 prikazana je frekventna karakteristika dobrog mikrofona koja je u najširem frekventnom (radnom) području konstantna.



Slika 3.4. Tipična frekventna karakteristika mikrofona

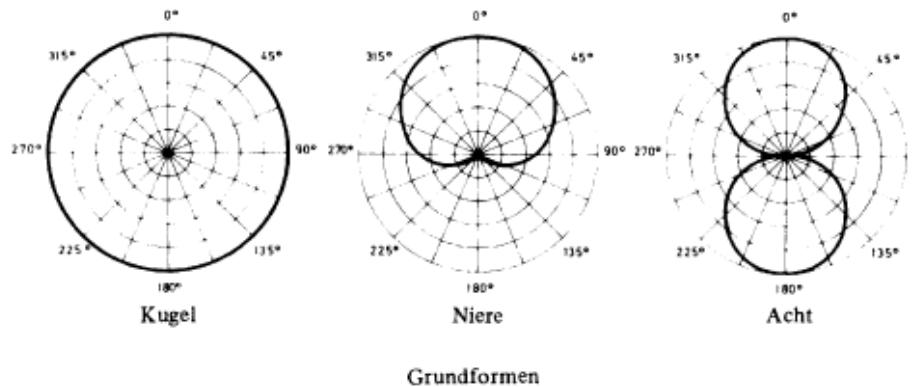
3.2.5. Usmjerna karakteristika

Najčešće su karakteristike u polarnom dijagramu:

- kružna (omnidirekionalna)
- osmičasta (bidirekionalna)
- bubrežasta ili kardioidna (unidirekionalna)

Mikrofoni se odabiru za određene svrhe i prema svojim usmjernim karakteristikama. Npr., za snimanje intervjuja je praktično koristiti mikrofon s osmičastom karakteristikom. Ili, kardioidnom karakteristikom će se uspješno potisnuti neželjena buka npr. auditorija.

Usmjerna karakteristika je frekventno ovisna i moguće su mnoge kombinacije različitih karakteristika.



Slika 3.5. Različite usmjerne karakteristike

3.2.6. Stepen korisnosti

Jedan dio zvučne energije koji dolazi na membranu se reflektira, a jedan dio pokreće membranu.

Zbog slabog prilagođenja akustičke impedanse zraka na mehaničku impedansu membrane, te zbog dvostrukе pretvorbe energije (akustičke u mehaničku i mehaničke u

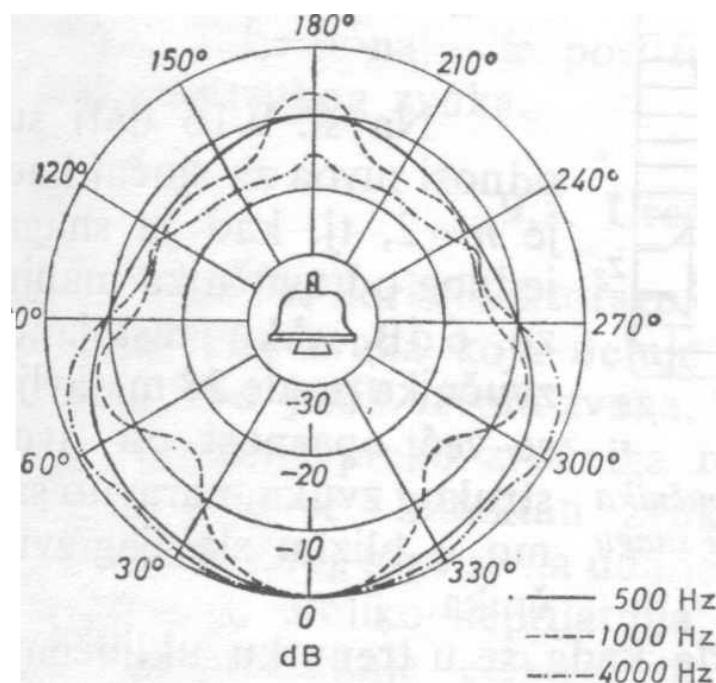
električku) stepen djelovanja je vrlo malen. Kreće se najčešće izmena 0,1 i 1%.

Iz navedenoga u ovom poglavlju o mikrofonima može se zaključiti. Ne postoji najbolji mikrofon!

Izbor mikrofona zavisi od prostora koji koristima ili instrumentu koji se ozvučava. Uzimajući u obzir sva izriječena svojstva bira se mikrofon koji najbolje služi svrsi.

OZVUČAVANJE OTVORENOG PROSTORA

4 poglavlje



Specijalan zvučnik sa velikim uglom zračenja

4. OZVUČAVANJE OTVORENOG PROSTORA

4.1. PROSTIRANJE ZVUKA U OTVORENOM PROSTORU

Osnovna razlika u ozvučavanju otvorenog i zatvorenog prostora je u načinu prostiranja zvučnih talasa.

Kod otvorenog prostora praktično se ne uzima u obzir reflektovani zvuk. Tačnije bi bilo reći da se ne uzima u obzir doprinos reflektovanih zvučnih talasa u povećanju opšteg nivoa zvučne energije - kako je to slučaj kod zatvorenih prostorija gdje se sa udjelom reflektovanih talasa ozbiljno računa. Ali to ne znači da pri ozvučavanju otvorenog prostora ne treba voditi računa o uticaju površina koje reflektuju zvučne talase. Takvih površina uobičajeno ima (tribine, okolne zgrade). One su najčešće štetne jer izazivaju pojave neželjenog odjeka, ali nekad njihova blizina može i dobro doći npr. za prividno pojačanje direktnog zvuka (zid iza govornika) ili za dobijanje izvjesne reverberacije (ljetne pozornice). U principu se, međutim, pri proračunu snage i dometa zvučnika ne računa s reflektujućim površinama i utoliko je cijeli postupak jednostavniji.

Naprotiv, u zatvorenim prostorijama reflektovani zvučni talasi imaju veliki, u stvari presudan uticaj i na nivo i na kvalitet zvuka. Samo se ovde opet ne smije zanemariti doprinos direktnog zvuka koji je vrlo značajan za lako i pažljivo slušanje.

Pri ozvučavanju otvorenog prostora osnovno o čemu treba voditi računa kod proračuna snage zvučnika je domet koji treba ostvariti. Nije ni približno svejedno da li se radi o manjim ili velikim rastojanjima. U prvom slučaju vremenske prilike ne utiču bitno na prostiranje zvuka, dok u drugom slučaju baš one uslovjavaju daljinu dometa. Granica između velikih i malih rastojanja približno se može postaviti na oko 100 m.

4.1.1. Prostiranje zvuka na kratkim rastojanjima

Domet zvučnika zavisi od njegove snage i od slabljenja zvučnih talasa na putu koji treba da pređu.

Nivo zvuka na mjestu koje treba ozvučiti određen je uslovima o kojima će biti riječi u poglavljju 5. Polazeći od ovog zadanog nivoa i znajući slabljenje zvuka na putu od zvučnika do mjesta slušanja, može se izračunati potrebna snaga zvučnika.

Osnovno slabljenje na kratkim rastojanjima je ono koje potiče od širenja zvučnih talasa. Poznato je da intenzitet zvuka opada sa kvadratom rastojanja, a zvučni pritisak je obrnuto srazmjeran rastojanju. Zato se, poznajući zvučni pritisak p_1 , na rastojanju r_1 može naći zvučni pritisak p na ma kojem rastojanju r po obrascu:

$$p = \frac{r_1}{r} p_1$$

Dovoljno je, prema tome, poznavati efikasnost zvučnika i imati zadat zvučni pritisak p na rastojanju r , pa da se izračuna potrebna snaga zvučnika.

Polazi se od obrasca:

$$p = T_{p,P} \sqrt{P} \frac{1}{r}$$

gdje je:

$T_{p,P}$ – efikasnost zvučnika (onos zvučnog pritiska koji zvučnik proizvodi na rastojanju 1m u smjeru ose i kvadratnog korijena iz tzv. mjerene snage – P na zvučnicima).

I iz njega se izračuna snaga P kao:

$$P = \frac{p^2 r^2}{T_{p,P}^2}$$

U cijelom ovom izvođenju prepostavljeno je da je zvučnik usmjeren ka mjestu ozvučavanja. (Podsjetiti se da efikasnost daje podatak o zvučnom pritisku u smjeru ose zvučnika). U praksi je to gotovo uvek slučaj. Čak i kad treba ozvučiti veću površinu, zvučnik se usmjerava ka najudaljenijim mjestima. Mjesta koja su bliže nalaze se izvan ose zvučnika i po tome bi trebalo da imaju niži nivo zvuka, ali s obzirom da su na manjem rastojanju u , obično je intenzitet zvuka na takvim mjestima čak i veći. Vještina je postaviti zvučnike tako da se na cijeloj površini koja se ozvučava dobije približno jednak nivo zvuka. Da bi se to ostvarilo, potrebno je poznavati karakteristiku usmjerenosti.

Primjer:

- Snaga zvučnika je 100W, a efikasnost $5 \text{ Pa} / \sqrt{\text{W}}$. Koliki je nivo zvuka na udaljenosti 100m?

Na rastojanju 1m, pri snazi od 100W zvučni pritisak će biti:

$$p = T_{p,P} \sqrt{P} = 5\sqrt{100} = 50 \text{ Pa}$$

Pa je nivo zvuka L_1 :

$$L_1 = 20 \log \frac{p_1}{p_0} = 20 \log \frac{50}{2 \cdot 10^{-5}} = 128 \text{ dB}$$

gdje je:

p_0 – prag čujnosti (nulti nivo zvuka) čovjeka od $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$.

Sad je slabljenje na udaljenosti 100m na putu od r_1 (1m) do r (100m):

$$(L_1 - L) = 20 \log \frac{r}{r_1} = 20 \log 100 = 40 \text{ dB}$$

To znači da će nivo zvuka na 100m iznositi:

$$L = L_1 - 20 \log \frac{r}{r_1} = 128 - 40 = 88 \text{ dB}$$

Dati primjer pokazuje da slabljenje uslijed širenja zvučnih talasa na putu od 1 m do 100 m, dakle približno za prvih 100 m puta, iznosi 40 dB. To je daleko više nego što iznosi slabljenje uslijed drugih uticaja (vidi naredna poglavljia) i zato pri ozvučavanju sa kratkim dometom (ispod 100 m) o drugim uzrocima slabljenja zvuka ne treba voditi računa.

Na kraju treba reći da na kratkim rastojanjima i teren iznad koga se zvuk prostire ima uticaja na nivo zvuka. Ako je to teren koji jače apsorbuje zvuk (visoka trava, pesak, rastinje, veći sneg), onda su uslovi prostiranja bliski onima u neograničenom slobodnom prostoru i onda je zaista račun sproveden u prethodnom primjeru tačan. Ako se, naprotiv, radi o tvrdom reflektujućem terenu (beton, ploče), onda nivo zvuka na mjestu prijema treba povećati do 3 dB. To je poslijedica refleksije koja kao da potiče od još jednog zvučnika iste snage koji se nalazi ispod terena, simetrično, kao lik u ogledalu. Na većim rastojanjima reflektovani zvuk je suviše raspršen, pa se sa ovim dobitkom od 3 dB ne može računati.

4.1.2. Uticaj vremenskih prilika na slabljenje zvuka

Slabljenje zvuka uslijed širenja zvučnih talasa postaje relativno sve manje izraženo ukoliko su udaljenosti veće. Tako, npr., na putu od $r_J = 100$ m do $r= 200$ JTI (dakle na narednih 100 m puta zvučnih talasa) slabljenje iznosi:

$$20 \log \frac{200}{100} = 6 \text{dB}$$

To znači da bi nivo zvuka od 88 dB, koji bi zvučnik iz prethodnog primjera proizveo na 100 m, opao za sljedećih 100 m na 82 dB, što je relativno mala promjena. Razlika ti nivou za sljedećih 100 m postaje još manja itd.

Ovakav račun stvara utisak da se zvuk može proširiti na vrlo velike daljine. Ako se opet iskoristi naš primjer, naći će se da bi nivo zvuka koji proizvodi zvučnik od 100 W na 100km iznosio:

$$L = L_1 - 20 \log \frac{r}{r_1} = 88 - 20 \log \frac{100}{0,1} = 28 \text{dB}$$

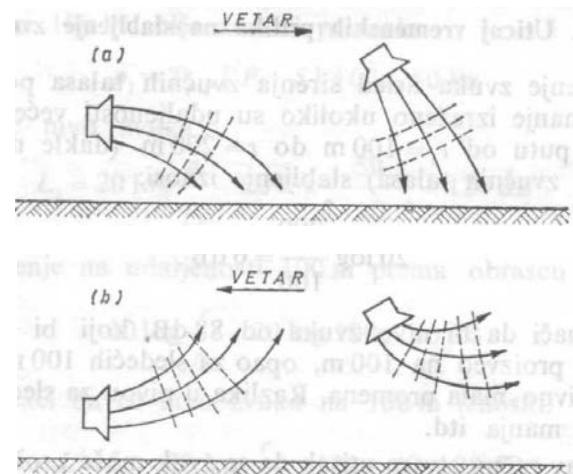
Ovo je nizak nivo zvuka, ali ipak dovoljan da se u datim uslovima sasvim lijepo čuje. Ipak, iluzorno je pomisliti da bi se ovaj, pa i mnogo jači zvučnik, mogao čuti na udaljenosti od 100 km. Činjenica je da će zvuk mnogo više oslabiti uslijed drugih uzroka koji dolaze do izražaja tek kad se radi o većim rastojanjima.

Jedan od osnovnih uzroka su razne prepreke na koje zvuk nailazi, odbija se i mijenja pravac. Ovakve prepreke realno uvijek postoje, ali i kad ih ne bi bilo (npr. na morskoj površini), postoje drugi, još važniji uzroci. Kao prvi moglo bi se navesti savijanje (refrakcija) zvučnih talasa, a kao drugi apsorpcija zvučne energije u vazduhu pri prostiranju.

Uzrok savijanja zvučnih talasa su najčešće vremenske prilike, i to na prvom mjestu vjetar, a zatim temperaturne razlike slojeva vazduha kroz koje zvuk

prolazi. I jedno i drugo ima za poslijedicu promjenu brzine prostiranja zvuka uslijed čega dolazi do savijanja.

Brzina vjetra nije na svim visinama jednaka; veća je u Visini, a manja uz površinu zemlje. Zbog toga zvučni talasi koji se prostiru kroz razne slojeve vazduha nemaju jednaku brzinu i to dovodi do savijanja talasnog fronta - ka zemlji kad se zvuk prostire niz vjetar a nagore - kad se zvuk prostire uz vjetar (vidi sliku 4.1).



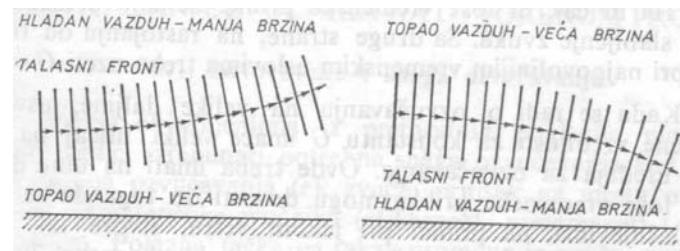
Slika 4.1. Savijanje zvučnih talasa pri prostiranju: a - niz vjetar, b - uz vjetar

I jedno i drugo skretanje pravca prostiranja po pravilu smanjuje domet jer odvodi zvuk van željenog pravca.

Ako je zvučnik postavljen nisko nad zemljom, onda je domet nešto veći kad zvuk ide niz vjetar, ali iskustvo pokazuje da smjer vjetra nema bitnog značaja kad je zvučnik relativno visoko, iznad 10 m. Tada je slabljenje zvuka praktično jednako i u smjeru vjetra, i u suprotnom. Tako nešto naslućuje se prema slici 4.1.

Savijanje zvučnih talasa može biti i poslijedica razlike u temperaturi slojeva vazduha. Kroz topliji vazduh zvuk se brže prostire, pa je krajnji rezultat isti kao pod dejstvom vjetra. Slika 4.2 pokazuje razlike u prostiranju zvuka danju i rano ujutru.

Uticaj vjetra na slabljenje zvuka (skraćenje dometa) obično je znatno veći nego uticaj temperaturnih razlika slojeva.



Slika 4.2. Savijanje zvučnih talasa. a - danju, b - ujutru

Gubici zvučne energije koji se javljaju pri prostiranju zvuka kao poslijedica uobičajenih vremenskih prilika srazmjeri su u svakom trenutku raspoloživoj energiji. Oni su po apsolutnom iznosu veći ukoliko je količina

zvučne energije veća, a kad nestane zvučne energije, nema ni gubitaka. Ovde treba imati na umu da izuzetno loše vremenske prilike mogu dovesti do toga da se u nekim slučajevima, npr. pri jakom vjetru, stvore tzv. mrtve zone. Tada slabljenje može dostići iznose od preko 20 dB, a to traži 100 puta veću snagu. Za rad pod takvim izuzetnim uslovima ne bi imalo smisla projektovati uređaje za ozvučavanje.

4.1.3. Slabljenje zvuka uslijed apsorpcije u vazduhu

Pri prostiranju zvuka kroz vazduh dio zvučne energije se pretvara u toplotu. Iako su ovi gubici vrlo mali, ipak na većim rastojanjima i na višim frekvencijama i oni dolaze do izražaja.

Npr., za temperaturu 20°C i za vlažnost iznad 40% slabljenje zvuka uslijed ovih gubitaka iznosi približno:

za 1.000 Hz	0,005 dB/m
za 2.000 Hz	0,01 dB/m
za 4.000 Hz	0,03 dB/m
za 10.000 Hz	0,1 dB/m

Kako za ozvučavanje na veće daljine dolazi samo u obzir prenos govora koji treba da bude dovoljno razumljiv, ne mora se voditi računa o slabljenju komponenata čija je frekvencija iznad 4000 Hz. Frekvencije ispod 1000 Hz praktično se prostiru bez ovih gubitaka.

Ako se zvuk prostire pod idealnim vremenskim prilikama (što je izuzetno retko), ili u zatvorenom prostoru, onda gubici sadrže samo slabljenje uslijed apsorpcije u vazduhu. Uticaj ovog slabljenja je takav da se sa povećanjem udaljenosti mijenja frekventna karakteristika prenosa, dolazi do sve jačeg zapostavljanja viših frekvencija. U nekim slučajevima i o tome se vodi računa.

4.2. POSTAVLJANJE ZVUČNIKA NA OTVORENOM PROSTORU

4.2.1. Nivo zvuka i snaga ozvučavanja

Prema objašnjenjima iz prethodnih poglavlja može se u svakoj prilici izračunati potrebna snaga ozvučavanja kad su poznati daljina ozvučavanja (r), zvučni pritisak na mjestu ozvučavanja (p), karakteristike zvučnika (efikasnost, usmjerenost) i vremenske prilike. Polazna tačka za takav proračun je zvučni pritisak (p), odnosno nivo zvuka (L) u dB.

Za proračun je najbolje računati sa podacima za 1000Hz. Sa njima se najčešće i raspolaze. Ispod 1000Hz praktično je cijela zvučna energija govora, dok komponente iznad 1.000Hz »nose« skoro svu razumjivost. Zato 1.000Hz predstavlja neku kompromisnu sredinu. Sličan je odnos i za muziku.

Imajući u vidu subjektivne karakteristike ljudskog uha ne bi imalo nikakvog smisla propisivati potrebne nivoje zvuka sa takvom preciznošću da »skokovi« budu reda 1 ili 2 dB. Obično se za sve slučajeve ozvučavanja može usvojiti

jedan od slijedeća tri nivoa zvuka: 74 dB (0,1 Pa), 80 dB (0,2 Pa) ili 86 dB (0,4 Pa). Vrijednosti između ovih uvijek se mogu naknadno podesiti, jer svaki uređaj za ozvučavanje sadrži izvjesnu rezervu snage.

74 dB je normalan nivo zvuka koji je dovoljan u svim prilikama kad nivo buke nije veći od onog koji prihvatomo kao normalan. On se koristi za teniska igrališta, plivačke bazene, prostore za parkiranje, ranžirne stanice, pozivne uređaje u brodarstvu, za ozvučavanje svih javnih skupova itd.

80 dB je nivo koji se koristi kad u prostoru koji se ozvučava postoji izvjestan nivo buke. To je slučaj kod manjih sportskih terena (za košarku, odbojku i sl.), staničnih hala i prilaza peronima, kod prostora kroz koje se kreću ljudi itd.

86 dB je nivo koji je potreban za bučnu okolinu. Takvi su veliki sportski stadioni, peroni železničkih stanica, uređaji za regulisanje saobraćaja na ulicama, piste za moto-trke itd.

Gornji nivoi su prosječne vrijednosti koje će u toku prenosa biti povremeno premašene zbog dinamike reprodukovanih govora i muzike. Da ne bi došlo u tim trenucima do izobličenja, drugim riječima ako se želi prenos boljeg kvaliteta, treba računati sa nivoom uvećanim za oko 10 dB i prema njemu dimenzionisati snagu zvučnika. To praktično znači da je nivo od 84 dB najmanja vrijednost sa kojom se u takvim prilikama računa.

Napred navedena podjela objekata po jačini ozvučavanja je prosjek za veliki broj slučajeva. U stvarnosti se lako može desiti da su uslovi (u prvom redu nivo postojeće buke i vremenske prilike) takvi da se mora ići na slijedeći viši nivo zvuka od onog koji je za taj objekat predviđen. Ili bar da mora postojati rezerva snage dovoljna da se taj viši nivo u slučaju potrebe ostvari. Isto tako, za reprodukciju muzike visokog kvaliteta treba ići i do 1 Pa (94 dB), ali ovo se može smatrati izuzetkom.

Sa druge strane, nekad je dovoljan i nivo niži od 74 dB, npr. za tihu muziku u otvorenim restoranima ili za šetališta u odmaralištima i banjama. Pri ozvučavanju otvorenog prostora uvijek se radi o ozvučavanju površina. Da bi se dobila približna procjena električne snage koja je potrebna u pojedinim slučajevima, i to za najviši nivo zvuka od 86 dB, može se koristiti slijedeća tabela.

Površina koja se ozvučava do (m^2)	Električna snaga (mW/m^2)
10.000	$160/T^2$
25.000	$120/T^2$
40.000	$80/T^2$

T - efikasnost zvučnika u Pa/ \sqrt{W}

Tabela 4.1. Procjena snage za ozvučavanje

Vrijednosti date u tabeli ne bi trebalo prekoračiti osim u izuzetnim slučajevima.

4.2.2. Akustička povratna sprega

Akustička povratna sprega može da nastupi onda kad je mikrofon uređaj za pojačanje zvuka postavljen u zoni ozvučavanja. Ako je zvučni pritisak koji proizvodi zvučnik na mjestu gdje je mikrofon veći od zvučnog pritiska koji proizvodi govornik, doći će do pojačanja prvobitnog pritiska pred mikrofonom. To će dovesti do pojačanja snage zvučnika, a ovo pojačanje izazvaće novo pojačanje zvučnog pritiska na mjestu mikrofona. Stalno pojačavanje doveće do oscilovanja elektroakustičkog kola mikrofon-pojačavač-zvučnik-mikrofon na frekvenciju za koju su uslovi povratne sprege najlakše ispunjeni. Pojava se ispoljava vrlo jakim i vrlo neprijatnim »zviždanjem».

Zvučni pritisak koji proizvodi zvučnik na mjestu mikrofona (p_m) može se izračunati iz uslova o potrebnoj veličini zvučnog pritiska (p) na najdaljenijem mjestu (r).

Zvučni pritisak na mjestu mikrofona koji je na rastojanju r_m od zvučnika nalazi se po obrascu:

$$p_m = \frac{p \cdot r}{r_m}$$

Pri ovome je pretpostavljeno da je i mikrofon postavljen u smjeru ose zvučnika, ili da zvučnik nije usmjeren, tj. da zrači energiju ravnomjerno u svim smjerovima.

Da ne bi došlo do oscilovanja (povratne sprege), treba zvučni pritisak P_m da bude manji od pritiska P_g koji proizvodi govornik, tj. treba da bude ispunjen uslov:

$$\frac{p \cdot r}{r_m} < p_g$$

Odavde je:

$$r_m > r \frac{p}{p_g}$$

Da se ne bi radilo pod uslovima koji predstavljaju granicu na kojoj počinje oscilovanje, treba radi sigurnosti rastojanje mikrofona uzeti bar dva puta veće, tako da se dobija konačno:

$$r_m > 2r \frac{p}{p_g}$$

Proizvod $p \cdot r$ predstavlja konstantu za svaki zvučni izvor i zato se ne mora uzeti zvučni pritisak p na najvećoj daljini ozvučavanja r , nego se može uzeti ma koja vrijednost zvučnog pritiska na odgovarajućem rastojanju.

Po zadnjem obrascu bili bi vrlo nepovoljni izgledi za uspešno postavljanje mikrofona. Zvučni pritisak p_g koji proizvodi govornik pri normalno nešto pojačanom govoru iznosi oko 0,1 Pa na rastojanju 1 m. Ako je mikrofon ispred govornika na 20 cm (a normalno je i do 30 cm, pa i više), ovaj pritisak neće preći 0,5 Pa. Koristan zvučni pritisak P mora u mnogim slučajevima imati bar 0,3 Pa (84 dB). Po ovim podacima zadnji obrazac daje da mikrofon mora biti dalje od zvučnika nego što je krajnja tačka ozvučavanja.

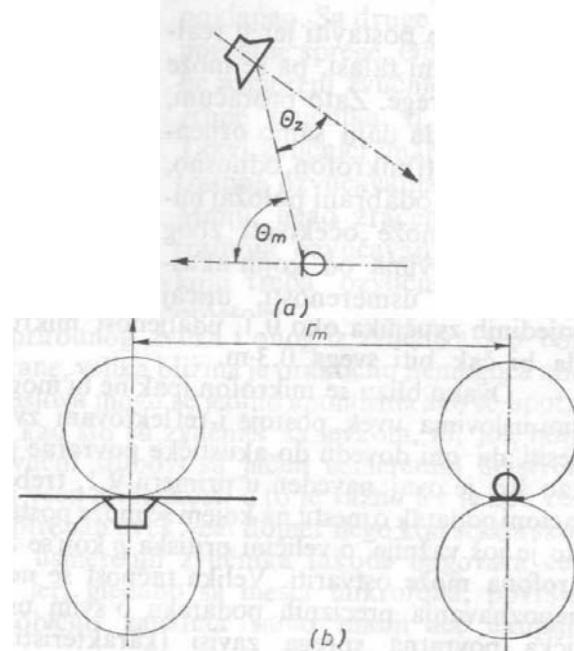
U stvarnosti situacija je drugačija jer se uvijek radi i sa usmjerenim zvučnicima i sa usmjerenim mikrofonima, a mikrofon se nikad ne postavlja u smjeru ose zvučnika niti se okreće osom prema zvučniku, U tom slučaju je:

$$r_m > 2r \frac{p}{p_g} \Gamma_z \Gamma_m (\theta_m)$$

gdje su Γ_z i Γ_m faktori smjera zvučnika i mikrofona za pravac koji spaja zvučnik i mikrofon (vidi sliku 4.3). Određeno smanjenje opasnosti od povratne sprege može se ostvariti i tako da se mikrofon još više približi govorniku, ili da govornik pojača glas, a može se usvojiti i niži nivo zvuka za ozvučavanje, ali mnogo važnije je i sigurnije dobro postaviti mikrofon.

Mikrofon treba po mogućnosti da se nalazi u pravcu najslabijeg zračenja zvučnika (Γ_z malo). Kod zvučnika montiranih u ploči to je pravac koji zaklapa ugao od 90° prema osi. Teorijski je faktor smjera za ovaj ugao ravan nuli, a praktično se može računati da nije veći od 0,1. Imajući ovo u vidu, udaljenost mikrofona u pravcu okomitom na osu zvučnika mogla bi biti 10 puta manja nego u pravcu ose.

Niti je lako postaviti mikrofon uvijek na najpovoljnijem mjestu, niti je lako poznavati faktor smjera zvučnika za sve pravce. Faktor usmjerenosti (γ), međutim, češće je poznat. Srednja vrijednost faktora smjera za sve pravce iznosi približno $1/\sqrt{\gamma}$. Postavljajući mikrofon u zonu u kojoj je zračenje zvučnika što slabije, gotovo je sigurno da se neće pogriješiti za toliko da faktor smjera bude jači od prosječnog. Zato se sa sigurnošću može koristiti vrijednost $1/\sqrt{\gamma}$ umjesto Γ_z .



Slika 4.3. Postavljanje mikrofona. a - opšti slučaj, b - prema zvučniku ugrađenom u ploču (za dvosmjerni mikrofon)

Dalje smanjenje r_m može se postići korištenjem usmjerenih mikrofona, jer se tako prividno još više smanjuje zvučni pritisak kojim zvučnik djeluje na mikrofon. Ako se, npr., kod zvučnika montiranog u ploči, mikrofon postavi u pravcu pod 90° , pa se još uzme tzv. dvosmjerni mikrofon i orientiše tako da mu osa bude paralelna osi zvučnika (vidi sliku 4.3b), onda na desnoj strani poslijednjeg obrasca treba dva puta uzimati 0,1; jednom zbog usmjerenosti zvučnika, a drugi put zbog usmjerenosti mikrofona. Udaljenost mikrofona može tako biti 100 puta manja nego u pravcu ose.

Usmjerenost zvučnika i mikrofona veća je na višim frekvencijama i zato je manja opasnost od povratne sprege ukoliko je manje istaknut niži dio frekventnog opsega koji se prenosi. Pogodna je okolnost što se baš kod prenosa govora najčešće javlja potreba za dopunskim pojačanjem zvuka. Kako je poznato kod prenosa govora mogu se bez velike štete po razumljivost znatno oslabiti niske frekvencije. (To se najčešće javlja samo po sebi zbog korištenja zvučnika koji slabo reprodukuju niske frekvencije). Time se ujedno smanjuje opasnost od akustičke povratne sprege.

Primjer:

- Zvučni stub dužine 1,5m proizvodi na udaljenosti 50m zvučni pritisak 0,2Pa (80dB). Na kome se rastojanju ispod zvučnog stuba može postaviti jednosmjerni mikrofon (sa bubrežastom karakteristikom usmjerenosti) ako su oslabljene frekvencije ispod 500 Hz?

Faktor smjera zvučnog stuba za $\theta=90^\circ$ i za najnižu frekvenciju od 500 Hz, za koju je $\lambda=0,7$ m, iznosi 0,15. Faktor smjera jednosmjernog mikrofona je 0,5. Udaljenost mikrofona od govornika neka je 0,2 m, tj. $p_g=0,5$ Pa (pri normalnom govoru).

Iz ovih podataka nalazi se rastojanje mikrofona:

$$r_m > 2r \frac{p}{p_g} \Gamma_z \Gamma_m (\theta_m) = 2 \cdot 50 \frac{0,2}{0,5} \cdot 0,15 \cdot 0,5 = 3m$$

Da je još uzet u obzir faktor smjera posebno za same zvučnike od kojih je formirana grupa, bilo bi r_m manje od 3 m. Kad bi se npr. upotrebio tzv. dvosmjerni zvučni stub čiji je faktor smjera pojedinih zvučnika oko 0,1, udaljenost mikrofona ispod stuba mogla bi čak biti svega 0,3 m.

Ovako blizu se mikrofon ipak ne bi mogao postaviti jer u realnim uslovima uvijek postoje i reflektovani zvučni talasi, pa se može desiti da oni dovedu do akustičke povratne sprege. Zato proračuni, kao što je ovaj naveden u gornjem primjeru, treba da daju samo orijentacioni podatak o mjestu na kojem se može postaviti mikrofon, odnosno, što je još važnije, o veličini pritiska P koji se za odabrani položaj mikrofona može ostvariti. Velika tačnost se ne može očekivati zbog nepoznavanja preciznih podataka o svim uslovima od kojih akustička povratna sprega zavisi (karakteristika usmjerenosti, uticaj ugrađivanja, frekventna karakteristika, refleksija zvuka i slično).

4.2.3. Centralno ozvučavanje

Način postavljanja zvučnika može biti takav da se radi ili o centralnom ili o sektorskom ozvučavanju. U prvom slučaju svi zvučnici su postavljeni na jednom mjestu, obično u blizini izvora zvuka koji treba pojačati (govornik, orkestar). U drugom slučaju cijela površina koju treba ozvučiti podeljena je na sektore, a svaki sektor ima svoj poseban zvučnik.

Kad god se radi o pojačanju zvuka prisutnog govornika ili izvođača treba nastojati da se primjeni centralno ozvučavanje. Ono ima dvije važne prednosti:

1. Pravac gledanja približno se poklapa sa pravcem dolaska zvuka.
2. Linije koje vode od mikrofona preko pojačavača do zvučnika su kraće i jednostavnije za izvođenje.

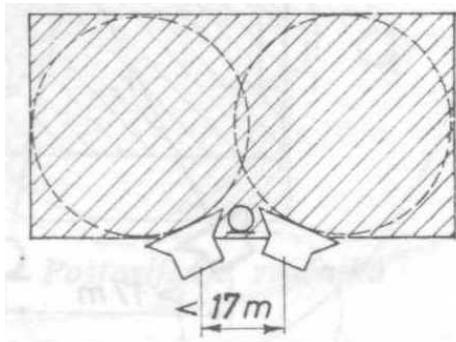
Nije, međutim, uvijek moguće primjeniti centralno ozvučavanje. U praksi se često može javiti jedna od slijedećih smetnji:

- Ne postoji pogodno mjesto za postavljanje zvučnika, odnosno jedini mogući položaj je tako blizu da se javlja povratna sprega.
- Oblik površine koju treba ozvučiti je takav da je neizvodivo ozvučavanje sa jednog mjeseta.
- Površina je suviše velika da bi se mogla sa dovoljnim nivoom zvuka ozvučiti sa jednog mjeseta.

Pri postavljanju zvučnika u blizini mikrofona treba ispuniti dva opriječna uslova. Sa jedne strane, zvučnik treba da je što bliže da bi se pravac direktnog prirodnog zvuka i onog iz zvučnika što bolje poklapao. Sa druge strane, velika blizina je praktično nemoguća zbog povratne sprege. Oba uslova mogu se jedino »pomiriti« ako se upotrebe usmjereni zvučnici, kao što su zvučnici sa lijevkom, ili, još bolje, grupe zvučni ka, tj. zvučni stubovi sa jačim usmjerenim dejstvom.

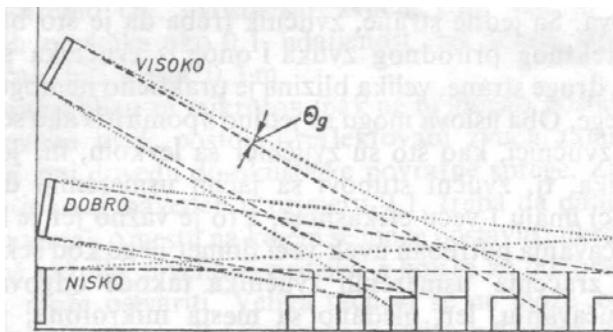
Takvi zvučnici imaju i veću efikasnost, a to je vazno jer je kod centralnog ozvučavanja potreban uvijek veći domet nego kod sektorskog. Manji ugao zračenja usmjerenih zvučnika također odgovara centralnom ozvučavanju, jer, gledano sa mjesta mikrofona, površina koju treba ozvučiti obično zauzima samo manji dio ukupnog prostora. Prirodniji je efekt kada se zvučnici postave iznad ili ispod mikrofona, jer je slušalac mnogo manje osjetljiv na promjenu pravca zvučnih talasa u smjeru gore-dole nego lijevo-desno. Pravac zvuka tako postavljenih zvučnika na svim mjestima u gledalištu praktično se poklapa sa pravcem prirodnog zvuka.

Za postavljanje iznad ili ispod mikrofona najpodesniji su zvučni stubovi zbog jake usmjerenosti u vertikalnoj ravni. Njihova manja usmjerenost u horizontalnoj ravni također je povoljna jer se obično radi o ozvučavanju širih površina. Čak je često horizontalni ugao zračenja jednog zvučnog stuba nedovoljan i onda se upotrebljavaju dva ili tri zvučna stuba postavljena na izvjesnom razmaku i raširena »u lepezu« (slika 4.4).



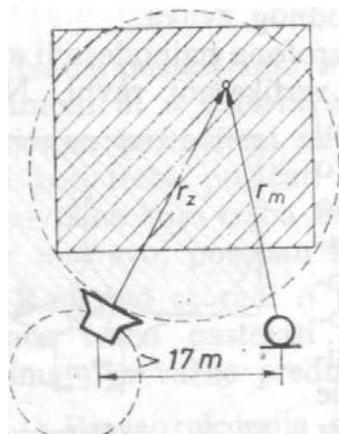
Slika 4.4. Ozvučavanje sa dvije zvučničke grupe

Nije uvijek lako postaviti zvučne stubove blizu mikrofona, ne samo zbog povratne sprege; oni se ne smiju mnogo pomjerati u smjeru nagore ili nadole. Visoko postavljen stub nagnut je pod velikim uglom prema slušaocima i zato pokriva manji dio površine koja se ozvučava, naročito na višim frekvencijama. Nisko postavljeni zvučni stub zaklonjen je prvim redovima slušalaca za sve ostale (vidi sliku 4.5 na kojoj je ujedno pokazano kako se praktično nalazi širina snopa zračenja zvučnog stuba: granični ugao zračenja θ_g nanosi se na konstantnu širinu snopa, određenu dužinom zvučnog stuba).

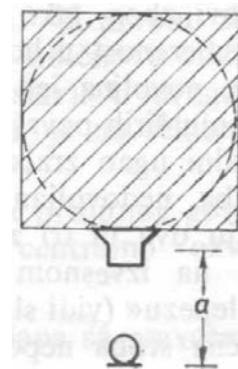


Slika 4.5. Postavljanje zvučnog stuba

Ako se zvučnici ne mogu postaviti iznad ili ispod mikrofona (podijuma), ostaje da budu smešteni sa strane ili ispred mikrofona (slike 4.6 i 4.7)



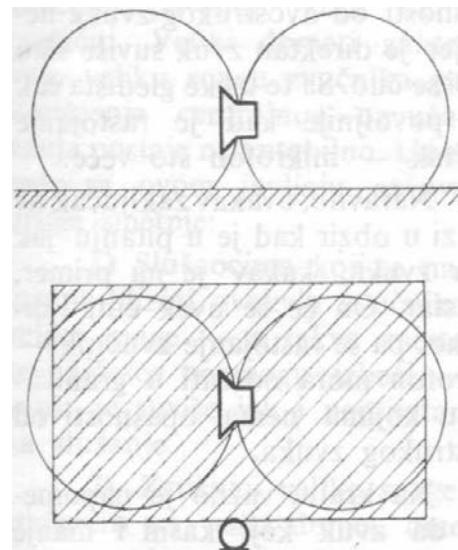
Slika 4.6. Zvučnik postavljen sa strane (dat je presek karakteristike usmjerenost u ravni slušalaca)



Slika 4.7- Zvučnik postavljen ispred mikrofona

Glavni nedostatak pri postavljanju zvučnika sa strane je nepoklapanje vidne i zvučne ose. Za neke vrste ozvučavanja ovo može biti velika smetnja. Takav nedostatak se donekle otklanja postavljanjem zvučnika sa obje strane mikrofona. Tada se bar u centralnom djelu površine koja se ozvučava, tj. u zoni koja je približno jednako udaljena od oba zvučnika, dobija utisak da zvuk dolazi iz pravca mikrofona (pod uslovom da zvučnici rade u fazi). Ali već malo iznad centralne zone izgleda kao da sav zvuk dolazi iz bližeg zvučnika. To je tzv. **Haasov efekt**, prema kojem je zvuk koji najprije dođe do uha presudan za osjećaj pravca zvučnih talasa.

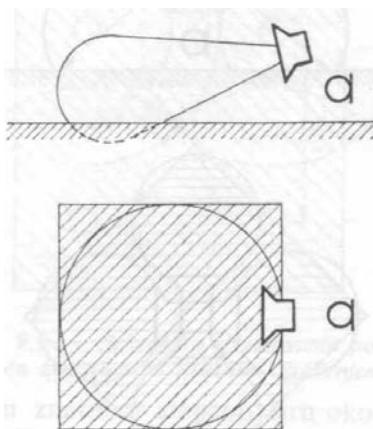
Nedostatak postavljanja zvučnika sa strane može da bude i veća opasnost od povratne sprege. Naročito je nepovoljno kad se upotrebe zvučni stubovi sa zvučnicima ugrađenim u zatvorenoj kutiji koji u horizontalnoj ravni zrače kao neusmjereni tačkasti izvori. U stvari moraju se upotrebiti ili stubovi sa dvosmjernim zračenjem (otvoreni sa zadnje strane), tako da se mikrofon može postaviti u mrtvoj zoni - ili se zvučni stubovi moraju više udaljiti.



Slika 4.8. Postavljanje zvučnika

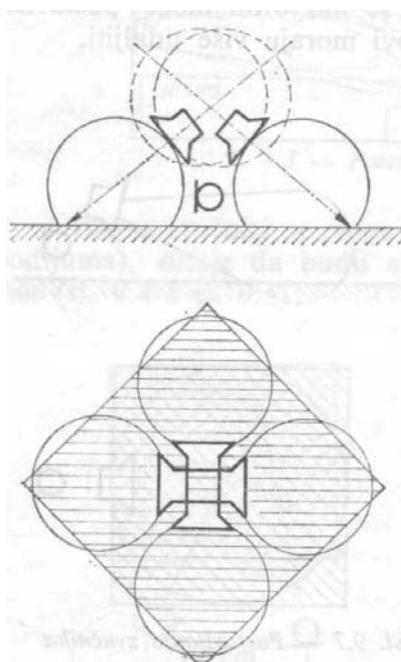
Udaljenost zvučnika i mikrofona ne smije, međutim, biti suviše velika zbog opasnosti od dvostrukog zvuka. Uho, naime, odvojeno prima prima utiske koji dolaze sa vremenskim razmakom od 1/20s. To odgovara dužini puta zvučnih talasa od 17m. Da bi se sa sigurnošću otklonila opasnost od dvostrukog zvuka, razmak mikrofona i zvučnika ne

treba da je veći od 17m. Tada nema nijednog mesta gdje može da se javi dvostruki zvuk, pa ni govornik neće čuti neprijatan odjek svog glasa. Inače razmak zvučnika i mikrofona može u stvari biti i veći od 17m, pa da ipak na površini koja se ozvučava nema tačaka gdje je razlika u putevima dva zvuka ($r_z - r_m$) veća od 17 m (vidi sliku 4.6).



Slika 4.9. Postavljanje zvučnika

Kada se zvučnik postavi ispred govornika, nema također opasnosti od dvostrukog zvuka dokle god rastojanje mikrofon - zvučnik ostaje manje od 17 m. Površina koja se ozvučava obično je ispred zvučnika (vidi sliku 4.7) i zato je, u cijelini posmatrano, poklapanje vidne i zvučne ose bolje nego kad je zvučnik sa strane. Ali, zbog Haasovog efekta, svi slušaoci, na svim mjestima, imaju utisak da zvuk dolazi samo iz zvučnika. Utoliko prije nema smisla ni nastojati da se čuje i direktni glas govornika, nego treba snagu zvučnika slobodno pojačati. U tom slučaju rastojanje zvučnik - mikrofon (a na slici 4.7) može biti i veće od 17m; opasnosti od dvostrukog zvuka nema jer je direktni zvuk suviše slab da bi se čuo. Sa te tačke gledišta čak je i povoljnije kad je rastojanje zvučnik - mikrofon što veće.



Slika 4.10. Postavljanje zvučnika

Naravno, ovakav zaključak ne dolazi u obzir kad je u pitanju jak izvor zvuka, kakav je npr., orkestar. On će se uvijek čuti i direktno, pa se rastojanje zvučnik mikrofon mora održati u granicama u kojima nema opasnosti od dvostrukog zvuka.

Na kraju, važno je napomenuti da zvuk koji kasni i manje od $(1/20)s = 50ms$ može u nekim prilikama biti štetan, ako je dovoljno jak (mada u ovom slučaju ne dolazi do pojave dvostrukog zvuka). Mnoga ispitivanja i praktična iskustva, ukazuju da je tek oko 30ms (dužina puta okruglo 11m) granica ispod koje sigurno nema pojave štetnog zvuka.

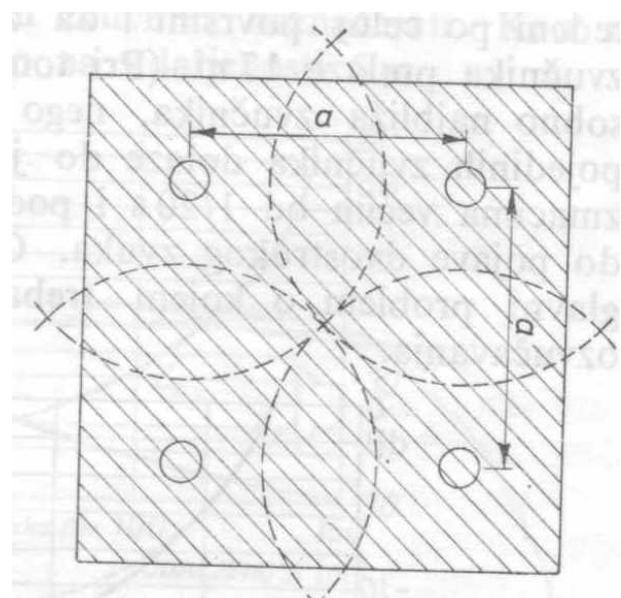
Treba još ukazati na činjenicu da je prenos govora osjetljiviji na pojavu kasnog štetnog zvuka nego prenos muzike; kod muzike i kašnjenja od 100ms nekad ne djeluju kao štetan zvuk.

Izbor karakteristike usmjerenosti zvučnika vrši se ne samo prema položaju mikrofona - kako bi se umanjila opasnost od povratne sprege - nego i prema obliku površine koju treba ozvučiti, a nekad i prema nekim drugim specifičnim uslovima.

Primjeri upotrebe jednosmjernih i dvosmjernih zvučnika (najčešće zvučnih stubova) dati su na sl. 4.8, 4.9 i 4.10. Posebna objašnjenja ovde nisu potrebna.

4.2.4. Sektorsko ozvučavanje

Do sada su iznesene okolnosti pod kojima nije moguće primjeniti centralno ozvučavanje. Tada, kao jedina alternativa, ostaje da se primjeni sektorsko ozvučavanje.



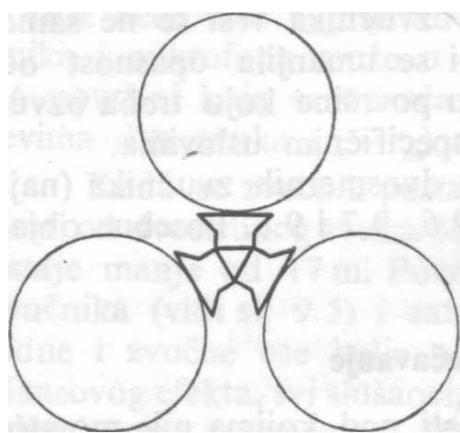
Slika 4.11. Sektorsko ozvučavanje pomoću zvučnika sa kružnim zračenjem

Naročito čest razlog za izbor sektorskog ozvučavanja je veličina površine koju treba ozvučiti. Veliki dometi zahtjevaju veliku snagu zvučnika, pa korištenje centralnog ozvučavanja postaje nerentabilno. Uporedno sa ovom javljaju se dvije druge smetnje:

- 1) Slušaocima koji se nalaze u blizini ovakvih zvučnika velike snage - a takva mesta se najčešće ne mogu izbjegći, zvuk je suviše jak i neprijatan za slušanje.
- 2) Zvučnici velike snage, sračunati na veliki domet, ometaju u znatnom stepenu širu okolinu površine koju treba ozvučiti. Treba se podsjetiti da svako udvostručavanje duljine teorijski donosi pad nivoa zvuka za svega 6 dB.

Obično se centralno ozvučavanje nikad ne primjenjuje ako dimenzijske površine koju treba ozvučiti prelaze 100m.

Pogriješno bi bilo misliti da sektorsko ozvučavanje treba izbjegavati u svakoj prilici. Ono čak ima i nekih prednosti. Može se npr., mnogo jednostavnije ostvariti ravnomjeren nivo zvuka na cijeloj površini.

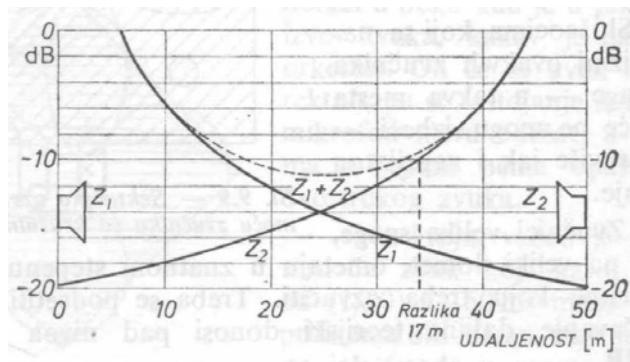


Slika 4.12. Skupina zvučnika sa kružnim zračenjem

Opasnost od nepoželjnih refleksija zvuka također je mnogo manja. S obzirom na ove prednosti, može se u mnogim slučajevima sektorsko ozvučavanje nametnuti kao povoljnije rješenje. To naročito dolazi do izražaja kod tzv. razglosa, tj. onda kad je spiker anoniman (kad daje obaveštenja iz kabine) ili kad se reprodukuje snimljena muzika. U takvim prilikama centralno ozvučavanje gubi svoje glavne prednosti jer nema važnosti iz kojeg pravca dolazi zvuk.

Kod sektorskog ozvučavanja pravilo je da su zvučnici raspoređeni po cijeloj površini i da zato rastojanja između pojedinih zvučnika prelaze 17m. (Pri tome se ne misli samo na dva međusobno najbliža zvučnika, nego uopšte). U tom slučaju signali pojedinih zvučnika dolaze do jedne iste tačke u vremenskim razmacima većim od 1/20s i pod određenim uslovima može doći do pojave dvostrukog zvuka. Opasnost od dvostrukog zvuka je glavni problem o kojem treba voditi računa kod sektorskog ozvučavanja.

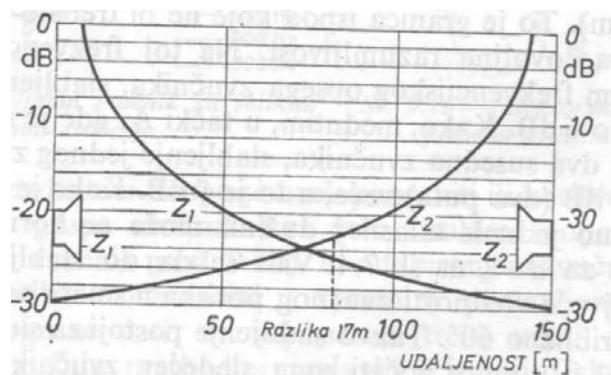
Za sektorsko ozvučavanje najčešće se primjenjuju zvučnici sa kružnim zračenjem. To mogu biti pojedinačni zvučnici, postavljeni na izvjesnoj visini iznad površine i okrenuti osom nadole. Zračenje ovih zvučnika jednak je u svim tačkama jednako udaljenim od ose, drugim riječima, karakteristika usmjerenosti u horizontalnoj ravni im je kružnica (slika 4.11).



Slika 4.13. Odnosi nivoa zvuka pri najvećoj dozvoljenoj udaljenosti zvučnika (50m)

Kružno zračenje može se postići i na drugi način - npr., rasporedom zvučnika (ili čak zvučnih stubova) u zvezdu, tako da zrači ravnomjerno na sve strane. Principijelno ništa se ne mijenja (vidi sliku 4.12).

Da ne bi došlo do izraženih smetnji koje izazivaju dvostruki zvuk, postoji i jedan dopunski uslov, a to je da ukoliko zvuk stiže sa zakašnjnjem većim od 1/20s treba da bude bar za 6dB slabiji od prvog zvuka. Od interesa je naći najveće rastojanje između zvučnika pri kojem će, na onom mjestu gdje razlika u dužini puta prelazi 17m, razlika u nivou prelaziti 6dB. Mali račun pokazuje da ova kritična udaljenost iznosi 50m. Opadanje nivoa zvuka jednog i drugog zvučnika prikazano je na slici 4.13. Nije uzet u obzir uticaj visine postavljanja zvučnika koji dolazi do izražaja samo u neposrednoj blizini jednog od zvučnika, dakle na mjestu gdje je uticaj susjednih zvučnika beznačajan. Kao referentni nivo (0dB) uzet je nivo na udaljenosti 5 m.



Slika 4.14. Odnosi nivoa zvuka pri velikoj udaljenosti zvučnika

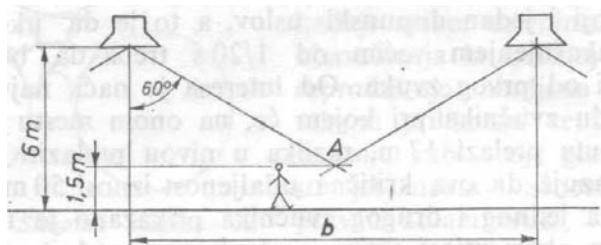
Rastojanje ne smije biti veće od 50 m jer onda nema načina da se spriječi štetno dejstvo dvostrukog zvuka (vidi sliku 4.14). Ali, ako to drugi uslovi dopuštaju (npr.: ekonomičnost), bolje je ići na manja rastojanja. Rastojanja do 30 m kod zvučnika sa kružnim zračenjem obezbjeđuju visok kvalitet ozvučavanja.

Razlog za smanjenje rastojanja zvučnika može često biti i nastojanje da se smanje razlike u nivou zvuka na pojedinim mjestima ili da se postigne bolja rasподjela viših frekvencijskih signala. Za teorijski slučaj na slici 4.13 isprekidana kriva daje promjenu nivoa u području između dva zvučnika. Vidi se da se javljaju razlike koje prelaze

10dB, naročito na mjestima u neposrednoj blizini zvučnika.

Za raspodjelu viših frekvencija neka posluži slijedeći primjer:

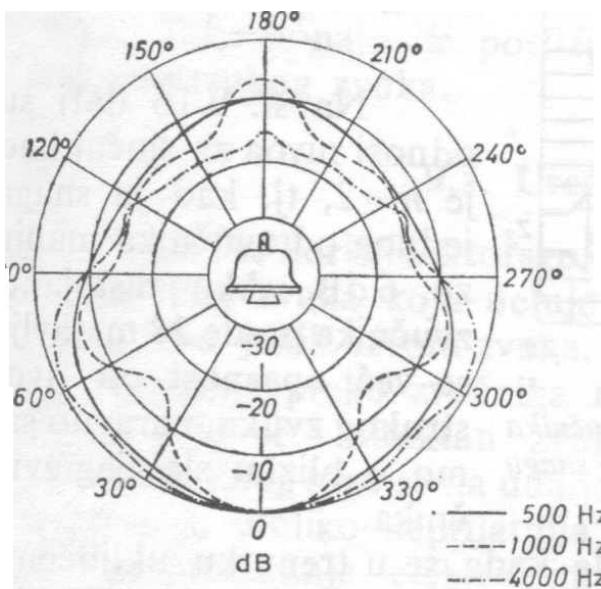
- Za sektorsko ozvučavanje koriste se zvučnici priječnika 10 cm, okrenuti nadole i postavljeni na visini 6 m. Koliko može da iznosi rastojanje zvučnika pod uslovom da u području govornih frekvencija ne dođe do osetnog slabljenja viših frekvencija?



A

Slika 4.15. Sektorsko ozvučavanje pomoću nadole okrenutih zvučnika

Rješenje ovog zadatka biće izvedeno uz pomoć slike 4.15. Za gornju frekvenciju govornog opsega mora se usvojiti najmanje 3500 Hz ($\lambda \approx 10$ cm). To je granica ispod koje ne bi trebalo ići ako se želi da se sačuva dovoljna razumljivost. Na toj frekvenciji, u skladu sa definicijom frekventnog opsega zvučnika, slabljenje ne smije da bude veće do 6 dB. Kako, međutim, u tački A, gdje je slabljenje najveće, djeluju dva susjedna zvučnika, slabljenje jednog zvučnika može biti još za 3 dB (dva puta) veće, a to je 9 dB. Kako je priječnik zvučnika približno jednak talasnoj dužini, može se koristiti dijagram usmjerenosti za $d=\lambda$. Vidi se da do slabljenja od 9dB (0,35 od najveće vrijednosti zvučnog pritiska u smjeru ose) dolazi pod uglom od približno 60°. Takvo slabljenje postoji za slušaoca u tački A na slici 4.15 i tu mora početi zona slijedećeg zvučnika, inače bi se slabljenje visokih frekvencija dalje povećavalo.

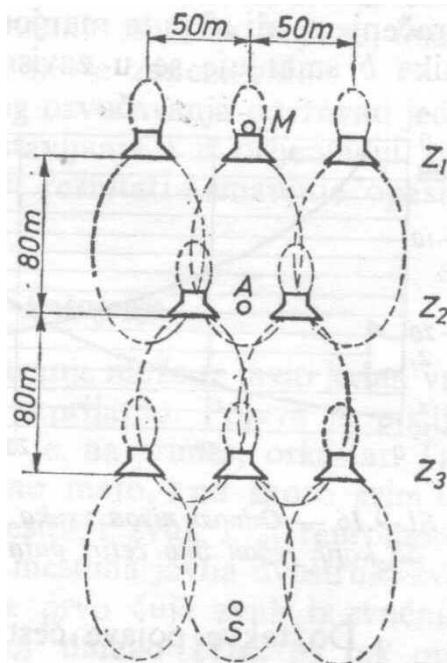


Slika 4.16. Specijalan zvučnik sa velikim uglom zračenja

Ako se prepostavi da je visina uha slušaoca oko 1,5 m, dobija se iz geometrijskih odnosa na slici 4.15:

$$\tan 60^\circ = 1,73 = \frac{b/2}{6 - 1,5} \Rightarrow b \approx 15 \text{ m}$$

Ovaj primjer pokazuje da se čak i ovako mali zvučnici ($d=10$ cm) moraju relativno gusto rasporediti kad treba zadovoljiti makar i minimalne uslove za dobru razumljivost. Da se radilo o prenosu muzike, tj. da je gornja granica postavljena bar na 5000 Hz, razmak zvučnika iz prethodnog primjera bi trebalo da bude oko 7m. Još manje vrijednosti bi se dobile da su zvučnici većih dimenzija, drugim riječima, bio bi potreban za ozvučavanje iste površine još veći broj zvučnika.



Slika 4.17 Sektorsko ozvučavanje pomoću zvučnih stubova

Ovakvi nedostaci mogu se uvijek popraviti ili korištenjem zvučnika (odnosno grupe zvučnika) sa vrlo širokim snopom zračenja (vidi specijalni zvučnik na slici 4.16), ili odabiranjem zvučnika pogodnih karakteristika usmjerenosti i spremnim postavljanjem. Opšta pravila ne mogu se dati; u ovaj posao treba unijeti pored sveg znanja koje pružaju prethodna poglavila i izvjesno iskustvo.

Samo pri radu sa usmjerenim zvučnicima treba biti oprezan. Radi se o slijedećem: sve što je napred riječeno o udaljenosti zvučnika, riječeno je pod pretpostavkom da se radi o zvučnicima sa kružnim zračenjem. Dručiji su odnosi ako su u pitanju zvučnici sa usmjerenim zračenjem - npr. zvučnici sa lijevkom ili zvučni stubovi - koji su usmjereni približno horizontalno (slika 4.17). Tada se može desiti da zvuk iz bližeg zvučnika, dakle onaj koji najprije dolazi do slušaoca, bude čak slabiji od zvuka iz udaljenog zvučnika koji dolazi kasnije (slušalac A na slici 4.17). Ako je uz to razlika u putu veća od 17 m, štetno dejstvo dvostrukog zvuka je neizbjegljivo.

Upotreba zvučnih stubova dozvoljava čak i veća rastojanja zvučnika od 50m. Na slici 4.17 vidi se jedan takav slučaj. Novi red zvučnih stubova postavljen je tek na mjestu gdje jače oslabi zvuk prethodnog reda. Tako je izbjegnut dvostruki zvuk svuda osim u jednoj vrlo uskoj zoni u blizini zvučnih stubova koja se, imajući u vidu veličinu ozvučene površine, može zanemariti.

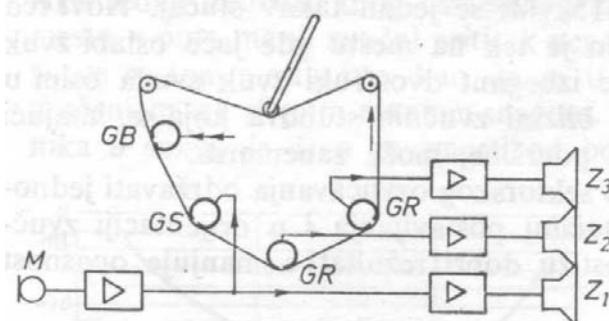
Opšte je pravilo kod sektorskog ozvučavanja održavati jednoobraznost i simetriju u načinu postavljanja i u orientaciji zvučnika. Tako se najbolje postižu dobri rezultati i smanjuje opasnost od dvostrukog zvuka.

4.2.5. Uređaji za kašnjenje

Kad se koristi sektorsko ozvučavanje može se javiti jedna vrsta dvostrukog zvuka koja djeluje vrlo neprijatno. Pojava je uočljiva samo kod jakih izvora zvuka, kakav je, npr., orkestar. Tada je pojačanje preko zvučnika relativno malo, i na skoro svim mjestima čuje se i direktni zvuk orkestra i zvuk koji reprodukuju zvučnici. Zbog toga se na udaljenijim mjestima javlja dvostruki zvuk. Pojava je utoliko neprijatnija što se prvo čuje zvuk iz zvučnika, jer je prostiranje električnim putem daleko brže, pa tek onda direktni zvuk orkestra, kao neki odjek. Vidna i zvučna osa nisu zato više u skladu, tj. zvučni utisak za slušaoca je kao da se orkestar premjestio na mjesto zvučnika (Haasov efekt).

Slika 4.17 može da posluži kao primjer sektorskog ozvučavanja pri kojem slušač u tački S čuje zvuk izvora u tački M više od pola sekunde poslije zvuka najbližih zvučnika (pod uslovom da je zvuk izvora dovoljno jak). Ova pojava se može otkloniti pomoću uređaja za kašnjenje zvuka. Treba postići da električni signal stiže do pojedinih zvučnika istovremeno sa direktnim zvukom, odnosno, što je još bolje, sa zakašnjenjem od 5...15ms, i štetnog »odjeka« neće biti. U tu svrhu zvučnici se dijele u grupe prema zonama do kojih direktni zvuk stiže približno u istom trenutku (Z_1 , Z_2 i Z_3 na slici 4.17), pa se za svaku grupu zvučnika predviđi odgovarajuće zakašnjenje signala.

Kašnjenje zvuka ostvaruje se danas najčešće pomoću elektronskih uređaja za kašnjenje pri čemu se analogni signal (normalan audio-signal) pretvara u digitalni signal. Ranije, u vreme kad nije bilo lako ostvariti složena elektronska kola, obično je primjenjivan ili sistem sa oprugama koje su pobudivane na vibriranje pomoću piezoelektričnih pretvarača, ili magnetofon sa više glava za reprodukciju. Na slici 4.18 prikazan je takav sistem.



Slika 4.18. Uređaji za kašnjenje zvuka sa beskrajnom magnetnom trakom

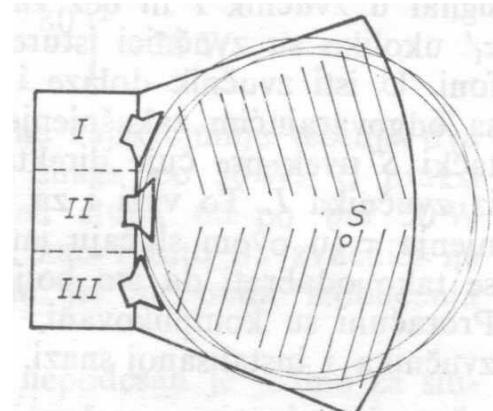
Signal koji prima mikrofon M vodi se bez kašnjenja do grupe zvučnika Z_1 i istovremeno se upisuje na traku preko glave za snimanje (GS). Preko glava za reprodukciju (GR) isti signal se vodi do zvučnika Z_2 i Z_3 sa potrebnim zakašnjnjem.

Mada ovakav sistem treba smatrati prevaziđenim, ništa se u principu ne mijenja kad se upotrebe drugi sistemi za kašnjenje.

Nedostatak primjene uređaja za kašnjenje zvuka je u tome što za slušače koji su udaljeni od izvora zvučni utisak zaostaje za vidnim. To je isto ono što se događa pri neposrednom slušanju sa daljine; govornik otvara usta prije nego što mu se čuje glas. Ova pojava ne može se izbjeći ni pomoću centralno postavljenih zvučnika pa zato i nije nedostatak sistema ozvučavanja u pravom smislu.

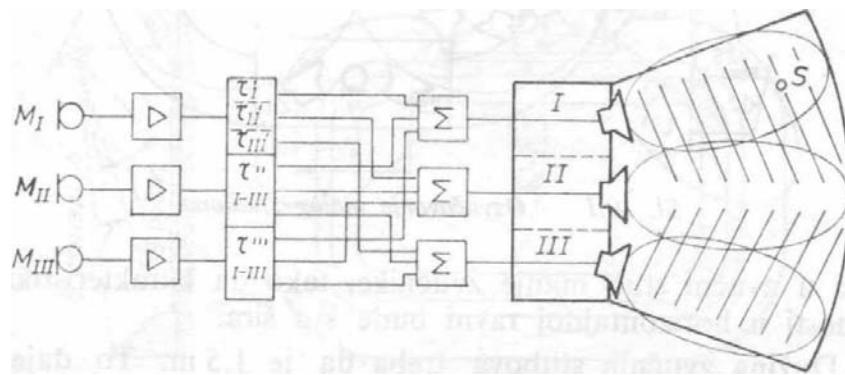
4.2.6. Stereofonsko centralno ozvučavanje

Kad se želi da se vidna i zvučna osa poklapaju, nije uvijek dovoljno postaviti zvučnik (ili grupu zvučnika) u blizini izvora zvuka (obično iznad njega). Ako se radi o velikoj pozornici sa većim brojem izvođača, a često i većim brojem orkestara, desiće se ipak da zvuk ne dolazi iz onog pravca iz kojeg slušač vidi izvođača. Kad bi, npr., kao na slici 4.19, na pozornici bila tri orkestra, a samo jedna grupa zvučnika, i to ona centralna, označena sa II, slušač u tački S bi čuo orkestre I i III samo iz pravca II jer bi zvuk iz zvučnika II došao do njega ranije od direktnog zvuka orkestra I i III.



Slika 4.19. Princip stereofonskog ozvučavanja velike pozornice

Ovaj nedostatak može se izbjeći tako da se upotrebe tri kompletne sisteme ozvučenja (I, II i III) kao što pokazuje slika 4.19. Svaki orkestar ima svoje mikrofone i njihovi signali se vode samo na odgovarajuće zvučnike I, II i III. Na taj način svi slušaoci u cijelom gledalištu čuju, npr., zvuk orkestra III samo iz zvučnika III, a to obezbjeđuje dobro poklapanje zvučne i vidne ose. Nedostatak je samo u tome što svaki zvučnik (u praksi verovatno grupa zvučnika), i I i II i III, moraju pokrivati cijelo gledalište zvukom koji zadovoljava po nivou i kvalitetu, kao da je svaki od njih jedino sredstvo ozvučavanja. A to nije mali zahtjev ako su i gledalište i pozornica vrlo veliki, pa zbog toga treba mnogo odvojenih sistema ozvučenja.



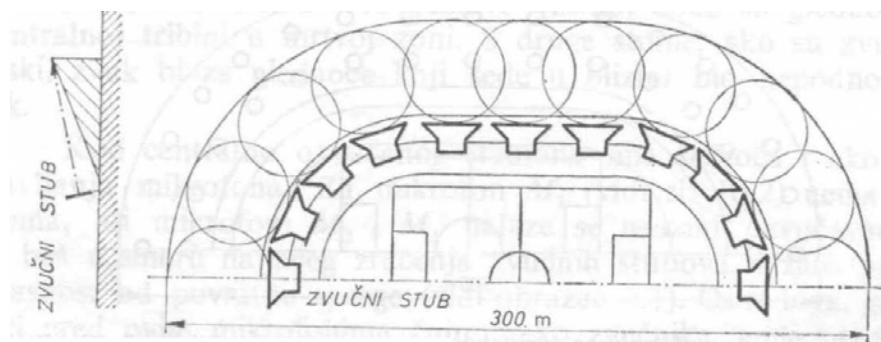
Slika 4.20. Princip stereofonskog ozvučavanja velike pozornice sa sistemima za kašnjenje. Mikrofoni M_I , M_{II} i M_{III} nalaze se na pozornici, ispod odgovorajućih zvučnika

Sa uređajima za kašnjenje lakše se riješava ovaj problem. Tu zvučnici I, II i III pokrivaju svaki svoj dio gledališta (vidi sliku 4.20), a signal svakog mikrofona vodi se u svaki zvučnik, samo mu se daje određeno zakašnjenje. Npr., iz mikrofona M_I vodi se signal u zvučnik I ili bez zakašnjenja ili sa nekim zakašnjnjem τ_i ukoliko su zvučnici istureni, tj. bliži slušaocima nego mikrofoni. U isti zvučnik dolaze i signali iz mikrofona M_{II} i M_{III} ali sa odgovarajućim zakašnjnjem τ'_i i τ''_i tako da slušalac u tački S uvijek prije čuje direktni zvuk orkestra nego njegov zvuk iz zvučnika I. To važi i za ostale zvučnike i mikrofone. Zakašnjnjena τ_i (u ovom slučaju ima devet posebno podešenih) moraju se tako odabrati da što bolje odgovaraju svim mjestima u sali. Proračuni su komplikovani, ali se štedi na broju upotrebljenih zvučnika i instalisanoj snazi.

PRIMJERI OZVUČAVANJA OTVORENOG PROSTORA

5

poglavlje

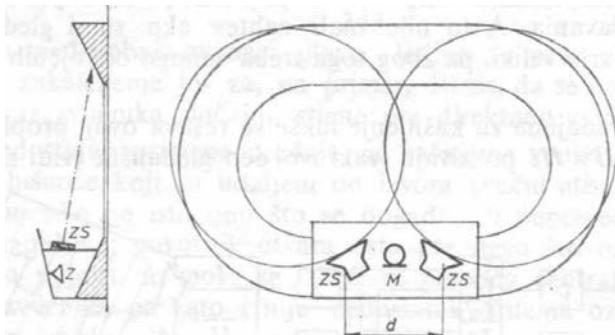


Ozvučavanje velikog sportskog stadiona pomoću zvučnih stubova

5. PRIMJERI OZVUČAVANJA OTVORENOG PROSTORA

5.1. MANJI SPORTSKI STADION

Manji sportski stadion (za košarku, odbojku ili hokej) može se ozvučiti centralno pomoću dva zvučna stuba (ZS na slici 5.1). Zvučni stubovi se postavljaju na razmaku (d) oko 20m i na visini oko 6m. Oni se usmjeravaju tako da pokriju cijeli teren i najveći dio tribina (vidi sliku 5.1). To se lakše postiže ugrađujući u zvučni stub manje zvučnike, tako da karakteristika usmjerenosti u horizontalnoj ravni bude što šira.



Slika 5.1. Ozvučavanje malog stadiona

Dužina zvučnih stubova treba da je 1,5 m. To daje (na 1000Hz) faktor usmjerenosti zvučnog stuba $\gamma_{gr}=9$. Ako je efikasnost zvučnika ugrađenih u zvučni stub 1 Pa/√W (što je minimum) i ako je potreban nivo zvuka iznad 80 dB (0,2 Pa), a domet do 80 m, izlazi:

$$P \approx 28W$$

Dovoljna su znači, ako se ide na najskromnije rješenje, dva zvučna stuba dužine 1,5m i nazivne snage po 30W. U praksi bi ipak bilo bolje odabratи dva zvučna stuba od po bar 50W radi izvjesne dinamike glasa i muzike, kao i zato da zvučnici ne rade baš pod najvećim opterećenjem jer su onda izobličenja dosta velika.

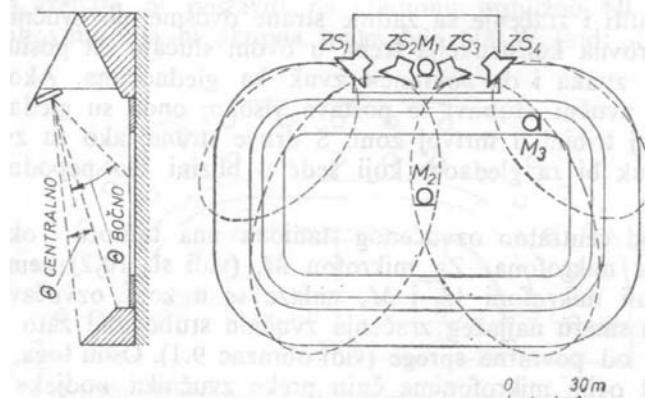
Način ozvučavanja na slici 5.1 nepodesan je jedino za slušaoce na centralnoj tribini, jer se oni nalaze u mrtvoj zoni zvučnih stubova. Zato za njih treba predvidjeti posebne zvučnike, npr. sa kružnim zračenjem (Z na slici 5.1), koji se pogodno mogu postaviti ispod krovne konstrukcije tribine. Kolika će biti njihova snaga zavisi pored ostalog od dimenzija tribine i broja zvučnika, a broj i raspored zvučnika zavisi od kvalitetata ozvučavanja koji treba postići.

5.2. VEĆI SPORTSKI STADION

I stadioni za oko 30.000 gledalaca mogu se centralno ozvučiti, samo se ovde ne može »izaći na kraj« sa dva zvučna stuba, nego treba upotrebiti četiri, kako je prikazano na slici 5.2.

Dva centralna zvučna stuba ZS₁ i ZS₃ treba da imaju veći domet (oko 105m) nego dva bočna, na toj daljini se površina koju oni ozvučavaju vidi pod manjim uglom. I jedno i drugo govori u prilog uzimanja dužih zvučnih

stubova, npr. od 3 m. Faktor usmjerenosti ovih stubova iznosi $Y_{gr} = 18$ (na 1000 Hz).



Slika 5.2. Ozvučavanje većeg stadiona

Potrebna snaga je, ako se opet uzme najnepovoljniji slučaj $T_{p,P} = 1 \text{ Pa}/\sqrt{\text{W}}$. Ovdje je umjesto 0,2 Pa, kao za mali sportski stadion, uzeto 0,4Pa (86 dB), shodno uputstvu u 4. poglavlju.

Snaga od 100W po jednom zvučnom stubu biće sasvim dovoljna jer se sigurno kod većih objekata, kakav je sportski stadion, može računati sa korištenjem boljih zvučnika čija je efikasnost ako ne 2, ono bar 1,5 Pa/√W.

Za bočne zvučne stubove ZS₁ i ZS₄ niti će biti potrebna snaga 100 W, niti dužina 3 m. Tolika dužina bi čak bila nepovoljna zbog suviše jakog usmjeravanja visokih frekvencija. Zvučni stubovi dužine 1,5 m sa 50 W snage imaju domet preko 50 m, što je dovoljno.

Za ozvučavanje centralne tribine treba i u ovom slučaju postaviti ispod krova zvučnike sa kružnim zračenjem. Ali može se iskoristiti i zračenje sa zadnje strane dvostravnih zvučnih stubova. Krovna konstrukcija treba u ovom slučaju da posluži kao reflektor zvuka i da »okrene« zvuk ka gledaocima. Ako nema krova, a zvučni stubovi se postave visoko, onda su gledaoci na centralnoj tribini u mrtvoj zoni. S druge strane, ako su zvučnici niski, zvuk bi za gledaoce koji sjede u blizini bio nepodnošljivo jak.

Kod centralno ozvučenog stajiona ima teškoća i oko postavljanja mikrofona. Za mikrofon M₁ (vidi sliku 5.2) nema problema, ali mikrofoni M₂ i M₃ nalaze se u zoni ozvučavanja, i to baš u smjeru najjačeg zračenja zvučnih stubova, i zato postoji opasnost od povratne sprege. Osim toga, govornici pred ovim mikrofonima čuju preko zvučnika »odjek« svoga glasa, i to ih u priličnoj meri ometa.

5.3. VELIKI SPORTSKI STADION

Centralno ozvučavanje velikih objekata za oko 100000 gledalaca teško da može doći u obzir. Ne samo da se radi o dometima od oko 200m, nego i visoke tribine

predstavljaju odboj ne površine (kad su dijelom bez gledalaca) koje mogu izazvati odjek. Ometanje šire okoline također je znatno.

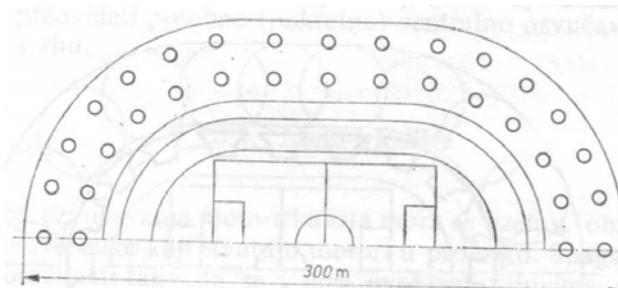
Sektorsko ozvučavanje može se u principu riješiti na dva načina:

- Prva mogućnost je da se iskoriste zvučnici sa kružnim zračenjem i postave na tanke čelične stubove, visoke 6 do 7 m.

Snaga ovih zvučnika zavisi od tipa koji se izabere. Ako su to zvučnici okrenuti nadole, onda treba poći od uslova da na udaljenosti 5,5 m (visina stuba umanjena za visinu čoveka) bude nivo zvuka 86 dB (0,4 Pa). Uzimajući da je efikasnost zvučnika $1 \text{ Pa} / \sqrt{\text{W}}$, dobija se:

$$P=5\text{W}$$

Poželjno je zbog rezerve koristiti zvučnike od 10 W. Ovi zvučnici ugrađeni u specijalni lijevak sa kružnim zračenjem (slika 4.16) imaju ugao snopa zračenja oko 150° . To dopušta rastojanje zvučnika od oko 25 m. Veće rastojanje dovelo bi do znatnog pada kvaliteta zvuka u području između dva zvučnika. Sa ovim rastojanjem trebalo bi postaviti na stadionu približno 60 zvučnika na stubovima čija bi ukupna snaga bila 600 W (vidi sliku 5.3).



Slika 5.3. Ozvučavanje velikog sportskog stadiona pomoću zvučnika sa kružnim zračenjem

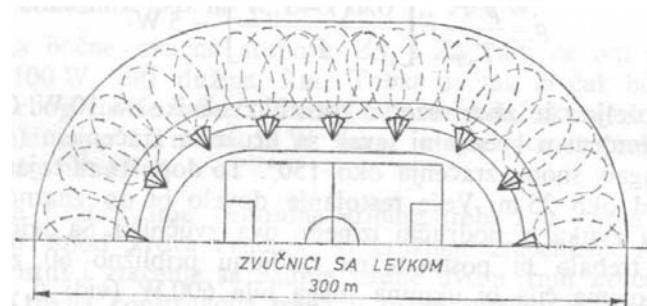
Ako se za ozvučavanje stadiona upotrebe zvučnici koji zrače jače ustranu nego nadole, onda snaga zvučnika može biti i veća, a razmak im se može povećati sve do 50 m. Prednost je što bi se „izašlo na kraj“ sa upola manje - sa 30 stubova nosača.

- Drugi način sektorskog ozvučavanja bilo bi da se postave usmjereni zvučnici na terenu i okrenu ka gledaocima. To mogu biti zvučnici sa lijevkom ili zvučni stubovi. Važno je da raspored bude takav da sva mjesta na tribinama budu »pokrivena«.

Na slici 5.4 dat je primjer stadiona za 100.000 gledalaca koji je ozvučen sa 16 grupa od po 3 zvučnika sa lijevkom raspoređena u lepezu. Spoljni zvučnici su nešto jači kako bi nivo zvuka bio ujednačen. Ukupna snaga ozvučavanja je 750W.

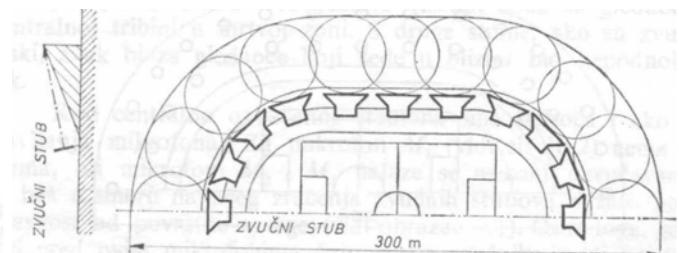
Na oba primjera može se uočiti da se karakteristike usmjerenosti suviše preklapaju, tj. da je raspored zvučnika nešto gušći nego što izgleda da je potrebno. To

je zato što je vođeno računa o višim frekvencijama za koje su karakteristike usmjerenosti užeg oblika. Iz istog razloga treba, ako su tribine vrlo visoke, upotrebiti »prelomljen« zvučni stub. Dobiće se ozvučavanje izuzetno dobrog kvaliteta.



Slika 5.4. Označavanje velikog sportskog stadiona pomoću zvučnika sa lijevkom

Na sl. 5.5 prikazano je ozvučavanje velikog stadiona sa 20 zvučnih stubova, dugih 1,5 m, snage 50 W.



Slika 5.5. Ozvučavanje velikog sportskog stadiona pomoću zvučnih stubova

Ovakvo ozvučavanje ima samo jedan nedostatak: ako se zvučnici ne mogu dovoljno udaljiti od tribine, u najnižim redovima slušaoci su izloženi suviše jakom zvuku. Obično je jednostavnije rješiti pitanje ujednačenog nivoa zvuka kad se zvučnici postave iza gledalaca i usmijere ka terenu. Oni se tada mogu podići na stubove, do visine koja je potrebna da se dobije približno jednak nivo i za bliske i za udaljene gledaoce. Ali ovakvo postavljanje zvučnika dovodi do potpunog razilaženja vidne i zvučne ose, do teškoća oko postavljanja mikrofona na terenu i - zbog velikog dometa zvučnih stubova - do opasnosti od pojave dvostrukog zvuka (dejstvom zvučnika sa suprotnih strana stadiona).

Sektorsko ozvučavanje, bilo pomoću zvučnika postavljenih na stubove, bilo pomoću zvučnika sa terena, ne stvara po pravilu probleme oko postavljanja mikrofona na terenu. Teškoće zbog povratne sprege javljaju se jedino za mikrofone na tribini.

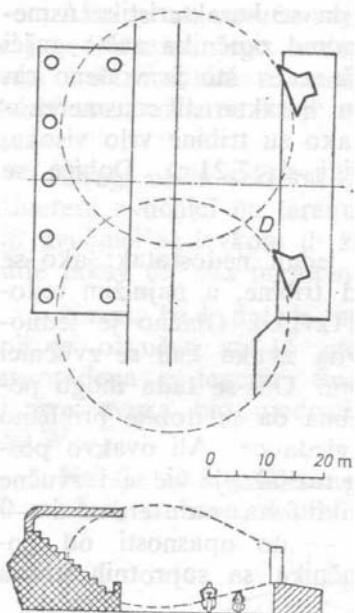
Opasnosti od dvostrukog zvuka također nema osim kad su u pitanju jaki zvučni izvori (orkestar), kako je objašnjeno u 4. poglavljju. Tada se mora koristiti ili sistem za kašnjenje zvuka, ili se mora predvidjeti posebno (pokretno) centralno ozvučavanje samo za ovu svrhu.

5.4. MOTO-TRKALIŠTE

Kod ozvučavanja moto-trkališta mora se uzeti u obzir izuzetno visok nivo buke koji stvaraju motori u prolasku. Snagu zvučnika treba proračunati tako da se i pod ovakvim uslovima saopštenja mogu čuti. Ipak, bilo bi vrlo neekonomično nastojati na tome da se obavještenja mogu dati i u slučaju kad sve mašine istovremeno prolaze (na startu, npr.). Takav zahtjev se po pravilu ne postavlja i dovoljno je da snaga ozvučavanja bude tolika da prolazak nekoliko mašina istovremeno ne ometa saopštenje. Za tu svrhu dovoljan je nivo zvuka od 90 dB(0,63 Pa).

Za ozvučavanje se mogu koristiti zvučni stubovi dužine 1,5 m i snage 50 W. Njihov domet iznosi najmanje: $r=34m$, ali ako se upotrebe bolji zvučnici, može biti i znatno veći.

Najbolje je tešenje postaviti zvučne stubove na stubove ispred tribine na suprotnoj strani piste i usmjeriti ih ka gledaocima (vidi sliku 5.6).



Slika 5.6. Ozvučavanje moto-trkališta

Ako je domet zvučnih stubova veći nego što je potrebno, onda se oni mogu, umjesto pravo prema tribini okrenuti malo ukoso, kako je dato u primjeru na sl. 10.6. U tom slučaju razmak zvučnih stubova može biti veći, pa se postiže izvjesna ušteda, a nivo zvuka na tribinama ostaje ujednačen. Pri ovom zakretanju zvučnih stubova javljaju se zone sa dvostrukim zvukom (označene sa D) ali to nema značaja jer na tim mjestima nema gledalaca (slušalaca).

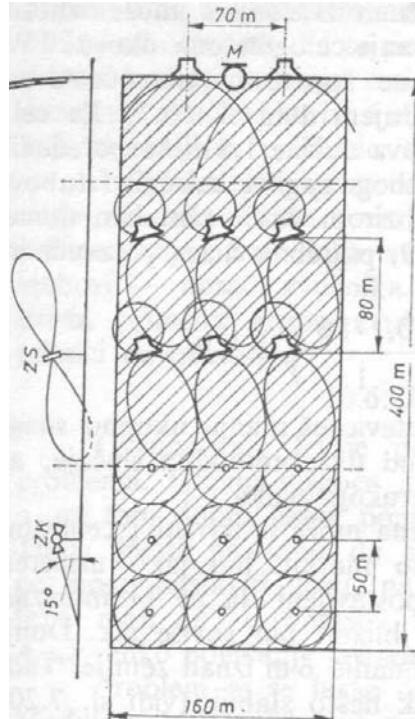
Pri ovakovom ozvučavanju postavljanje mikrofona na otvorenim tribinama praktično je nemoguće i zato se spiker-komentator nalazi ujvejk u zatvorenoj kabini, izolovan od spoljnog zvuka.

5.5. VELIKI TEREN

Ozvučavanje vrlo velikog terena, bilo da se radi o vežbalištu, zbornom mjestu, izložbenom prostoru i slično,

mora se po pravilu riješiti sektorskim postavljanjem zvučnika.

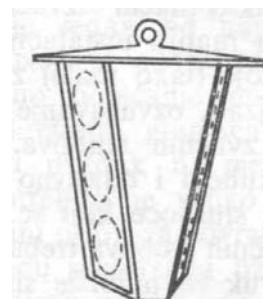
Neka se, npr., radi o površini 160 m x 400 m, kao na slici 5.7.



Slika 5.7. Ozvučavanje velikog terena

Najbolje rješenje je postaviti zvučnike sa kružnim zračenjem (ZK na donjem djelu slike) na međusobnom razmaku od 50 m. To mogu biti, npr., četiri zvučnika sa lijevkom, raspoređena u krst (kao u primjeru na sl. 9.8) i postavljena na stubove višoke 4 do 5 m. Levkovi su nagnuti za oko 15° prema horizontali. Efikasnost zvučnika sa lijevkom je najmanje $2\text{Pa}/\sqrt{\text{W}}$, a potreban domet je 25 m. Dovoljan nivo zvučnog pritiska je 74 dB (0,1 Pa). To daje ukupnu električnu snagu zvučnika sa lijevkom: $P \approx 1,5\text{W}$

a za skupinu sa kružnim zračenjem snaga iznosi 6 W. Za ozvučavanje cijelog terena biće potrebno 24 zvučnika sa kružnim zračenjem, dakle, sve u svemu 150 W snage. U praksi se svakako neće usvojiti ovako mala snaga za ovako veliki teren. Ali isto tako ni rezerva od 10 dB zbog dinamike, prema kojoj bi se usvojilo 1500 W, ne bi bila ekonomična, pogotovo ako je u pitanju razglas. Verovatno bi dovoljno bilo 500 do 600 W.



Slika 5.8. Skupina zvučnih stubova sa kružnim zračenjem

Skupinu sa kružnim zračenjem mogu obrazovati i zvučni stubovi, npr. tri kraće grupe (vidi slika 5.8), postavljene zvjezdasto pod uglovima od po 120° (slično kao na slici 4.12) i nagnute za 10° prema horizontali. Efikasnost ovih zvučnih stubova slična je onoj kod zvučnika sa lejkom - iznosi oko $2 \text{ Pa}/\sqrt{\text{W}}$.

Zato ukupna snaga grupe sa kružnim zračenjem može iznositi svega oko 5 W, a snaga za ozvučavanje cijelog terena oko 120 W.

Sektorsko ozvučavanje može se sprovesti i pomoću dvosmjernih zvučnih stubova (ZS na srednjem djelu slike 5.7). Za cijelu površinu dovoljno je 15 zvučnih stubova dužine 1,5 m, raspoređenih po tri u pet redova. Uočiti da je zbog nagiba zvučnih stubova domet sa zadnje strane kraći. S obzirom da je potreban domet 80 m, a faktor usmjerjenosti stubova 9, potrebna snaga po zvučnom stubu iznosi: $P \approx 7 \text{ W}$

Ovakav način ozvučavanja zahtjeva još manju ukupnu snagu (110W) i manju instalaciju nego kod dva prethodna slučaja, ali zato postoje (iako male) zone dvostrukog zvuka.

Najzad, ozvučavanje istog terena može se izvršiti i centralno pomoću zvučnih stubova. To samo moraju biti jako usmjereni zvučni stubovi i relativno visoko postavljeni da ne bi intenzitet zvuka za slušaoce koji se nalaze u blizini bio suviše jak. Donja ivica zvučnih stubova treba da je najmanje 6 m iznad zemlje. Tada je već zvuk za naj bliže slušaoce čak nešto slabiji, a maksimum nivoa zvuka dobija se na 100 do 200m.

Zvučni stubovi se postavljaju lijevo i desno od mikrofona na rastojanju od po 35 m. Radi što jače usmjerenoosti njihova dužina treba da je 6 m. To daje (u vertikalnoj ravni, za 1 000 Hz) faktor usmjerjenosti $\gamma_{gr} = 6 \cdot f \cdot l = 36$. Vertikalnu liniju zvučnika dobro je »prelomiti« za 10° (vidi na slici) kako ne bi došlo do suviše velikog usmjeravanja visokih frekvencija (vidi gornji dio slike 5.7). Izdužen oblik površine koja se ozvučava nameće pojačano usmjeravanje i u horizontalnoj ravni. Zato će svaki zvučni stub biti sastavljen od po dva vertikalna niza zvučnika, tj. imaće po širini dva zvučnika. Faktor usmjerenoosti cele grupe iznosi: $\gamma_{gr} = 2 \cdot 36 = 72$

Za domet od 400m potrebna je snaga napajanja po jednoj grupi od: $P \approx 22 \text{ W}$

Zbog velikog usmjeravanja dobila se neverovatno mala snaga zvučnih stubova. Ovu vrijednost treba, međutim, korigovati, jer se radi o dometu od 400 m, kad vremenske prilike ozbiljno utiču na prijem. Čak i u dobrim uslovima treba računati sa ukupnim gubicima od oko 5dB. To će podići snagu po zvučnom stubu na 75 W, odnosno ukupnu snagu ozvučavanja na okruglo 150 W. Kako su dimenzije zvučnog stuba $6 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$, svaki bi imao po 48 zvučnika koji bi radili sa približno 1,5 W.

U poslijednjem primjeru snaga ozvučavanja nije mnogo veća nego pri sektorskorn ozvučavanju, a cijela instalacija je znatno jednostavnija. Sve linije su mnogo kraće, a otpadaju i brojni stubovi - nosači zvučnika. To ukazuje na velike prednosti koje pruža primjena grupe

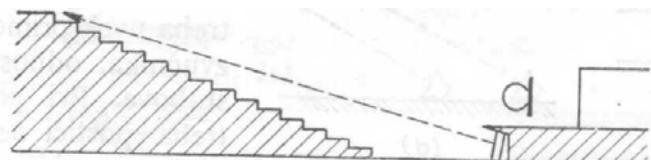
zvučnika, a naročito zvučnih stubova, u tehnici ozvučavanja.

5.6. LJETNA POZORNICA

Ozvučavanje ljetne pozornice je jedan od najdelikatnijih problema. Glavna teškoća je izbjegći opasnost od povratne sprege, a pri tom dobiti neko pomena vredno pojačanje nivoa zvuka. Treba imati na umu da se zbog kretanja glumaca mikrofoni ne mogu postaviti blizu, pa je zvučni pritisak na mjestu mikrofona mali i potrebno je veliko pojačanje, a uz veliko pojačanje javljaju se povoljni uslovi za povratnu spregu.

Problem bi se lakše riješio pomoću sektorskog ozvučavanja. Međutim, baš kod letnjih pozornica najveći značaj ima poklapanje zvučne i vidne ose i zato je neophodno ili koristiti sektorsko ozvučavanje sa precizno podešenim sistemom za kašnjenje ili naći dobro rješenje u okviru centralnog postavljanja zvučnika, koristeći u ovom slučaju tehnička rješenja opisana u poglavljju 9.6. Obavezno se moraju koristiti usmjereni mikrofoni i zvučnici (zvučni stubovi), kako bi se lakše pronašli položaji u kojima je njihova sprega najslabija.

Opšta pravila za postavljanje zvučnih stubova ne postoje. Izbor mesta zavisi pored ostalog od oblika pozornice i gledališta, od okoline i dekora, a često izbor ne zavisi samo od akustičkih uslova.



Slika 5.9. Nisko postavljen zvučni stub na letnjoj pozornici

U principu može se birati između tri položaja za zvučne stubove:

1. iznad pozornice - najpovoljniji položaj, ali najčešće izvodljiv,
2. sa obje strane pozornice - akustički manje povoljan položaj, ali često jedino moguć,
3. ispod pozornice - povoljan položaj za visoke pozornice i za gledališta sa većim nagibom.

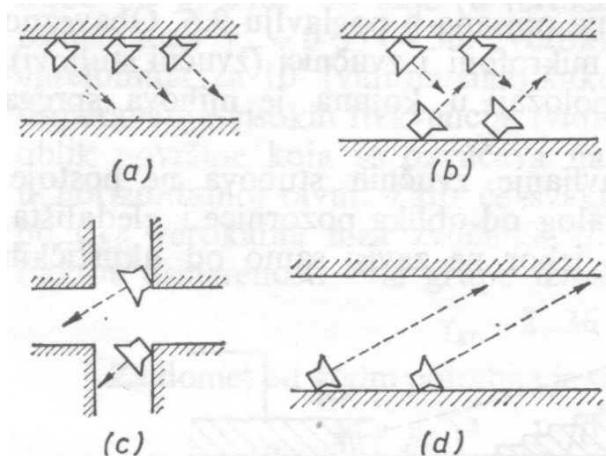
Pri orientisanju zvučnih stubova treba paziti da od bijeni zvuk (od praznih sedišta ili okolnih površina) ne pada u zonu mikrofona, što bi moglo izazvati povratnu spregu.

5.7. GRADSKE ULICE

Ozvučavanje ulica i trgova vrši se u velikim gradovima najčešće radi održavanja zborova ili radi regulisanja zakrčenog gradskog saobraćaja. U manjim mjestima ozvučavaju se ulice radi davanja građanstvu saopštjenja o novim odredbama i drugih lokalnih obavještenja.

Za uske i krivudave ulice najpovoljnije je upotrebiti zvučnike sa lejkom. Postavljanje se može izvršiti na više načina (slika 5.10a, b i c). Treba samo izbjegavati da se zvučnici orijentiraju poprijeko na pravac ulice. Tada se zvučni talasi visokih frekvencija beskorisno višestruko

odbijaju između paralelnih zidova. Bolje ih je usmjeriti niz ulicu jer tako dobro ozvučena površina pri istoj snazi postaje veća. Pri usmjeravanju zvučnika ne mora se strogo voditi računa o karakteristikama usmjererenosti. Odbijeni je zvuk, zbog blizine kuća, toliko jak da se o zvučnom polju unapred malo može reći. U svakom slučaju neće biti »mrtvih zona«.



Slika 5.10. Ozvučavanje gradskih ulica

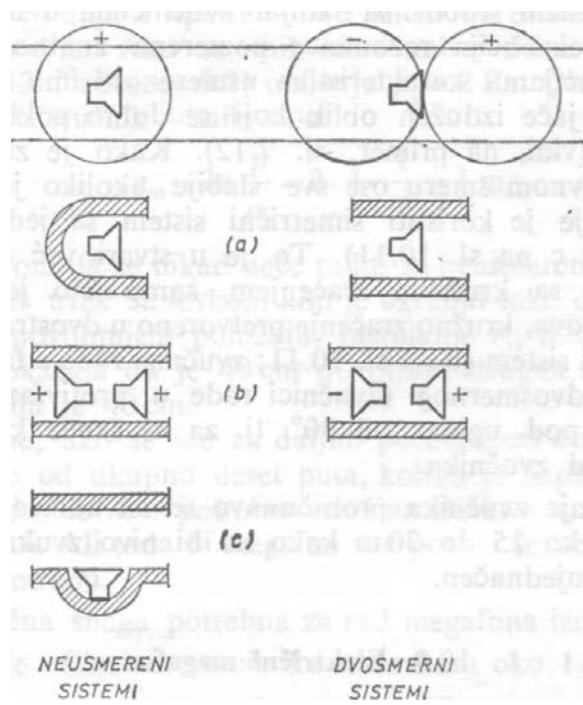
Za duže i prave ulice umjesto zvučnika sa lijevkom mogu se postaviti i zvučni stubovi (slika 5.10 d). Time se, kao i uvijek, postiže izvjesna ušteda na električnoj snazi i instalaciji. Za gradske trgrove treba uvijek primjeniti grupe zvučnika, odnosno zvučne stu bove. Pri postavljanju treba postići ne samo da su usmjereni osim prema publici, nego i da »gledaju« ka »mekim« površinama (prazan prostor, parkovi, olistalo drveće). »Tvrde« površine velikih zgrada u koje udari snop zračenja, zvučnog stuba mogu izazvati neželjeni odjek.

5.8. STANIČNI PERONI

Nivo buke na staničnim peronima je vrlo različit. Najmanji je kad je peron slobadan, veći kad je na peronu voz a putnici izlaze ili ulaze, a najveći kad voz ulazi na peron i zaustavlja se (oko 80 dB). U poslijednjem slučaju potreban je nivo korisnog zvuka od oko 86 dB (0,4 Pa) da bi se saopštenje nesmetano moglo čuti, i za taj nivo treba proračunati snagu ozvučavanja. U prolaznim stanicama, gdje se brzi vozovi ne zadržavaju, nivo buke pri prolasku vozova prelazi 90 dB. Razlozi ekonomičnosti nalaze se da se za vreme tih kratkih perioda odustane od davanja obavještenja.

Nivo od 86 dB bio bi suviše jak pri mirnim uslovima na peronu. Treba zato predvidjeti mogućnost da normalan nivo bude 74 dB, a da se samo u slučaju potrebe pojača. Kontrolu nivoa buke (pomoću zvučnika u svojoj kabini ili instrumenta) može vršiti i spikerka i podešavati na odgovarajući način jačina zvuka prije svake objave. Ali jačina buke nije na svim peronima jednaka i zato je bolje da se ovo podešavanje vrši automatski.

Signal koji aktivira uređaj za podešavanje može se dobiti preko kontrolnih mikrofona, postavljenih po peronima, a može i nekim drugim putem povezanim sa tehničkom signalizacijom, tako da nivo zvuka bude regulisan istovremeno sa regulisanjem kretanja kompozicije voza.



Slika 5.11. Princip postavljanja i ugradivanja zvučnika za ozvučavanje staničnih perona

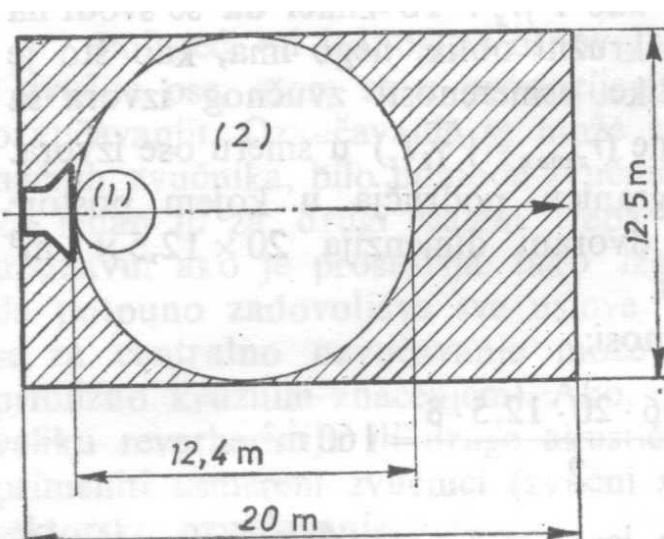
Imajući u vidu izdužen oblik perona, pogodnije je upotrebiti usmjerene zvučnike, bilo zvučnike sa lijevkom, bilo zvučne stubove. Na prvi pogled izgleda da bi najbolje odgovarali zvučnici sa dvokružnom karakteristikom usmjerenoosti (vidi sliku 5.11). Međutim, nesimetrični zvučnici (red a na slici 5.11) nisu najbolje rješenje jer treba imati na umu da je kružna simetrična karakteristika samo teorijski slučaj koji je približno ispunjen na niskim frekvencijama. A baš niske frekvencije, kao nevažne za dobru razumljivost govora, ne reprodukuju se kod ovakvih i sličnih sistema ozvučavanja, jer se na taj način, s jedne strane, smanjuje nepoželjno dejstvo reverberacije - koje na staničnim peronima uvijek ima - a, s druge strane, izlazi se na kraj sa jednostavnijim i jевtinijim zvučnicima. To su kraći levkovi čija prekidna frekvencija iznosi oko 400Hz, ili zvučni stubovi sa manjim zvučnicima u malim kutijama čija je frekvencija rezonance pomjerena znatno naviše.

Na višim frekvencijama karakteristika usmjerenoosti ima u smjeru ose zvučnika veći jači izdužen oblik koji se dobro poklapa sa oblikom perona. Kako je zračenje zvučnika u negativnom smjeru ose sve slabije ukoliko je frekvencija viša, povoljnije je koristiti simetrični sistem sa jednim ili dva zvučnika (b i c na slici 5.11). To je u stvari već poznat princip zvučnika sa kružnim zračenjem, samo što je ovde, zbog specifičnih uslova, kružno zračenje pretvoren o u dvostrano. Neusmjereni simetrični sistem (b na slici 5.11; zvučnici rade u fazi) povoljniji je nešto od dvosmjernog (zvučnici rade u protifazi), jer nema mrtvu zonu pod uglom od 90°, tj. za slušaoce koji se nalaze direktno ispod zvučnika.

Rastojanje zvučnika proračunava se na uobičajen način, ali se ne ide preko 25 do 30 m kako ne bi nivo zvuka duž perona bio suviše neujednačen.

POSTAVLJANJE ZVUČNIKA U PROSTORIJAMA

poglavlje 6



1 - Zona zvučnog izvora, 2 - Zona zadovoljavajućeg prijema zvuka

6. POSTAVLJANJE ZVUČNIKA U PROSTORIJAMA

6.1. NIVO ZVUKA I SNAGA OZVUČAVANJA

Pri ozvučavanju prostorija često su takvi uslovi rada da se uređaj za ozvučavanje i ne može u pravom smislu riječi nazvati uređajem za pojačavanje zvuka. Ima mnogo slučaju eva gdje je prvi zadatak ovakvih uređaja ili da pojača direktni zvuk na udaljenim mjestima, ili da pojača samo visoke frekvencije radi bolje razumljivosti, ili da poveća vreme reverberacije. Pojačanje nivoa zvuka koje se tom prilikom ostvaruje često je neznatno, ali promjena kvaliteta zvuka može i pored toga biti osetna. Takvi uređaji, dakle, služe na prvom mjestu poboljšanju a ne pojačanju zvuka. Ipak, jedan od osnovnih zadataka i pri ozvučavanju prostorija ostaje obezbediti potreban nivo zvuka.

Teorijski obrazac kojim je dat prosječan intenzitet zvuka za sve tačke jedne prostorije glasi:

$$J = \frac{4P_a}{A}$$

gdje je: Pa - akustička snaga zvučnog izvora,
A - apsorpcija prostorije.

Iz ovog obrasca može se naći potrebna akustička snaga da bi se ostvario određeni nivo zvuka (L).

Najvažnije je zaključiti da li je snaga jednog zvučnog izvora dovoljna za prostoriju određene veličine i određenog vremena reverberacije i da li je uopšte potreban uređaj za dopunske ozvučavanje.

Najčešće se radi o pojačanju glasa govornika. Već je riječeno da govornik koji, kao što je normalno, pojača malo svoj glas, proizvodi približno 0,1 Pa na 1 m. Iz ovog podatka izračunata je akustička snaga i nađeno je da približno iznosi 100µW. Za govornika koji govori normalno, kao da razgovara, akustička snaga je svega 10 do 20 µW, a za govornika koji skoro više snaga je do 1 mW. Riječeno je, također, da simfonijski orkestar u prosjeku ima akustičku snagu od 10 m W, ali se maksimalne vrijednosti (»fortissimo«) kreću od 0,5 do preko 1 W.

Proračun uređaja za ozvučavanje otvorenog prostora dovodi skoro uvijek do relativno velikih vrijednosti potrebne električne snage. Zato se, radi ekonomičnosti, računa sa neophodnim minimalnim nivoom korisnog zvuka. Pri tome se svesno ide na izvjestan pad kvaliteta, tj. dopuštaju se izvjesna izobličenja koja se javljaju li trenutku kad delovi govora ili muzike znatno premaže prosječnu vrijednost. Poslijedice toga nisu toliko osetne jer većina uređaja na otvorenom služi za prenos saopštenja ili muzike koja ne pretenduje na visok kvalitet. Izuzetke, naravno, treba uvijek uzeti u obzir.

Dručje stoji stvar sa uređajima za ozvučavanje prostorija.

Pitanje snage tu obično ne dolazi u obzir i zato se može veća pažnja obratiti kvalitetu reprodukovanih zvuka. Treba imati na umu da se povremeni maksimumi nivoa zvuka pri govoru nalaze na oko 10 dB iznad prosječne jačine govora, a kod muzike prelaze čak i 15 dB. Ako se postavi kao uslov da se i ovi maksimumi prenesu bez izobličenja, tj. da se sačuva pun dinamički opseg kako govora tako i muzike, onda se pri proračunu potrebne električne snage može poći od slijedećih nivoa zvuka:

- 86 dB (0,4 Pa) za prenos govora u relativno mirnim prostorijama (učionice, slušaonice, kancelarije, čekaonice i slično).
- 92 dB (0,8 Pa) za prenos govora pri nešto jačem nivou buke (javne prostorije, radionice) i za prenos muzike umerenom jačinom (restorani).
- 98 dB (1,6 Pa) za prenos govora pri još jačem nivou buke (sportske dvorane, mašinske hale itd.) i za skoro veran prenos koncertne muzike.

Naravno, prema prilikama ovaj nivo može biti i manji ako se radi o vrlo mirnim prostorijama, ali može izuzetno biti i veći. Npr., nivo od 98 dB za slušanje muzike odgovara većini ljudi jer on znači da je prosječan nivo oko 85 dB. Ipak u nekim slučajevima želje slušalaca neće biti zadovoljene ako im se ne ornogući da maksimalni nivo zvuka bude svih 106 dB.

Nivo sa kojim će se stvarno raditi, bez obzira na krajnje mogućnosti pojačavača i cijelog sistema, treba da bude prilagođen stvarnim potrebama: ni suviše nizak, ni suviše visok. Preterano jak glas govornika pogoršava, npr., lični kontakt između njega i slušalaca. Slab glas se, opet, s naporom sluša ako postoji određen nivo buke. Samo treba i to napomenuti da nivo buke često zavisi baš od nivoa zvuka: kada je zvuk jak, slušaoci glasno govore jedan drugom ono što bi u normalnim prilikama šapatom izgovarali.

Normalno je da prosječni nivo zvuka bude bar 20 ... 30 dB iznad nivoa buke. Izuzetno i obično kratkotrajno pojačan nivo buke ne uzima se u obzir (npr. pljesak slušalaca).

Treba, dakle, pored zadatog nivoa zvuka, poznavati zapreminu i vreme reverberacije prostorije i stepen iskorištenja zvučnika. U praksi, međutim, ovi podaci često nisu poznati ili su netačno navedeni i do 8% iako su tolike vrijednosti malo verovatne.

Ima mnogo slučajeva u praksi kad o zvučnicima nije ništa unapred poznato, a vrlo često ni vreme reverberacije prostorije se ne može izmeri ti niti tačno proračunati. Onda je jedino rješenje poći od najnepovoljnijih pretpostavki i tako izračunati potrebnu snagu. Dobijena vrijednost može samo biti predimenzionisana, a ni u kom slučaju nedovoljna.

Iz prakse je poznato da se ni u najnepovoljnijim slučajevima ne radi o velikim snagama. Prema tome, dovoljan nivo zvuka u prostoriji nije sam po sebi

problem. Ali pojačanje zvučne snage koje se praktično postiže pri ozvučavanju kad je i mikrofon u prostoriji, u mnogim slučajevima ne može ionako biti veliko, jer je ograničeno pojmom akustičke povratne snage (zviđanjem« uređaja za ozvučenje).

6.2. AKUSTIČKA POVRATNA SPREGA

U prostorijama udaljavanje mikrofona od zvučnika nema takav efekat kao napolju. Tačnije riječeno, u neposrednoj blizini zvučnika uslovi su kao napolju, ali na nešto većoj udaljenosti direktni zvuk iz zvučnika vrlo malo utiče na mikrofon. Posredno, međutim, preko reflektovanih talasa uticaj zvučnika je znatan i zato je, u cjelini posmatrano, u prostorijama mnogo teže izbjegi akustičku povratnu spregu nego na otvorenom.

Zvučni talasi prostiru se od izvora do prvog udara o zidove na isti način kao u slobodnom prostoru. To je direktni zvuk. Svi ostali zvučni talasi, koji se poslije jedne ili više refleksija zadržavaju u prostoriji, sačinjavaju reflektovan zvuk.

Ako se mikrofon postavlja u zoni zvučnika, onda za povratnu spregu važe isti uslovi kao za ozvučavanje na otvorenom. Ali za to u prostorijama nema potrebe; zona zvučnika je relativno mala i lako je naći rješenje da mikrofon bude izvan ove zone. S druge strane, postavljanje zvučni ka tako da udaljenost od mikrofona bude znatno veća od polupriječnika zone ne donosi nikakve prednosti jer tada već povratnu spregu izaziva reflektovani zvuk, a on je u prosjeku jednakog intenziteta u cijeloj prostoriji.

Kad je mikrofon postavljen u zoni reflektovanog zvuka (reverberantnog zvuka), neće doći do akustičke povratne spregе onda kad je intenzitet zvuka koji emituje zvučnik manji na mjestu mikrofona od intenziteta zvuka koji emituje govornik.

6.3. CENTRALNO OZVUČAVANJE

Rješenje problema postavljanja zvučnika u prostorijama po pravilu je teže nego na otvorenom. S jedne strane, vrlo je teško dobiti dovoljno pojačanje akustičke snage, a istovremeno izbjegi povratnu spregu. S druge strane, zahtjevi u pogledu kvaliteta su stroži. Nalazeći se na otvorenom slušaoci su obično daleko od zvučnih izvora (govornika, orkestra), pa su već navikli da program u takvim prilikama prate preko zvučnika. To znači da se oni unapred mire sa eventualnim nepoklapanjem vidne i zvučne ose, povremenim smetnjama (vjetar, okolna buka) i sa drugim nedostacima (kao što je, npr., suženi frekvencijski opseg pri korištenju zvučnika sa lijevkom). Naprotiv, nalazeci se u prostoriji, u blizini govornika (pevača, orkestra), slušaoci očekuju da ga direktno čuju isto onako dobro kao što ga i vide, i da što manje osete »vještačko« posredovanje uređaja za ozvučavanje. Zvučnici u takvim prilikama treba da djeluju »neprimetno« (često su čak i za oko skriveni), a to znači da poklapanje vidne i zvučne ose treba da bude što potpunije, a kvalitet reprodukcije na najvišem nivou.

Očigledno je da se glavne teškoće li prostorijama javljaju kad se pojačava prisutni izvor zvuka. Za ozvučavanje

»bez mikrofona« (čekaonice, bioskopi, elektronski muzički instrumenti) može se, naprotiv, reći da je čak jednostavnije nego na otvorenom. Na prvom mjestu otpadaju razne spoljne smijetnje. Pored toga, nema problema oko »mrtvih zona« jer se uvijek može računati da će reflektovani zvuk dopuniti ono što ne pokrije direktni zvuk.

Polazeći od jednog od osnovnih uslova, do poklapanja vidne i zvučne ose, mora se u prostorijama dati prednost centralnom ozvučavanju. Ozvučavanje se može sprovesti bilo pomoću pojedinačnih zvučnika, bilo pomoću zvučničkih grupa (zvučnih stubova). za jedan ili za drugi sistem treba se opredeliti prema slijedećem uputstvu: ako je prostorija tako izgrađena i akustički obrađena da potpuno zadovoljava sve uslove neposrednog slušanja, onda se za centralno ozvučavanje može koristiti običan zvučnik (sa približno kružnim značenjem). Ako, naprotiv, prostorija ima suviše veliku reverberaciju ili druge akustičke defekte, onda se moraju primjeniti usmjereni zvučnici (zvučni stubovi) ili se mora preći na sektorsko ozvučavanje.

To ne znači da zvučne stubove ne treba koristiti i u akustički dobrom prostorijama. Oni i tada imaju određene prednosti. Zbog usmjerenosti zračenja zvučni stub se može postaviti bliže mikrofonu, a to dovodi do boljeg poklapanja vidne i zvučne ose. Raspoljeda zvučnog pritiska direktnog zvuka u cijeloj dvorani takođe je ravnomjernija; zvučni pritisak kod jednog zvučnika opada sa rastojanjem, dok zvučni pritisak kod dobro postavljenog zvučnog stuba može biti na relativno širokom području približno konstantan. Ukratko: usmjereni zvučnik (zvučni stub) je za centralno ozvučavanje uvijek koristan, ali tamo gdje akustički nema šta da se popravi nije neophoran.

Da bi se objasnila prednost usmjerenih zvučnika u uslovima velike reverberacije, treba se vratiti na odnos reflektovanog i direktnog zvuka.

U dvoranama sa većom reverberacijom može dobra polovina mesta biti akustički nepovoljna.

Za one slušaoca koji se nalaze u smjeru slabog zračenja izvora uslovi slušanja postaju čak nepovoljniji. U stvari kod usmjerenih izvora to znači da zona izvora nema više kružni oblik, nego ima, kao što je već riječeno, oblik karakteristike usmjerenosti zvučnog izvora sa najvećim »polupriječnikom« zone u smjeru ose izvora.

Primjer:

- Odrediti granicu područja u kojem postoje povoljniji uslovi slušanja li dvorani dimenzija $20 \times 12,5 \times 8 \text{ m}^3$ čije je vreme reverberacije 2s ?

Apsorpција prostorije iznosi::

$$A = \frac{0,16V}{T} = \frac{0,16 \cdot 20 \cdot 12,5 \cdot 8}{2} = 160 \text{ m}^2$$

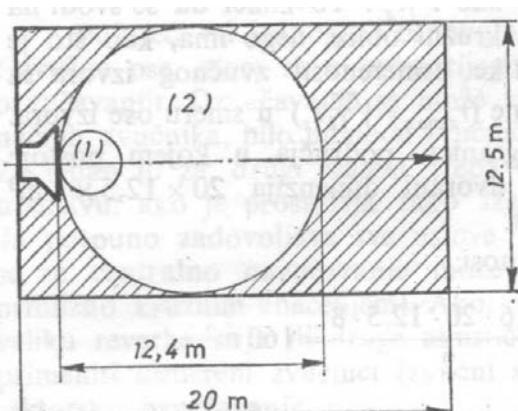
Polupriječnim zone izvora je:

$$r_z = \sqrt{\frac{A}{50}} \approx 1,8 \text{ m}$$

To je prosječna udaljenost onih mesta na kojima uslovi slušanja više nisu dobri. Inače, u smjeru ose govornika ova udaljenost je nešto veća. Ako se uzme da je faktor usmjerenosti govornika 2, onda se polupriječnik zone izvora može povećati $\sqrt{2}$ puta, pa bi se konačno dobilo $r \approx 10\text{m}$ (u smjeru ose govornika). Ali zato u drugim pravcima r postaje nešto manje. Sve u svemu, kako je dužina dvorane 20 m, sigurno polovina mesta nema povoljnije uslove slušanja. Zaključuje se da je $T = 2$ s nepovoljno za dvoranu veličine 2000 m^3 .

Primjer nam pokazuje da je usmjerenost govornika nedovoljna da se zona izvora proširi do najudaljenijih mesta u dvorani. Upotreba pojačanih zvučnika za centralno ozvučavanje ne bi također donela neko poboljšanje jer se i njihovi faktori usmjerenosti kreću svega oko 3. To znači da se u dvorani sa većom reverberacijom pomoći pojedinačnih zvučnika može samo pojačati akustička snaga, odnosno nivo zvuka, ali se uslovi slušanja ne mogu popraviti.

Jedino rješenje tada pružaju grupe zvučnika, pomoći kojih faktor usmjerenosti zvučnika γ_z povećava još γ_{gr} puta, a polupriječnik zone izvora postaje ukupno $\sqrt{\gamma_z \cdot \gamma_{gr}}$ puta veći. Time se uslovi slušanja popravljaju (tekst, npr., postaje bolje razumljiv), ali daleko od toga da se pomoći usmjerenih zvučnika može potpuno otkloniti nepovoljan uticaj suviše velikog vremena reverberacije, tj. od loše napraviti dobra dvorana.

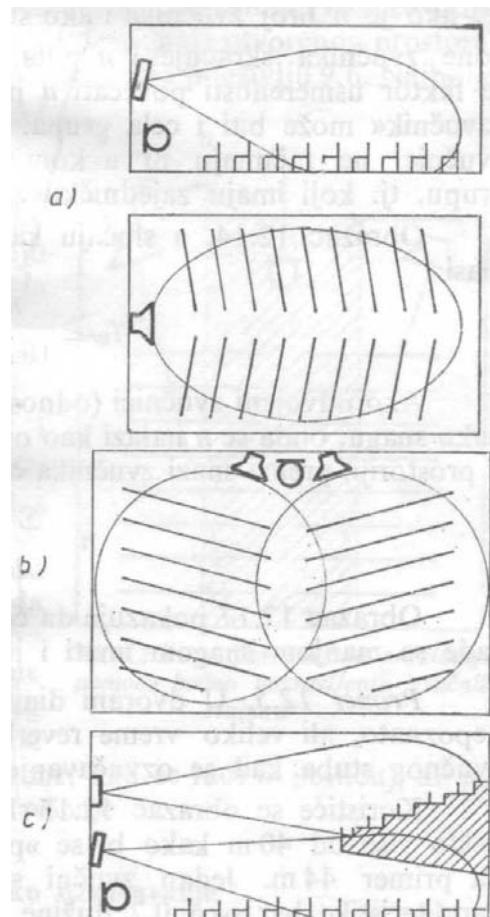


Slika 6.1. 1 - Zona zvučnog izvora, 2 - Zona zadovoljavajućeg prijema zvuka

U praksi će, ako je zvučni stub dobro postavljen, uslovi slušanja biti još nešto bolji od onih koji se po proračunu očekuju. Stvar je u tome što kod jako usmjerenih izvora direktni zvučni talasi ne dopiru od svih površina ili prostorija, nego praktično samo do onih prema kojima je izvor okrenut. Ako ta površina ima veliki koeficijent apsorpcije, onda će najveći dio direktnе zvučne energije biti odmah apsorbovan pa će u pogledu doprinosa reflektovanoj energiji rezultat biti isti kao da se u prostoriji nalazi neusmjeren izvor manje snage. S obzirom da površina koju zauzimaju slušaoci ima vrlo veliku apsorpciju ($\alpha=0,9$ na srednjim frekvencijama), najveći dio zvučne energije zvučnog stuba koji je usmjeren ka slušaocima neće se ni vratiti u prostoriju da nastavi prostiranje kao reflektovan zvuk.

Naprotiv, treba naglasiti da se iz istih razloga opasnost od reflektovanog zvuka znatno povećava ako usmjereni snop zvučnih talasa udara o površinu koja izuzetno slabo apsorbuje zvuk. Onda bi trebalo uzeti; manje od stvarne vrijednosti.

Zvučnici se pri centralnom ozvučavanju postavljaju tako da se zona dobrog prijema zvuka (četverostruka zona zvučnika) što bolje poklapa sa površinom koju treba ozvučiti. Pri tome se istovremeno vodi računa da se mikrofon nalazi izvan zone zvučnika (zbog povratne sprege) i da se održi pravac vidne ose. Primjer jedne dvorane dat je na slici 6.2a.

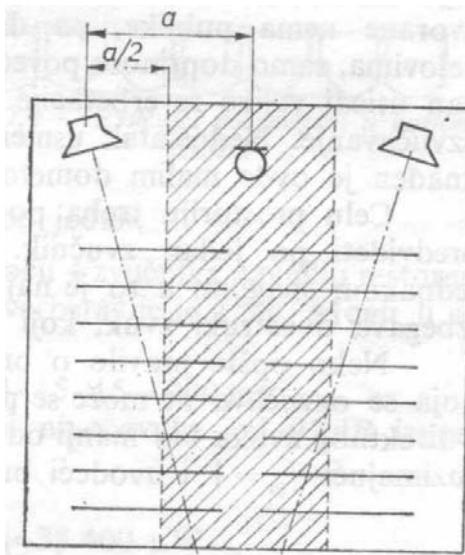


Slika 6.2. Ozvučavanje prostorija pomoću zvučnih stubova (nacrtane su granice zona dobrog prijema zvuka)

Nekad je, međutim, nemoguće prikazati cijelu površinu sa jednim zvučnikom (ili zvučnim stubom) i tada se postupa kao na slikama 6.2b ili 6.2c, gdje su upotrebljena po dva zvučna stuba. Pri tom treba misliti na to da svaki zvučnik ima svoju zonu, pa da pojačanju direktnog zvuka samo on sam doprinosi. Naprotiv, pojačanju reflektovanog zvuka doprinose svi zvučnici zajednički. Usljed toga se, ako je n broj zvučnika i ako su svi jednake snage, polupriječnik zone zvučnika skraćuje \sqrt{n} puta. Da ne bi do toga došlo, mora se faktor usmjerenosti povećati n puta. Naravno, u gornjem tekstu »zvučnik« može biti i cijela grupa, što znači da se kao posebni zvučnici ne računaju ni u kom slučaju zvučnici koji obrazuju grupu, tj. koji imaju zajedničku zonu direktnog zvuka.

Za postavljanje zvučnih stubova pri centralnom ozvučavanju važe u principu ista pravila kao za ozvučenje otvorenog prostora, uključujući i stereofonsko ozvučavanje. Najbolje je postaviti zvučne stubove iznad mikrofona, kao na slikama 6.2a i c. Obično je donja ivica zvučnog stuba oko 2 m iznad nivoa poda. Tada je i površina dvorane koju »pokriva« zvučni stub najveća. Na višem položaju zvučni stub ozvučava manji dio korisne površine.

Zvučnici, postavljeni lijevo i desno od mikrofona na većem razmaku, kao na slici 6.3, imaju taj nedostatak što samo u šrafiranoj zoni izgleda kao da glas dolazi od govornika, i to pod uslovom da pojačanje zvučnika nije veće od 10 dB (Haasovefekt). Izvan te zone izgleda kao da glas dolazi iz bližeg zvučnika. U mnogim slučajevima ovo je krupan nedostatak (npr. kad se radi o pevaču), ali je, na žalost, nekad jedino moguće rješenje.



Slika 6.3. Ozvučavanje prostorije pomoću bočno postavljenih zvučnih stubova

6.4. SEKTORSKO OZVUČAVANJE

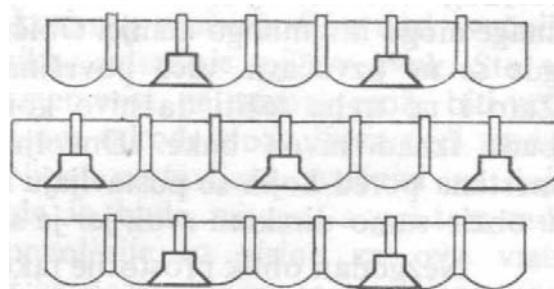
Sektorsko ozvučavanje ima prednost u nekim slučajevima i to:

1. kad prostorija ima veliko vreme reverberacije,
2. kad je visok nivo buke u prostoriji,
3. kad su neki delovi prostorije nepristupačni centralno postavljenim zvučnicima,
4. kad se teži za vrlo ujednačenim i (ili) relativno niskim nivoornim zvukom.

Već je naglašeno da se uticaj reverberacije može znatno smanjiti upotreboru usmjerenih grupa zvučnika. Ipak, treba naglasiti da grupe zvučnika mogu imati i jedan nedostatak ako su postavljene li velikim prostorijama sa velikom reverberacijom. U takvim prostorijama obično nema zidova koji dovoljno apsorbuju zvuk. Ako usmjeren »snop« zvuka loše usmjerenog zvučnog stuba udari o jedan takav zid i ako oblik zida nije takav da »razbij« zvuk na sve strane, onda će se sigurno pojaviti izrazit odjek. Dobrim postavljanjem zvučnih stubova, tj. usmjeravanjem prema slušaocima, to se najčešće može izbjegći, ali i tada se može desiti da u nekim delovima

dvorane nema publike, pa da zvučni stubovi, usmjereni ka tim delovima, samo doprinose povećanju reverberacije. Tada se nepovoljan uticaj velike reverberacije može izbjegići prelazeći na sektorsko ozvučavanje. Nedostatak usmjerenosti pojedinačnih zvučnika nadevana je ovde malim dometom koji otpada na svaki zvučnik,

Cijelu prostoriju treba podeliti na jednakе delove i za svaki predviđjeti po jedan zvučnik. U tom slučaju svi zvučnici rade jednakom snagom, a to je najpovoljnije jer se onda sa sigurnošću izbjegava dvostruki zvuk, koji može biti štetan.



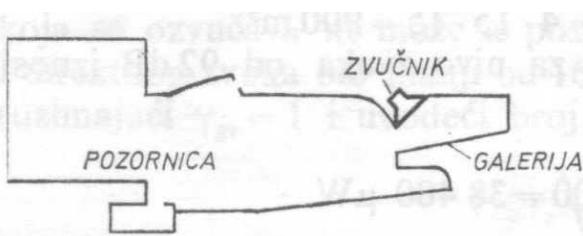
Slika 6.4 Zvučnici postavljeni u naslone sedišta

za postavljanje zvučnika važe u principu ista pravila kao kod sektorskog ozvučavanja otvorenog prostora. Uvijek treba održavati pravilnost raspodjele zvučnika i simetriju. Pored toga, treba nastojati da se zvučnici pri bliže utoliko više slušaocima ukoliko je veća reverberacija prostorije. (Krajnost bi bila dati svakom u dvorani slušalice). Kako će se zvučni ci postavljati, na tavanici, na stubove ili na okolne zidove, zavisi od oblika prostorije i drugih uslova.

Sl. 6.4 prikazuje jedno rješenje gdje su zvučnici u jednoj dvorani za predavanja ugrađeni u na slone stolice, za svake tri stolice po jedan.

Jaka buka može također bili razlog da se primjeni sektorsko ozvučavanje. Koristan zvuk treba da bude bar nekoliko dB iznad nivoa buke. Da se to postigne pomoću centralnog ozvučavanja, često bi bila potrebna vrlo velika snaga. Kod sektorskog ozvučavanja, ako se zvučnici jako pri bliže slušaocima, snage mogu biti mnogo manje. Obično se tu radi o mašinskim salama gdje se ne ozvučava veća površina, nego pojedina radna mjesta. Zato i ne treba težiti da nivo korisnog zvuka u cijeloj prostoriji bude iznad nivoa buke. Dovoljno je da tako bude na radnim mjestima pored kojih se postavljaju zvučnici. Pri proračunu se uzima li obzir samo direktni zvuk jer je slušalac obično li zoni zvučnika.

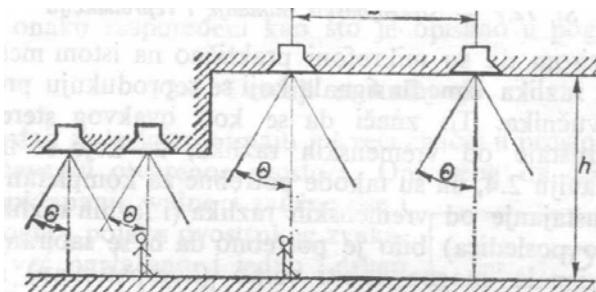
Nezgodan oblik prostorije također može biti razlog za sektorsko ozvučavanje, Slika 6.5 pokazuje primjer galerije u jednom pozorištu koja akustički ne predstavlja cjelinu sa gledalištern. U njoj je i direktni zvuk suviše slab, i nivo zvuka niži, dok su u glavnom djelu dvorane akustički uslovi uglavnom dobri. Zato se, samo za ovu galeriju, postavlja poseban zvučnik. Centralno ozvučavanje gale-rije pomoću usmjerenih zvučnika bilo bi i neekonomično, i nepotrebno bi uticalo na akustičke karakteristike cele dvorane.



Slika 6.5. Ozvučavanje galerije u pozorištu

Posebnu vrstu sektorskog ozvučavanja predstavlja tzv. sistem došaptavanja. Ovde se ide za tim da nivo direktnog zvuka bude na svim mjestima jednak, jer slušalac tada ne oseća udaljavanje od jednog i približavanje drugom zvučniku. Da bi se to po stiglo moraju se zvučnici vrlo gusto raspoređiti. (Obično se zvučnici postavljaju u tavanicama, a posebno je poželjno da tavanica bude akustički obrađena). Ujednačeno zvučno polje i jak direktan zvuk dopuštaju li prosjeku niži nivo korisnog zvuka, a istovremeno stvaraju utisak neposredne blizine zvučnika. Efekt je naročito primetan za slušaoca koji se kreće. On ima utisak da ga zvučnik prati i da se samo' za njega prenosi zvuk. Najbolji kvalitet ozvučavanja postigao bi se kad bi zvučnici bili jedan do drugog, ali takvo rješenje nije ekonomično. Iskustvo je pokazalo da se odlični rezultati dobijaju ako se pri proračunu vodi računa samo o frekvencijama nižim od 3 000 ili 4 000 Hz. (U ovoj oblasti su svi osnovni tonovi muzike i sve komponente zvuka na osnovu kojih čovek određuje pravac zvučnih talasa i jačinu zvuka).

Nisko postavljeni zvučnici ne daju ekonomično rješenje jer treba da ih bude mnogo, a pri tom rade sa vrlo malom snagom. Najpovoljnije su visine za ovu vrstu ozvučavanja 3,5 do 7 m, ali efikasnost sistema je praktično proverena i za visine preko 12 m (u relativno povoljnim akustičkim uslovima, pri jako apsorbujućoj tavanici).

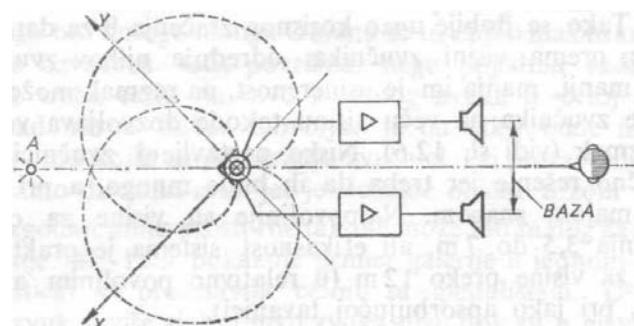
Slika 6.6. Postavljanje zvučnika u sistemu došaptavanja (θ je ugao za koji intenzitet zvuka jednog zvučnika opadne za 6 dB)

6.5. STEREOFONSKO OZVUČENJE

Ovo ozvučenje najčešće nalazi primjenu u stambenim i sličnim manjim prostorijama u cilju slušanja snimljene stereofonske muzike sa ploča i traka.

Stereofonski snimak se pravi pomoću dva mikrofona sa usmjerениm prijemom, postavljeni jedan neposredno iznad drugog, a orientisana na dvije razne strane (vidi sliku 6.7). Za svaki mikrofon postoji nezavisni kanal sve do zvučnika na mjestu prijema. Na ovaj način se

ostvaruju intenzitetne razlike reprodukovanih zvuka, na osnovu kojih slušalac zaključuje da se izvor zvuka nalazi pomjeran bliže onom zvučniku koji daje jači zvuk. (Kod dva potpuno jednaka kanala jači zvuk će očigledno dati zvučnik čiji je mikrofon primio jači signal, što opet zavisi od položaja izvora). Ako je izvor bio u sredini (tačka A), onda su signali iz oba zvučnika jednaki, pa i slušaocu izgleda kao da se izvor nalazi tačno između dva zvučnika, u sredini tzv. baze.



Slika 6.7. Stereofonsko snimanje i reprodukcija

S obzirom da su mikrofoni praktično na istom mjestu, nema vremenskih razlika između signala koji se reprodukuju preko lijevog i desnog zvučnika. To znači da se kod ovakvog stereofonskog prenosa odustaje od vremenskih razlika, za koje se inače zna da su također potrebne za kompletan prostorni utisak. Odustajanje od vremenskih razlika (i faznih razlika koje se javljaju kao poslijedica) bilo je potrebno da bi se sabiranjem lijevog i desnog signala mogao dobiti veran (kompatibilan) signal za monofonsku reprodukciju preko jednog zvučnika.

Nepostojanje vremenskih razlika između signala lijevog i desnog zvučnika važi i za slušaoca, ali samo ako zauzima centralni položaj, kakav je dat na slici 6.7. Ako se slušalac pomjeri izvan ose, prilazi bliže jednom zvučniku i javljaju se vremenske razlike koje već za malo udaljavanje od ose postaju veće od prirodnih, pa »premeštaju« izvor u bliži zvučnik (Haasov efekt). Prostorni utisak može biti veran samo u uskoj zoni između dva zvučnika, pa i onda sveden samo na područje baze, bez mogućnosti da se izvor locira gore, pozadi ili sa strane.

S snagom zračenja ovih stereofonskih uređaja obično se preteruje. Za normalnu stambenu prostoriju ($V=60\text{m}^3$, $T=0,4\text{s}$) i za nivo zvuka od 106 dB ($p=4\text{Pa}$) dobija se:

$$P = \frac{4^2 \cdot 60}{1 \cdot 0,4} \cdot 10^{-2} = 24\text{W}$$

Ovaj iznos se ne deli na dva zvučnika, s obzirom da se može desiti da se izvor »javlja« samo iz jednog zvučnika. Zaključak je iz napred izloženog da je stereofonski uređaj snage 2 x 30 W vrlo razumna gornja granica. Jedino se kod nekih zvučničkih kutija malih dimenzija može desiti da njihov stepen iskorištenja bude izuzetno mali, npr. 0,3%, i tek onda postoji realna potreba za većom električnom snagom.

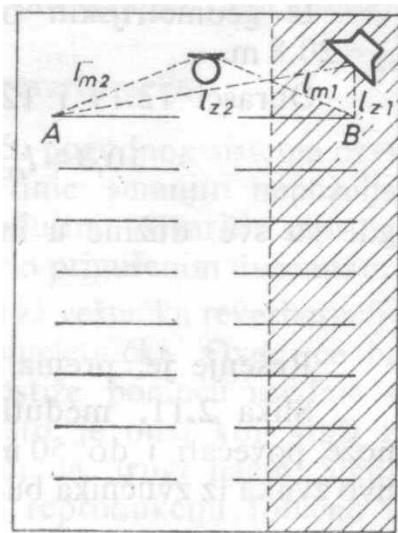
Na kraju treba dodati da se zvuk stereofonski reprodukuje nekad i u bioskopima, dakle u izuzetno velikim prostorijama, samo u tom slučaju ne radi se o

dvokanalnorn, nego o višekanalnom sistemu. Svaki sektor platna ima svoj zvučnik, smešten iza platna, koji reproducuje zvuk onog izvora koji se vidi na tom djelu platna. Na taj način je za cijelu dvoranu ostvareno poklapanje vidne i zvučne ose i to utoliko bolje, ukoliko je broj sektora veći. Za dočaravanje zvučnog ambijenta služe u bioskopu zvučnici postavljeni u dvorani, isti onakvi i onako raspoređeni kao što je opisano u poglavlju 6.7.

6.6. UREĐAJI ZA KAŠNJENJE

Uređaji za kašnjenje imaju još veći značaj u prostorijama nego pri ozvučavanju otvorenog prostora. Oni treba da doprinesu što boljem poklapaju vidne i zvučne ose i da onernoguće pojavu dvostrukog zvuka. Kako je već naglašeno, i jedno i drugo ima veliki uticaj na kvalitet prenosa.

Uređaji za kašnjenje primjenjuju se i kod centralnog i kod sektorskog ozvučavanja. Primjer centralnog ozvučavanja su zvučnik i mikrofon na slici 6.8. U šrafiranom djelu prostorije zvuk iz zvučnika dolazi ranije do slušalaca nego zvuk govornika i zato se vidna i zvučna osa ne poklapaju. U nešrafiranom djelu rad zvučnika se ne primecuje ako njegovo pojačanje nije preterano veliko i ako njegov zvuk kasni za zvukom govornika između 5 i 30 ms.



Slika 6.11. Uređaj za kašnjenje

Da bi se promjenili odnosi u šrafiranom djelu može se udesiti da zvuk iz zvučnika dolazi sa zakašnjnjem, tako da zvuk govornika ipak ranije stigne do slušalaca. Najkritičnije je mjesto B jer tu najveća razlika između udaljenosti mikrofona (govornika) l_{m1} i udaljenosti zvučnika l_{z2} .

Ukupno zakašnjenje zvuka iz zvučni ka treba da je veće od 5 ms, to znači da treba da bude $\geq 5\text{ms}$

Kod centralnog ozvučavanja ni uređaj za kašnjenje ne daje uvijek zadovoljavajuće tešenje položaja zvučnog izvora. S obzirom na cenu ovakvih uređaja, bolje je, kad god je moguće, potražiti rješenje li približavanju zvučnika mikrofonu. Naročito je povoljno postaviti zvučnik iznad

mikrofona jer tada ne samo da je poklapanje vidne i zvučne ose bolje, nego i zvuk koji dolazi iz zvučni ka uvijek zaostaje za zvukom govornika (osim nekad za mesta koja su na galeriji).

Kod sektorskog ozvučavanja je upotreba uređaja za kašnjenje obavezna ukoliko se teži za višim kvalitetom prenosa (koncertne i pozorišne sale). Bez toga se u maloj dvorani zvučni izvor »premešta« na apsurdno mjesto - u najbliži zvučnik - a u velikoj dvorani se pored toga javlja dvostruki zvuk. Tako nešto bi se, npr., desilo u slučaju na slici 6.5.

. Osnovno je voditi računa da zvuk iz zvučnika u cijeloj zoni jednog zvučnika treba da stigne poslije direktnog zvuka, ali da ovo zakašnjenje ne smije da prelazi 30 ms. To nameće dosta veliku preciznost pri podešavanju rada uređaja.

6.7. UREĐAJI ZA VJEŠTAČKU REVERBERACIJU

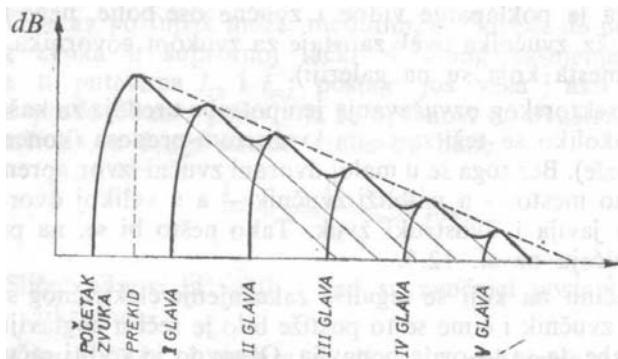
Ranije je objašnjeno kako se pomoću pogodnog sistema ozvučavanja može pojačati direktni zvuk i time smanjiti nepoželjan uticaj velike reverberacije. Moguće je, međutim, ostvariti i suprotan efekt - povećati vreme reverberacije u vrlo prigušenim dvoranama.

To se postiže pomoću raznih uređaja za vještačku reverberaciju, koji su ili čisto elektronski, ili elektromehanički. Ovde će biti principijelno objašnjeno kako se to postiže pomoću uređaja sa magnetnom trakom (vidi sl. 9.17) kao što je onaj koji služi za kašnjenje zvuka, samo što ono ovde radi na drugi način. Signal koji redom prenose magnetne glave za reprodukciju (obično ih ima bar četiri ili pet, a ne dvije kao na sl. 9.17) vodi se na brojne zvučnike rastu rene po dvorani. Izlazni naponi magnetnih glava podešeni su tako da opadaju kod svake naredne glave za isti broj decibela. Na isti način opada i zvučna energija koju u jednakim vremenskim razmacima emituju zvučnici. Pojačanja nema, nego je čak i sa prve glave reproducirana zvučna energija manja od zvučne energije izvora.

Način kako se postiže povećanje vremena reverberacije prikazan je na slici 6.9. Zvučnici vraćaju povremeno dio zvučne energije, i to difuzno, iz svih pravaca, dakle čine isto što i zidovi koji odbijaju zvuk. Razlika je samo u tome što zidovi vraćaju energiju neprekidno, li svakom trenutku, a ovde se to događa u skokovima. Ipak, razlika nije primetna ako razmak glava nije veliki. Prednost ovakvog uređaja je što se (promjenom brzine trake, odnosno promjenom razmaka ili promjenom slabljenja glava) vreme reverberacije može mijenjati. Na taj način ista dvorana može bez ikakvih preuređenja uspešno da posluži za razne programe koji traže različito vreme reverberacije (govor, muzika). Pored toga, nema ni teškoća da se električnim putem dotera frekventna zavisnost vremena reverberacije.

Sve to znači da se akustički uslovi slušanja mogu u pogledu difuznosti zvuka i vremena reverberacije mijenjati ti vrlo širokim granicama. Drugim riječima,

mogu se dočarati zvučni utisci vrlo različitih ambijenata. Zato ovakvi uređaji imaju naziv ambiofonski.



Slika 6.9. Vještačko povećavanje reverberacije

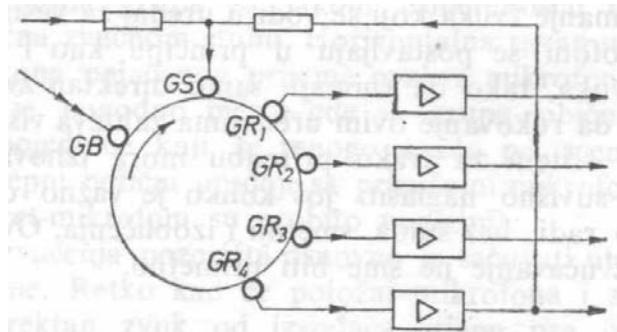
Da ne bi za veliko vreme reverberacije razmak glava bio suviše veliki, odnosno da se ne bi morao koristiti uređaj sa velikim brojem glava, može se signal sa poslijednje glave ponovo vratiti na glavu za snimanje (vidi sliku 6.10), tako da se opadanje istog signala nastavlja i dalje od glave do glave, teorijski do beskonačnosti.

Kod uređaja za ambiofoniju visokog kvaliteta ne primaju svi zvučnici signale sa svih glava za reprodukciju, nego se zvučnici podijele na onoliko grupa koliko ima glava i svaka grupa se vezuje samo za jednu glavu. Podjela zvučnika na grupe vr*i* se sasvim proizvoljno, bez reda, ali ipak treba paziti da ni u jednoj grupi nema zvučni ka koji je tako postavljen da reprodukuje zvuk prije nego što direktni zvuk stigne do tog mjesta. To znači, npr., da se u udaljenim delovima sale ne mogu nalaziti zvučnici koji li vezani za prvu po redu magnetnu glavu (GR_1).

Umjesto uređaja sa magnetnim glavama nekad se koristi i tzv. reverberaciona prostorija koja ima ono vreme reverberacije koje bi trebalo da ima dvorana. Zvuk koji primaju mikrofoni u dvorani reproducuje se preko zvučnika postavljenog u reverberacionoj prostoriji, ponovo snima mikrofonom i kao reflektovani zvuk sa novom reverberacijskom vraća u odgovarajućoj jačini do zvučnika ili dvorani. Ovakva reverberacija zvuči prirodnije, ali se ne može lako i brzo mijenjati.

Pored reverberacione prostorije, može se koristiti i tzv. reverberaciona ploča. To je metalna ploča čije slabo prigušene vibracije zamjenjuju reverberaciju prostorije. Reverberacija se i ovde može mijenjati.

Dodajmo, najzad, da se danas sve više primjenjuju digitalni uređaji za vještačku reverberaciju.



Slika 6.10. Uređaji za ambiofoniju sa beskonačnom magnetnom trakom na obrnoj ploči, sa četiri glave za reprodukciju (GR) i sa povratnim dejstvom na glavu sa snimanje (GS)

Dok je u svim prethodnim slučajevima označavanja pravilo bilo da se zvučnici raspoređuju simetrično, kod vještačke reverberacije bolje je da raspored bude nepravilan, skoro proizvoljan. Time će se postići da »reflektovani« zvuk dolazi sa svih strana, kao li prostoriji čija je difuznost dobra. Zvučnike treba postaviti dalje od gledalaca (kako ovi ne bi dobili pogriješan utisak da im reverberacija dolazi sa jednog mesta) i ne treba ih orijentisati prema gledaocima, nego naprotiv u pravcu takvih površina koje jako »razbijaju« zvuk. Obično je dobro postaviti ih visoko i usmjeriti ukoso prema tavanici.

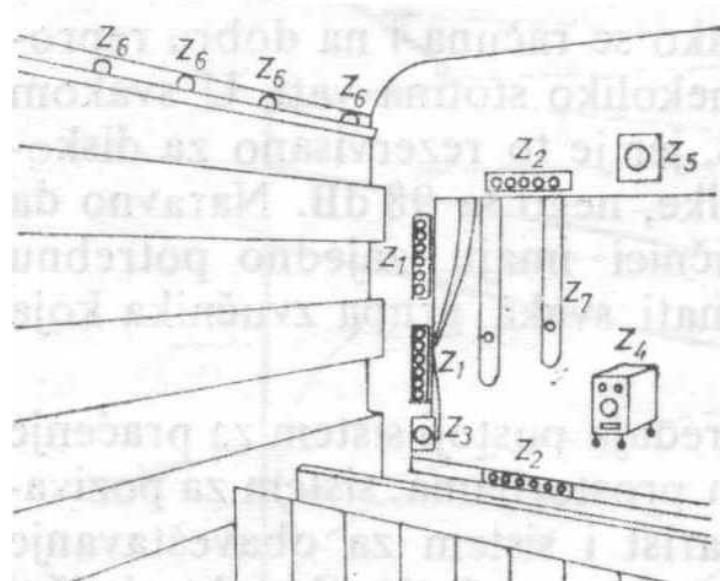
Problem nedovoljne reverberacije obično ne postoji na najnižim frekvencijama i zato se mogu koristiti manji i jeftiniji zvučnici, samo za srednje i više frekvencije. To je važna prednost, jer ukoliko više ima zvučni ka, utoliko bolje.

Za snimanje zvuka koji se vodi u uređaj za vještačku reverberaciju mikrofoni se postavljaju u principu kao i za normalno pojačanje zvuka, tako da snimaju samo direktni zvuk. Važno je napomenuti da rukovanje ovim uređajima zahtjeva visoku stručnost i da se cijeli sistem za svaku priredbu mora iznova podešavati. Možda nije suviše naglasiti još koliko je važno da cijeli sistem besprekorno radi bez šuma, smetnji i izobličenja. Ovde, više nego bilo gdje, ozvučavanje ne smije biti primetno.

PRIMJERI OZVUČAVANJA PROSTORIJA

7

poglavlje



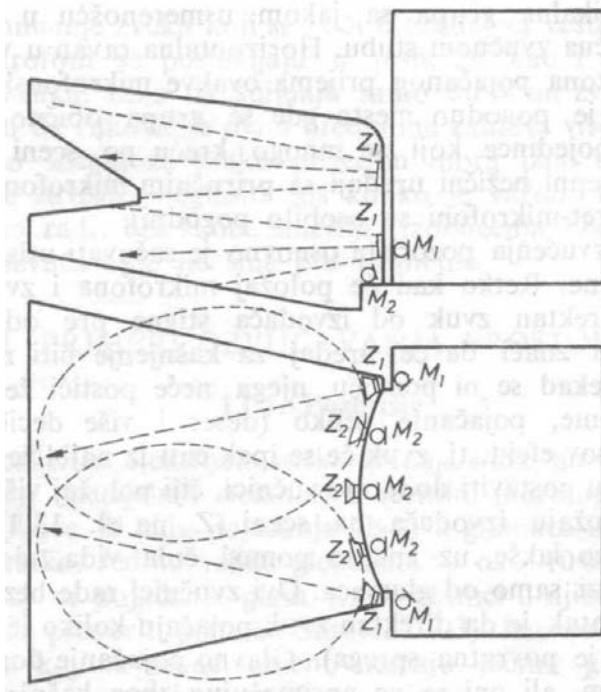
Ozvučavanje opere

7. PRIMJERI OZVUČAVANJA PROSTORIJA

7. 1. POZORIŠTE

U pozorištu elektroakustički uređaji služe na prvom mjestu za postizanje specijalnih efekata: za scensku muziku, za šurnove i za razne trikove. U cilju pojačanja glasova glumaca upotrebljavaju se veoma retko. Jedino velika gledališta sa oko 10000 m^3 može u imati uređaj za pojačanje glasa jer se glumci u njima slabo čuju. Izuzetak su muzička pozorišta u kojima pevači obično nemaju jačinu glasa operskih pevača, pa im je potrebno ozvučenje. Neretko se traži da se i zvuk orkestra u ovakvim pozorištima pojača.

S obzirom da su pozorišne dvorane obično akustički dobre, dopunsko ozvučenje bi se moglo izvesti i pomoći pojedinačnih zvučnika, odnosno višepojasnih zvučničkih kombinacija. Ipak se sa više uspeha primjenjuju zvučni stubovi. Oni se postavljaju lijevo i desno u portalu pozornice. Ako postoji galerija (vidi slici 7.1), moraju se, radi dobrog prijema visokih frekvencija, upotrebiti posebni zvučni stubovi za parter, a posebni za galeriju. Mora se postaviti i lijevo i desno po jedan zvučni stub i za parter i za galeriju - dakle ukupno četiri, kao što je dato isprekidanim linijom na slici 7.1 (Z_1). Ako je moguće, treba pokušati da se bar galerija ozvuči centralno postavljenim zvučnim stubom iznad pozornice.



Slika 7.1 - Ozvučavanje pozorišta

Proračun veličine zone dobrog prijema nema u ovom slučaju mnogo značaja jer su gledališta, kako je već riječeno, najčešće akustički dobra. Položaj mikrofona negde na sceni, bočno u portalu (M_1 , na sl. 7.1) ili na prosceniju (M_2) takav je da nema velike opasnosti od povratne sprege, pa neće biti teško da se ostvari dovoljno pojačanje. Naravno, obavezno se upotrebljavaju mikrofoni sa usmjerenim prijemom. Nekad se čak od više

mikrofona formira vertikalna grupa sa jakom usmjerenošću u vertikalnoj ravni, identična zvučnom stubu. Horizontalna ravan u visini glave glumaca je zona pojačanog prijema ovake mikrofonske grupe, a portal (M_1) je pogodno mjesto gdje se grupa obično postavlja. Najzad, za pojedince koji se mnogo kreću po sceni moraju se predvidjeti džepni bežični uređaji sa priručnim mikrofonom. (Minijatu rni elektret-mikrofoni su osobito pogodni).

Kod ozvučenja pozorišta osnovno je sačuvati utisak da zvuk dolazi sa scene. Retko kad će položaj mikrofona i zvučnika biti takav da direktni zvuk od izvođača stigne prije od zvuka iz zvučnika. To znači da će uređaj za kašnjenje biti neophodan. Na žalost, nekad se ni pomoću njega neće postići željeni efekt. Ako je, naime, pojačanje veliko (deset i više decibela), neće pomoći Haasov efekt, tj. zvuk će se ipak čuti iz najbližeg zvučnika. Tada se mogu postaviti dodatni zvučnici, čiji položaj više odgovara realnom položaju izvođača na sceni (Z_2 na sl. 7.1), tako da postaje mnogo lakše, uz znatnu pomoć čula vida, dobiti utisak da glas dolazi samo od glumaca. Ovi zvučnici rade bez kašnjenja, a njihov zadatak je da direktni zvuk pojačaju koliko je to moguće (ograničenje je povratna sprege). Glavno pojačanje donose i dalje bočni zvučnici, ali oni se ne »prirećuju« zbog kašnjenja. Moglo bi se pomisliti da bi, s obzirom da postoje bočno postavljeni zvučnici, u pozorištu mogao uspešno da funkcioniše stereofonski prenos i da bi se tako, i bez sistema za kašnjenje, mogao dobiti veran utisak položaja izvođača po cijeloj širini baze (pozornice). Čak i kad bi se mogao uspešno rešiti problem postavljanja stereofonika, što nije lako, stereofonski efekt bi se ostvario samo u uskoj sredini gledališta, dok bi gledaoci sa strane, a to je najveći deo, imali utisak da zvuk dolazi samo iz bližeg zvučnika.

Zaključak je da je stereofonska reprodukcija zvuka u pozorištu, pri takvoj veličini slušališta i pri takvom razmaku glavnih zvučnika, diktiranim širinom pozornice, tehnički vrlo složen problem, koji se praktično i ne može riješiti na potpuno zadovoljavajući način.

Međutim, bez obzira na stereofonski prenos, bolje je za leve i desne zvučnike imati posebne kanale. Preko tih zvučnika mogu se tada reproducovati i razni zvučni efekti koji treba da dolaze samo s jedne strane pozornice. Za glasove i zvuke koji dolaze odozgo (grmljavina) u gledalištu se obično nalazi još jedan zvučnik iznad pozornice, također na posebnom kanalu. Pored njega, u dvorani se često nalaze i drugi zvučnici, razmešteni svuda po sali, obično u gornjim delovima, koji se koriste za razne druge, a prije svega za ambiofonske efekte. Za razne ostale zvučne efekte obično se kombinuje i dejstvo zvučnika koji se nalazi na pozornici, iza kulisa, kako bi se postigli različiti utisci prostora. Na pozornici se uvijek koriste bar dva zvučnika, Time su ornogućeni eventualni stereofonski efekti (prolazak vozila sa jednog kraja na drugi). Očigledno je da ovi zvučnici treba da budu pomoći da bi se mogli upotrebiti u raznim situacijama. Oni inače nikad ne služe za pojačanje glasa, jer su u nepovoljnem položaju u odnosu na mikrofone.

Ni u akusučki vrlo dobro obrađenim pozorišnir dvoranama često nije potrebno pojačavati ravnomjerno sve frekvencije. Obično su više frekvencije jače apsorbovane nego niže, pogotovo na udaljenim mjestima. Zato je dovoljno da zvučni stubovi i ostali zvučnici u dvorani prenose samo frekvencijski opseg iznad približno 250 Hz. To dopušta da se upotrebe manji zvučnici koji ne bi mogli da posluže za reprodukciju dubokih tonova. Za duboke tonove, koji se, kad se prenosi scenska muzika, ne mogu izostaviti, koriste se li takvom slučaju posebni dubokotonski zvučnici. Njihov položaj i usmjerenost nemaju naročitog značaja jer uho praktično nije osjetljivo na pravac zvuka najnižih frekvencija. Zato se mogu smestiti na najpogodnijern mjestu.

Snaga uređaj a za ozvučenje, ako se računa i na dobru reprodukciju muzike, može da iznosi i nekoliko stotina vati. U svakom slučaju ne treba računati sa 106 dB, jer je to rezervisano za diskoklubove i koncerte popularne muzike, nego sa 98 dB. Naravno da nije dovoljno da svi ugrađeni zvučnici imaju zajedno potrebnu snagu, nego toliku snagu mora imati svaka grupa zvučnika koja u datoju prilici samostalno radi.

U pozorištu pored opisanih uređaja postoji sistem za praćenje programa po garderobama i drugim prostorijama, sistem za pozivanje i komandu kojim rukuje scenarist i sistem za obavljevanje publike. Svi ovi sistemi ozvučavanja nisu, međutim, karakteristični samo za pozorište, nego pripadaju ozvučavanju javnih i kancelarijskih prostorija uopšte i biće zato komentarisani na drugom mjestu.

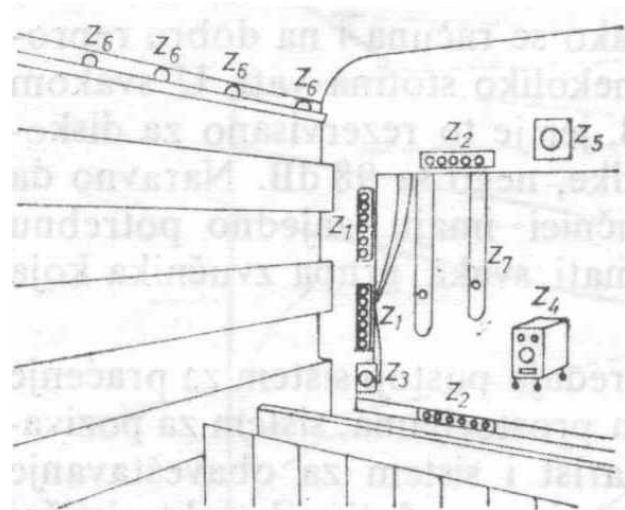
7.2. OPERA

Ozvučavanje opere u mnogo čemu je slično ozvučavanju pozorišta, s tom razlikom što ovde cijeli uređaj služi uglavnom za efekte i za nevidljive izvođače, dok se skoro nikad ne upotrebljava za pevače koji su na pozornici. Razlog leži sigurno u neresivim problemima oko apsolutno verne reprodukcije, ali i u tradiciji da u operi pevač mora da pokaže stvarnu snagu i ljepotu svog glasa.

Za osnovno ozvučenje služe zvučni stubovi sa oba kraja portala pozornice, od kojih su jedni postavljeni vertikalno (Z_1 na slici 7.2), a drugi horizontalna (Z_2 na slici 7.2). U samim zvučnim stubovima zvučnici su različito usmjereni. Sve je to precizno doterano sa glavnim ciljem da se više frekvencije usmjeri ka svim delovima dvorane. Za reprodukciju niskih frekvencija služe posebni zvučnici (Z_3). Snaga svih ovih zvučnika ispred pozornice za veliku opersku salu sa oko 3 000 mjesta iznosi 1 000 W od čega pola otpada na dubokotonske zvučnike.

Pojačanje orkestarske muzike u operi u principu nije potrebno. Položaj orkestra u ukopanom prostoru ispred pozornice je dobar dok orkestar prati pevača. Ali za vreme uvertire ili simfonijskih intermeča takav položaj postaje vrlo nezahvalan jer je direktni zvuk orkestra koji dopire do slušalaca suviše slab. U takvim prilikama mogu se zvučnici oko pozornice priključiti na posebne mikrofone u orkestarskom prostoru i tako orkestar akustički »dovesti na binu«. Potpunosti zvučnog utiska dobiceemo

prelaskom na stereofonski prenos i uključivanje uređaja za ambiofoniju (vidi kasnije).



Slika 7.2. Ozvučavanje opere

Za specijalne zvučne efekte služe zvučnici na pozornici iza kulisa (Z_4 120 W) i iznad pozornice (Z_5 120 W). Isti zvučnici, zajedno sa zvučnicima ispred pozornice (Z_1 , Z_2 i Z_3) mogu reprodukovati u gledalište glasove solista, hor i orkestar koji treba da se čuju iza scene. Time je rešen problem ne samo zvuka (koji se inače teško probijao kroz zavese i kulise) nego i smeštaj a ovih ansambla. Umes to guranja oko scene, oni sad mogu izvoditi program iz nekog podesnog studija u zgradbi.

Treba imati na umu da se i zvuk zvučnika Z_4 mora probijati kroz zavese i kulise. Kako tekstilna materija izrazito jače slabi visoke frekvencije treba na odgovarajući način korigovati frekventnu karakteristiku.

U velikim operama, u težnji da se gledaoci što više približe pozornici (što je sa gledišta akustičkog i vizuelnog kontakta ispravno), često je zapremina dvorane suviše mala u odnosu na broj gledalaca (u prosjeku $3,5 \text{ m}^3$ po gledaocu). Poslijedica toga je relativno velika apsorpcija gledalaca, a samim tim i suviše kratko vreme reverberacije naročito na srednjim i višim frekvencijama. Takvi uslovi ne odgovaraju ni izvođačima ni slušaocima. Zato u operama jednaku važnost kao uređaj za pojačanje direktnog zvuka ima i uređaj za ambiofoniju. Brojni zvučnici (Z_6 ukupna snaga oko 500W) postavljeni su iznad najviše galerije i okrenuti li raznim pravcima, ali nikako prema gledaocima, tako da oponasaju što bolje prenose reflektovani zvuk i da povećaju difuznost dvorane. Oni su priključeni na uređaj za vještačku reverberaciju, za koji su mikrofoni postavljeni na način koji je već opisan u 6. poglavljiju. Još se bolja sličnost sa prirodnom reverberacijom dobija ako se ovom zvuku paralelno dodaje reflektovan zvuk i sve zajedno vodi na uređaj za ambiofoniju. Mikrofoni koji »hvataju« reflektovani zvuk ne nalaze se u dvorani, jer bi tu izazvali akustičku povratnu spregu, nego su na pozornici i to iznad otvora, kako bi bili izvan smjera koji ima direktni zvuk pevača i orkestra. Oni, dakle, prenose reflektovan zvuk pozornice koja ovde služi kao neka vrsta pomoćne reverberacione prostorije.

Poseban značaj u operi imaju zvučnici koji se nalaze na pozornici duboko sa strane (Z_7) i koji prenose muziku orkestra izvođačima koji čekaju trenutak da nastupe. To je sasvim odvojen lanac ozvučavanja sa jakom kompresijom dinamike, kako bi-se postiglo da se i »pianissirno« orkestra jasno čuje, a da »fortissirno« ne bude jak ili ne preoptereti zvučnike. Ovi zvučnici se ne čuju u gledalištu.

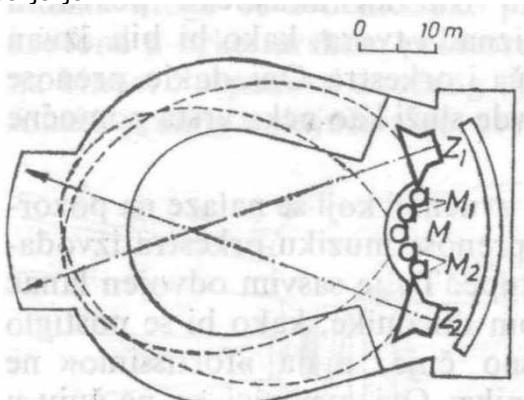
Zbir snage svih uređaj a u velikoj operskoj dvorani za 3000 gledalaca daje zamašan iznos od preko 1500 W. Uzimajući u vidu da je $V=10000 \text{ m}^3$, a $T=1,1\text{s}$ (prosječne vrijednosti velikih operskih dvorana) dobija se za nivo od 99 dB (1,6 Pa) snaga $P \approx 230\text{W}$.

To je znatno manje od instalisane vrijednosti, ali treba ovde imati na umu da ne rade uvijek sve grupe zvučnika (Z_1 do Z_6 na slici 7.2) istovremeno, zatim da je, zbog što manjih izobličenja, bolje da ni zvučnici ni pojačavači nisu pod punim opterećenjem, i najzad da se nekad, zbog verne reprodukcije muzike (balet bez prisutnog orkestra), traži i viši nivo od 98 dB.

Uređaji koji se montiraju u savremenim pozorištima i operama po kvalitetu i tehničkим mogućnostima u principu su ravni studijskim uređajima za snimanje zvuka za radio-televizijske prenose, a po složenosti ih nekad čak i prevazilaze. Jedino ako finansijski uslovi to diktiraju, mogu se za manja pozorišta (kao uostalom i za lokalne radio-stanice) koristiti tzv. poluprofesionalni uređaji.

7.3. KONCERTNA I UNIVERZALNA DVORANA

Ozvučavanje koncertne dvorane koja služi za koncerete tzv. klasične muzike jedna je od najmanje potrebnih elektroakustičkih intervencija. Jedino ako se radi o izuzetno velikim dvoranama može se javiti potreba da se neznatno pojača glas vokalnih solista i nekih instrumenata. Jedan mikrofon i jedan zvučni stub iznad mikrofona su dovoljni. Ako nema mogućnosti da se zvučni stub tako postavi, onda se može ići na dva simetrično postavljena zvučna stuba (Z_1 i Z_2 na slici 7.3). Bolje je kad se ose ovih stubova ukrštaju negdje u sredini dvorane. Tada je slušaocima koji sjede sa strane jači onaj zvuk koji dolazi iz udaljenijeg zvučnika, pa se time donekle kompenzira vremenska prednost bližeg zvučnika (Haasov efekt). Naravno da ova potreba otpada ako se zvučnicima dovodi signal sa odgovarajućim kašnjenjem.



Slika 7.3 - Ozvučavanje koncertne dvorane

Kad se, međutim, radi o koncertima zabavne muzike, onda je ozvučenje koncertne dvorane neophodno. Što se tiče poklapanja vidnog i zvučnog utiska najbolje rješenje bi bilo kad bi svaki mikrofon imao svoj zvučnik (zvučni stub) na odgovarajućem mjestu iznad podijuma, ili kad bi se bar levi, srednji i desni mikrofoni (M_1 , M i M_2 na slici 7.3) vodili na tri isto tako raspoređena zvučnika, (Teorija pokazuje da je opasnost od povratne sprege manja kad svaki mikrofon ima svoj pojačavač i zvučnik, nego kad se svi ulazni signali »pornešaju« i vode na sve zvučnike).

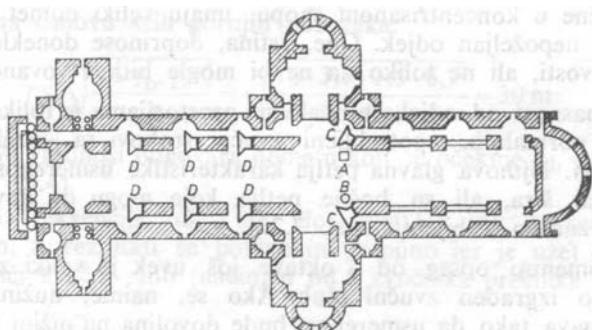
Treba naglasiti, međutim, da je veran prostorni efekt kod koncerta ove vrste često manje važan. Daleko je važnije da se u svim delovima dvorane sve čuje, bez obzira sa kog mesta zvuk dolazi (što bi bilo prvo pravilo i za jednu kongresnu dvoranu), i zatim da to što se čuje bude dovoljno gласно, da ne kažemo prejaka. Tome principu treba onda podrediti raspored i snagu zvučnika.

U kompletnoj instalaciji za ozvučenje ovih (a i drugih) koncerata dobro mogu poslužiti i ambiofonski zvučnici u dvorani za efekt reverberacije, a potrebni su i posebni zvučnici na podiju (koji rade sa manjom snagom) da bi izvođači sebe čuli i kontrolisali.

Nije na odmet dodati na kraju da i pored kompletног sistema za ozvučavanje kakav može da ima jedna univerzalna (višenamenska) dvorana mnogi ansambl donose na koncerте svoje uređaje za ozvučenje i isključivo njih upotrebljavaju.

7.4. CRKVA

Ozvučavanje crkve jedan je od najtežih elektroakustičkih zadataka zbog izuzetno nepovoljnih akustičkih uslova. Pri tome se ne misli na crkvenu muziku koja se i danas vrlo često koncertno izvodi u crkvama, dakle u originalnom ambijentu za koji je pisana, nego na razumljivost govora.



Slika 7.4 - Ozvučavanje katedrale

Uslovi prijema direktnog zvuka u crkvama vrlo su nepovoljni. Razlog su brojni stubovi i nepodesan oblik u osnovi - ili jako izdužen, ili u vidu krsta, tako da se slušaoci nalaze sa tri strane govornika. Zatim, brojna udubljenja (lađe, oltari, kapele) i kubeta mogu izazvati nepoželjne fokusacije zvuka i druge akustičke defekte, ali, dodajmo odmah, mogu djelovati i difuzno, što zavisi od veličine i položaja. U stvari, ove nepravilnosti forme zidova povećavaju površinu, a to znači i ukupnu apsorpciju, ali je, zbog primjene isključivo »tvrdih« materijala, vreme reverberacije i pored toga vrlo veliko i

iznosi više sekundi. To jako otežava slušanje, čak ako je intenzitet direktnog zvuka dovoljan.

Slične akustičke karakteristike imaju mnoge prostorije »tvrdih« zidova i nepravilnog oblika koje nisu građene za slušaonice, ali koje nekad, silom prilika, treba da posluže za reprodukciju govora (hale, izložbeni paviljoni, čekaonica i sl.). Tako shvaćeno, ozvučenje crkve ima poseban i širok značaj.

Kao primjer data je na sl. 7.4 osnova velike katedrale od 140000 m^3 , čije vreme reverberacije, čak i u prisustvu brojne publike, iznosi oko 8 s. Sa A i B su označeni položaji govornika, sa C zvučni stubovi koji služe za ozvučavanje centralnog prostora, a sa D zvučni stubovi za ozvučavanje lađe. Pomoću elektroakustičkog uređaja nije pojačano cijelo područje audio-frekvencija, nego samo suženi opseg između 250 i 4000 Hz, dakle ukupno 4 oktave. Ispitivanja su pokazala da je u uslovima vrlo velike reverberacije bolje izostaviti kako najniže, tako i najviše frekvencije. Prve ne doprinose ništa razumljivosti govora, a imaju najdužu reverberaciju, pa prema tome i najjače ometaju. Druge su zračene u koncentrisanom snopu, imaju veliki domet i mogu izazvati nepoželjan odjek. One, istina, doprinose donekle boljoj razumljivosti, ali ne toliko da bi mogle biti žrtvovane.

Opasnost od odjeka u ovakvim prostorijama je tolika da su, umjesto normalnih, upotrebljeni zvučni stubovi sa »smaknutim« zračenjem. Njihova glavna petlja karakteristike usmjerenosti nešto je, istina, šira, ali su bočne petlje, koje mogu da dovedu do odjeka, znatno slabije (vidi sl. 7.22).

Pomenuti opseg od 4 oktave još uvijek je veliki za jedan normalno izgrađen zvučni stub. Ako se, naime, dužina stuba proračunava tako da usmjerenošć bude dovoljna na nižim frekvencijama, onda će na višim: vertikalni ugao zračenja biti suviše mali i neće pokriti cijelu površinu gdje se nalaze slušaoci. U primjeru koji se analizira usvojeno je takvo rješenje da su paralelni, jedan uz drugi, postavljena dva zvučna stuba, jedan duži za frekvencije od 250 do 1.000 Hz i jedan kraći za frekvencije I 000 do 4.000 Hz. Za razdvajanje je predviđena posebna električna skretnica.

Duži zvučni stub ima visinu 3,3 m. On je načinjen od II zvučnika (neparan broj zbog »smaknutog« zračenja) priječnika membrane 20 cm. Priječnik je određen tako da na gornjoj granici opsega (1 000 Hz) još uvijek bude pokriven cijeli horizontalni ugao koji iznosi 1400 (slika 7.4).

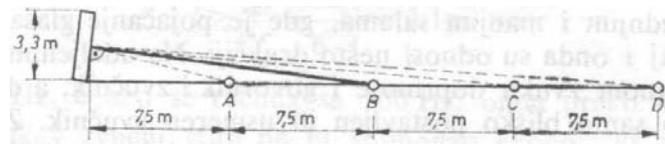
Vrijednost dometa koji se očekuje je oko 30m (slika 7.4).

Za frekvencije od 1.000 do 4.000 Hz tok proračuna je identičan, a rezultati se poklapaju potpuno jer je uzet tačno 4 puta kraći zvučni stub (načinjen od 9 zvučnika priječnika 65 mm)

Zvučni stubovi su postavljeni kao na slici 7.5. Položaj je eksperimentalno određen tako da nivo zvuka u tačkama A, B, C i D ne varira za pojedine frekvencije više od 10 dB.

Za zvučne stubove u prostoru lađe (D) potreban je manji domet i oni su u skladu s tim i proračunati. Električni

signal koji se vodi na svaki od tri para ovih zvučnika kasni za odgovarajući vremenski interval. Ova mera povećava je razumljivost (logatorna) sa 55% na 85% što je više nego dovoljno za potpuno razumevanje teksta.

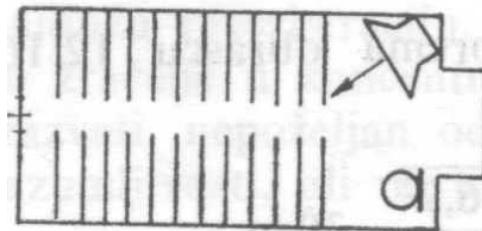


Slika 7.5. Položaj zvučnih stubova

U prostorima sa vrlo velikom reverberacijom, kakav je crkva, ozvučavanje pornoču zvučnih stubova može biti i nepovoljno ako izostanu ljudi na koje se računa da će apsorbovati prvi, direktni talas zvuka. Sistem što »razbijenijeg« sektorskog ozvučavanja, sa vrlo malim dometom velikog broja zvučnika daje onda bolje rezultate.

7.5. SVEČANA SALA

Većina svečanih sala koje služe za akademije i druge svečane skupove ima nepovoljne akustičke uslove. Zapremina im je često suviše velika za predviđen broj mesta, oblik suviše pravilan - često i polukružan, što je najnezgodnije - a vreme reverberacije suviše veliko. Ipak, ovakve sale bi se lako mogle akustički popraviti pornoču zvučnih stubova, kako je pokazano u prethodnom primjeru crkve, da nije jedne druge smetnje.



Slika 7.6. Ozvučavanje svečane sale

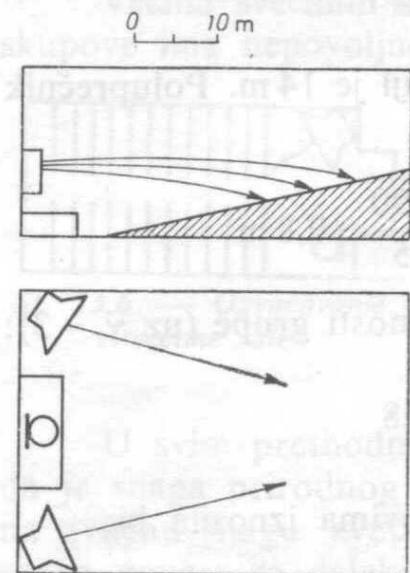
U svim prethodnim slučajevima polazilo se od pretpostavke da je snaga prirodnog zvučnog izvora (govornika) mala u odnosu na zvučnu snagu zvučnika. U velikim prostorijama, za koje je snaga govornika da i spod one koja je potrebna, uvijek je tako. Ali u srednjim i manjim salama, gdje je pojačanje glasa malo, to nije slučaj i onda su odnosi nešto drugačiji. Na udaljenim mjestima reflektovanom zvuku doprinose i govornik i zvučnik, a direktnom praktično samo blisko postavljen ili usmjerjen zvučnik. Zato se mora računati sa II čak i kad je upotrebljen samo jedan zvučni stub, kao na slici 7.6.

Sve uslove za dobru reprodukciju u ovakvim prostorima je teško ostvariti i takva situacija je u stvari čor-sokak iz kojeg se može izići samo tako da se zidne površine sale obrade apsorpcionim materijalom.

Inače, zaključak je prost: u sali, u kojoj nema izrazite potrebe za pojačanjem zvuka, ne mogu se popraviti uslovi slušanja elektroakustičkim putem.

7.6. SLUŠAONICA

Primjer slušaonice dat je na slici 7.7. S obzirom daje prostorija dosta široka, upotrebljena su dva zvučna stuba postavljena u uglove i ugrađena u zidu. Ose zvučnih stubova sekut se nekoliko metara iza zadnjeg zida, a orijentisane su prema glavama slušalaca u poslijednjim redovima.



Slika 7.7. Ozvučavanje slušaonice

Treba imati na umu da se zvučni talasi ne mogu prostrirati bez dodatnog slabljenja tangentno uz površinu koja tako apsorbuje i ujedno raspršuje zvuk, kao što je površina slušalaca. U takvim prilikama uvijek dolazi do prividnog savijanja zvučnih talasa (vidi sliku) i zato se zvučnici orijentisu malo navise nego što bi pravolinjsko prostriranje zahtjevalo. Ipak, najbolje je da se najpovoljniji uglovi utvrde merenjem,

7.7. KONGRESNE HALA

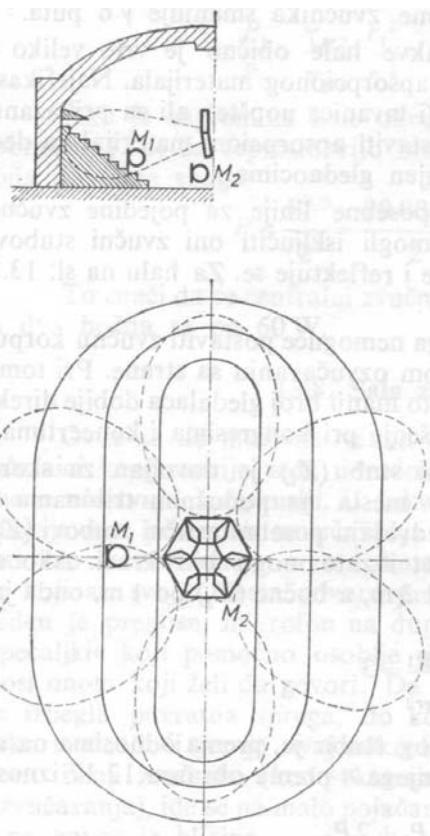
Ozvučavanje velike hale koja služi za sportske priredbe, kongrese, koncerte i izložbe može se izvesti sa centralno postavljenim zvučnicima. dvije od pomenutih vrsta priredaba diktiraju ovaj zahtjev: kongresi (radi poklapanja zvučne i vidne ose) i koncerti (još i zbog opasnosti pojave dvostrukog zvuka jer se orkestar direktno čuje u cijeloj hali).

Ako se hala ozvuči sektorski, ili delimično sektorski, što je u nekim slučajevima također vrlo pogodno, onda se za kongrese i koncerte moraju ili koristiti posebni, za tu priliku postavljeni zvučni stubovi, ili, ako se koriste i sektorski zvučnici, njima se mora voditi signal sa potrebnim zakašnjenjem.

Za opšte ozvučenje hale najbolje rješenje je upotrebiti centralno obešene zvučne stubove. U primjeru na slici 7.8 označavanje je sprovedeno pomoću 6 zvučnih stubova dužine 3 ID koji obrazuju viseću korpu („zvučna korpa“).

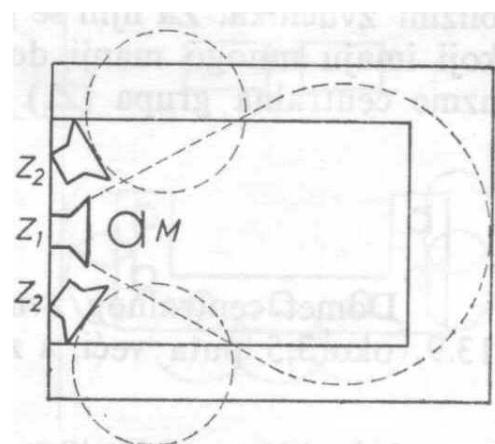
Zvučni stubovi su okrenuti tako da pokrivaju i parter i galeriju. Ipak, visoke frekvencije su suviše usmjerene i to

bi se odrazilo na smanjenu razumljivost u redovima daleko od ose zvučnog stuba, naročito u prvim redovima partera. Zato je dobro dugački zvučni stub »prelomiti« po sredini tako da jedan dio zrači prema galeriji, a drugi prema parteru. Pri proračunu zone direktnog zvuka n bi u ovom slučaju bilo na 1.000 Hz tek nešto veće od 6.



Slika 7.8. Ozvučavanje velike hale

Zvučna korpa se postavlja što je moguće niže, tek toliko da ne smijeta priredbama i gledaocima iz gornjih redova da vide cijeli teren. Pri tome je jedino srednji dio (teren) praktično neozvučen i to se popravlja stavljanjem posebnih zvučnika na dno »korpe«. Ovi dole okrenuti zvučnici se koriste samo za izložbe i sportske priredbe, a za kongrese i koncerte se isključuju, tako da se ispod njih mogu bez teškoća postaviti mikrofoni (M₂).



Slika 7.9. Bočno ozvučavanje sportske hale

Za sportske priredbe i izložbe postoji obično posebna spikerska kabina, ali nije nemoguće postaviti mikrofon i negdje na tribini (M_1) s obzirom na veliku udaljenost zvučnika i imajući na umu da se polupriječnik zone zvučni ka smanjuje $\sqrt{6}$ puta.

Vreme reverberacije ovakve hale obično je vrlo veliko i treba ga smanjiti postavljanjem apsorpcionog materijala. Najefikasnije mjesto je svakako kupola (i tavanica uopšte), ali za prikazano rješenje ozvučenja važno je postaviti apsorpcioni materijal na dio bočnih zidova koji nije zaklonjen gledaocima.

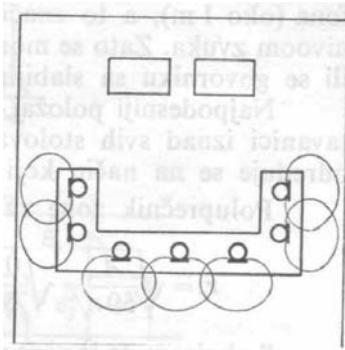
Dobro je predvidjeti i posebne linije za pojedine zvučne stubove u korpi, kako bi se mogli isključiti oni zvučni stubovi čiji snop udara u prazne tribine i reflektuje se. Za halu na slici 7.8 ukupna snaga je 400 ... 600 W.

Ako je iz bilo kojeg razloga nemoguće postaviti zvučnu korpu, onda se mora pribeti centralnom ozvučavanju sa strane. Pri tome će se voditi računa o tome da što manji broj gledalaca dobije direktni zvuk s leđa (nepovoljno rješenje pri kongresima i koncertima).

Na slici 7.9 jedan zvučni stub (Z_1) je dovoljan za skoro cijelu halu. Izuzetak su samo mjesta na podužnim tribinama u blizini zvučnika. Za njih se predviđaju posebni zvučni stubovi (Z_2) koji imaju mnogo manji domet i zato mogu biti kraći. Ako se uzme centralna grupa (Z_1) od 3 m, a bočne (Z_2) te volumen 20.000m^3 preračuna potrebna snaga dobivamo: $P \approx 370\text{W}$.

7.8. SALA ZA SJEDNICE

Ovde se ne misli na veliku dvoranu tipa slušaonice u kojoj učesnici konferencije sjede u redovima, slušaju govornika i povremeno učestvuju u diskusiji. U takvim slučajevima postupak ozvučavanja je isti kao za slušaonice, a za diskutante koji sa svojih mesta govore predviđen je prenosni mikrofon na dugoj »pečalki« koji pomoćno osoblje prinosi onom koji želi da govori. Da bi se izbegla povratna sprega, do koje lako može doći jer je ovaj mikrofon često blizu zvučnika (kod sektorskog ozvučavanja), ide se na malo pojačanje i na govor iz blizine.



Slika 7.10. Mikrofoni u sali za sjednice

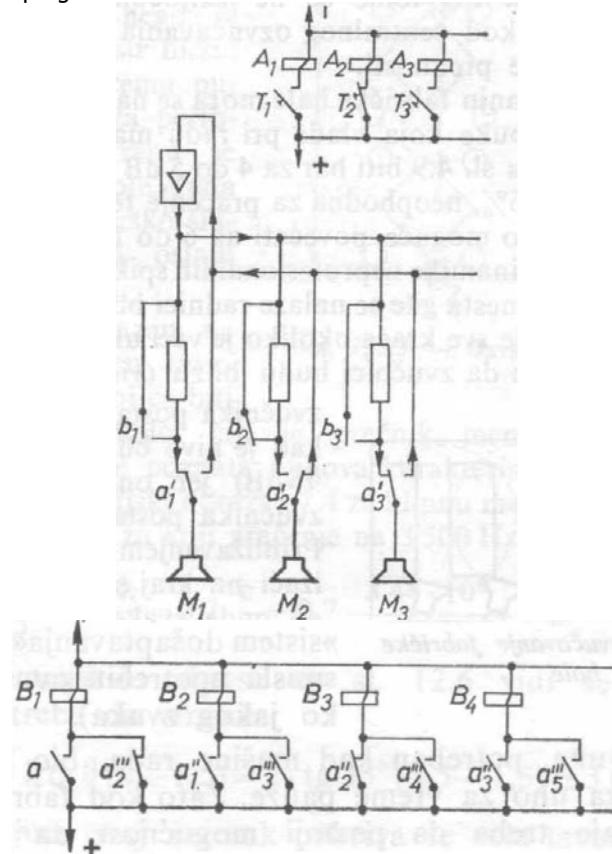
U ovom poglavlju riječ je o sali koja ima veliki sto proizvoljnog oblika za kojim sjede učesnici konferencije i u kojoj se nalaze i drugi stolovi gdje sjede stenografi i novinari. Veličina sale i veličina radnog stola su toliki da se diskutanti međusobno dobro ne čuju iako govore

normalnim glasom. Zato je potrebno predvidjeti sistem ozvučavanja.

Praksa pokazuje da je pojačanje od 17 dB moguće samo ako govornik govori na 20 cm od mikrofona. Za konferencije to je dosta težak uslov iako se, kako slika pokazuje, uvek radi sa većim brojem mikrofona. Obično se mora računati sa većom udaljenošću mikrofona (oko 1 m), a to znači sa mnogo manjim pojačanjem i nižim nivoom zvuka. Zato se mora ili odustati od ovakvog ozvučavanja, ili se govorniku sa slabijim glasom mora primaknuti mikrofon.

Ako iz bilo kojeg razloga nije moguće primaknuti mikrofon, a želi se da se i najmanje glasan govornik dobro čuje, onda se mora preći na »sistem došaptavanja«. Svakom učesniku konferencije mora se dati poseban mikrofon, a isto tako i poseban zvučnik. Direktni zvuk koji slušalac prima iz neposredne blizine dovoljno je jak i kad pojačanje u cjelini nije veliko. Najpodesniji položaj za zvučnike je da se nalaze ugrađeni u tavanici iznad svih stolova koje treba ozvučiti. Razmak zvučnika određuje se na način koji je prikazano na slici 7.10.

Slično, ali ekonomičnije rješenje je da se ista jedinica malih dimenzija koristi i kao zvučnik i kao mikrofon. Normalno svi sistemi rade kao zvučnici i samo predsedavajući ili tehničar pritiskujući određen taster (npr. T_2 na slici 7.11) prebacuje pomoću releja jedan od sistema (M_2) da radi kao mikrofon. Isti relaj smanjuje u znatnoj meri jačinu zvuka dva susjedna zvučnika (ili i četiri ako je potrebno) da bi se spriječila povratna sprega.



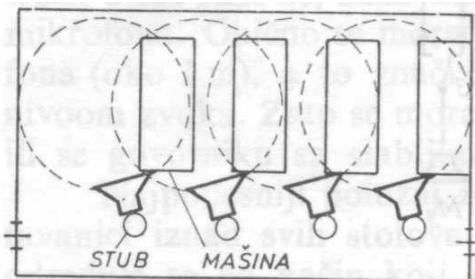
Slika 7.11. Uredaj za ozvučavanje sale za sjednice

Slično, kada su mikrofoni i zvučnici odvojeni, može istovremeno biti uključen, pored mikrofona predsedavačeg, samo još jedan mikrofon (čiji je taster pritisnut i kome su susjedni zvučnici oslabljeni). Postoje automatizovana rješenja da se aktivira samo onaj mikrofon ispred kojeg se najprije progovori. Mikrofon se sam isključi kad nastupi pauza.

7.9. FABRIČKA HALA

U fabričkoj hali, kao i u svim narednim primjerima, nije vise riječ o pojačanju zvuka, nego samo o razglasu. U takvim okolnostima mnogi bolji rezultati se mogu postići pomoću sektorskog ozvučavanja. Pri tome se ne isključuje upotreba zvučnih stubova, koji su kod centralnog ozvučavanja pokazali u mnogim slučajevima velike prednosti.

Pri ozvučavanju fabričke hale mora se na prvom mjestu voditi računa o nivou buke koja vlada pri radu mašina. Nivo korisnog zvuka mora prema slici 4.9 biti bar za 4 do 5 dB viši da bi se postigla razumljivost od 65%, neophodna za praćenje teksta. (Ovu vrijednost treba, ako je ikako moguće, povećati na 6 do 10 dB, da bi se uzele u obzir promjene dinamike neprofesionalnih spikeru). Zvučnike treba postaviti tako da mesta gdje se nalaze radnici budu u zoni direktnog zvuka. Ova zona je sve kraća ukoliko je veći ukupan broj zvučnika (n) i zato je važno da zvučnici budu blizu (vidi sliku 7.12). Blizina zvučnika postaje još važniji faktor kad je nivo buke vrlo visok (preko 95 dB) jer onda potrebna snaga zvučnika postaje preterano velika. Približavanjem zvučni ka može se izići na kraj sa manjom snagom, ali onda svako radno mjesto treba da ima svoj zvučnik. To bi bio »sistem došaptavanja« (ukoliko ima smisla upotrebiti ovu riječ kod toliko jakog zvuka).



Slika 7.12. Ozvučavanje fabričke hale

Nivo zvuka, potreban kad mašine rade, bio bi suviše jak i neprijatan za uho za vreme pauze. Zato kod fabričkih uređaja za ozvučavanje treba da postoji mogućnost da se intenzitet zvuka na licu mesta po želji smanji.

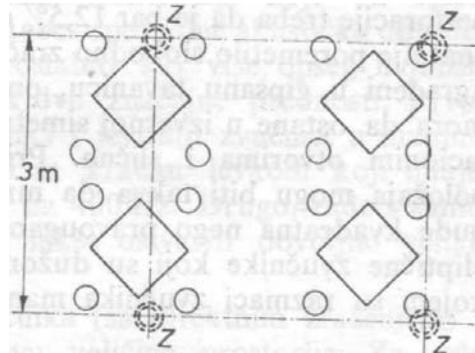
7.10. RESTORAN

Cilj ozvučavanja restorana je da se gostima na nemetljiv način emituje muzika za razonodu i da se povremeno (ako je restoran npr. u sastavu nekog prometnog objekta) prenese neko saopštenje. Bez obzira gdje gost sedi ili se kreće, ni intenzitet zvuka ni razumljivost (odnosno kvalitet) ne treba da se mijenjaju. Za tu svrhu najbolje može da posluži sistem došaptavanja sa zvučnicima postavljenim u tavanici. Kad

je raspored zvučnika dobro napravljen, slušalac čak neće moći ni da odredi tačno mjesto zvučnika (ukoliko su za oko sakriveni iza perforirane tavanice, npr.).

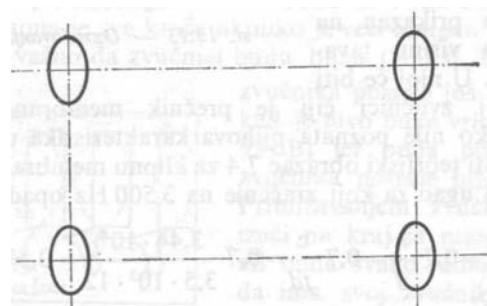
Za diskretno ozvučavanje restorana zvučnici se ne samo sakrivaju nego se čak, naročito ako su blizu, i ne usmjeravaju prema publici. Npr., iza perforirane tavanice okrenu se bočno, a ne prema dole. Tada im je položaj vrlo teško slušanjem odrediti, pa ostaju izrazito nemetljivi.

Restoran prikazan na slici 7.13 ima visinu tavanice $h = 3,5$ m. U njoj će biti ugrađeni mali zvučnici čiji je priječnik mem brane 12 cm a snaga 3 W.



Slika 7.13. Ozvučavanje restorana

Ako su zvučnici ugrađeni u tavanicu, onda polovina korisne snage otpada jer zvučnici jednom stranom zrače u prostor iza tavanice. To znači da u ovom slučaju zvučnici od 3 W sigurno zadovoljavaju.



Slika 7.14. Ugradivanje eliptičnih zvučnika u tavanicu

Zvučnike je lako rasporediti u tavanici na proračunatim razmacima kad je, npr., tavanica pokrivena perforiranim aluminijumskim pločama pa su zvučnici iza nje sakriveni. (Procjent perforacije treba da je bar 12,5% da se ne bi na višim frekvencijama znatnije poremetilo slobodno zračenje). Ako su, međutim, zvučnici ugrađeni u gipsanu tavanicu, onda su vidljivi, pa njihov raspored mora da ostane u izvjesnoj simetriji prema svjetlećim telima, ventilacionim otvorima i slično. Prinudna odstupanja od najboljih položaja mogu biti takva da mreža koju obrazuju zvučnici ne bude kvadratna nego pravougaona. Onda je zgodno upotrebiti eliptične zvučnike koji su dužom stranom okrenuti u pravcu u kojem su razmaci zvučnika manji (vidi sliku 7.14).

Na način na koji je ozvučen restoran u ovom primjeru ozvučavaju se i čekaonice, holovi, prolazi kojima se kreću

putnici i druge slične prostorije. Ovakvo ozvučavanje je dosta skupo, ali je po kvalitetu jedno od najboljih. Kad je tavanica visoka, uticaj reflektovanog zvuka prividno kao da raste, ali se to kompenzira time što i susjedni zvučnici doprinose direktnom zvuku. Praktično se, znači, ništa ne mijenja ukoliko su zvučnici dovoljno »gusto« raspoređeni. Važno je, međutim, za kvalitet ozvučavanja da tavanica, ako je ikako moguće, jače apsorbuje zvuk.

7.11. RADNE PROSTORIJE

u ovu grupu spadaju kancelarije, radnje, radionice, garderobe i slične prostorije. Kvalitet reprodukcije nije na prvom mjestu jer je ovde osnovni zadatak obezbititi dovoljnu razumljivost teksta. Uticaj reverberacije na smanjenje razumljivosti dolazi naročito do izražaja preko niskih frekvencija koje su slabo prigušene u ovakvim prostorijama, bez specijalne akustičke obrade. Zato je dobro pri reprodukciji oslabiti što više opseg najnižih frekvencija. Time se postiže još dvije značajne prednosti. Prvo, mogu se koristiti manji, a to znači i jektiniji zvučnici u manjim kutijama, ili, kad treba, zvučnici sa kraćim lijevkom koji imaju prekidnu frekvenciju, npr., na 400 Hz. Drugo, radeći samo sa višim frekvencijama, mogu se lakše ostvariti dovoljno velike zone direktnog zvuka.

Izbor između običnih zvučnika (sa direktnim zračenjem) i onih sa lijevkom vrši se na osnovu veličine prostorija. Za veće prostorije (radionice, robne kuće), gdje je u principu potrebna veća zvučna snaga, bolje je koristiti zvučnike sa lijevkom zbog njihovog većeg stepena iskorištenja. Onda će snaga pojačavača biti relativno mala i uštede su znatne. Za male prostorije (kancelarije) više se isplati ići na male jektinije zvučnike, od kojih je po jedan dovoljan za svaku prostoriju, a pri tom koristiti pojačavač nešto veće snage.

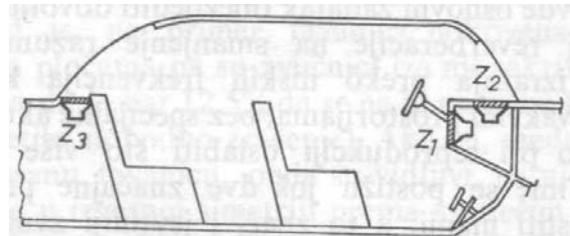
Nivo zvuka u radnim prostorijama proračunava se prema postojećem nivou buke. Kad god je moguće treba nivo korisnog zvuka da bude za 20 do 30 dB jači. Kod većine ovih sistema treba omogućiti da se jačina zvuka reguliše u samoj prostoriji, ali isto tako treba obezbititi da to ne utiče na prenos važnih saopštenja.

7.12. AUTOMOBIL

Zvučnik se u automobil postavlja obično na mjestu Z_1 na slici 7.15. Ovaj položaj je vrlo pogodan za prednja sedišta, ali na zadnjim sedištima se oseća nedostatak visokih frekvencija. Zato je bolje postaviti zvučnik u položaj Z_2 i koristiti refleksiju vjetrobranskog stakla za zračenje u pravcu zadnjih sedišta. Još bolje rješenje bi bilo postaviti dva zvučnika, jedan u položaju Z_3 za zadnja sedišta a jedan napred, samo ovakvo rješenje ima praktičnih nezgoda.

Pored teškoća oko postavljanja zvučnika u automobilu, javljaju se neki problemi i zbog visokog nivoa buke. Nivo korisnog zvuka mora zato također biti visok, a zvučnik ne može biti veliki pa nije lako izbjegći izobličenje. Srećna je okolnost što se novonastale komponente zvuka, koje su poslijedica izobličenja, često ne čuju jer su maskirane bukom. Ni duboki tonovi se ne čuju dobro iz istog

razloga, pa je time olakšan problem smeštanja zvučnika, kome bi inače, zbog reprodukcije basova, bila potrebna velika kutija.



Slika 7.15. Postavljanje zvučnika u automobilu

Posebno treba nastojati da frekventna karakteristika odziva bude ravna. Inače, zbog male razlike u nivou između korisnog zvuka i buke, pojedini maksimumi frekvencijske karakteristike izgledaju subjektivno znatno jači, jer su minimumi maskirani bukom, pa je takav zvuk neprijatan (izgleda linearno kako izobličen).

Slični problemi javljaju se u vozu, avionu, brodu itd.

7.13. DISKO-KLUB

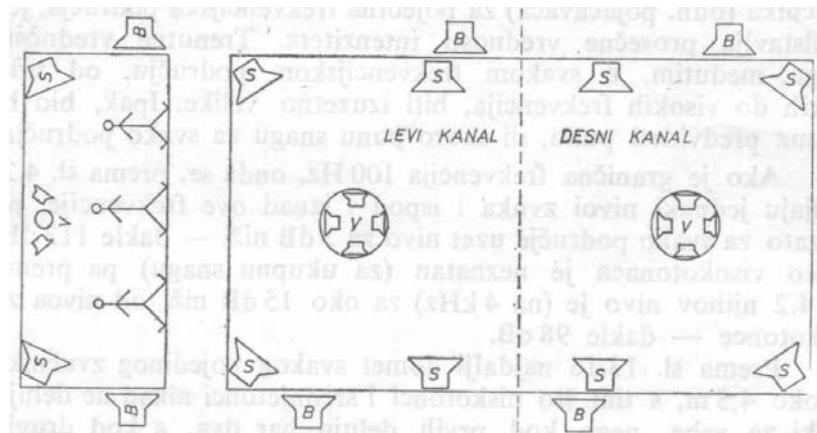
Sistem za ozvučavanje disko-kluba treba da ispunjava posebne uslove, tako da se ne može reći da je to samo pojačan sistem za domaće stereofonsko ozvučenje.

Potreban nivo zvuka je izuzetno visok. Ranije navedenih 106 dB moglo bi se smatrati normalnim i preporučljivim, ali na žalost zahtjevi posjetilaca disko-kluba traže otprilike 10 dB više. Šta će se usvojiti zavisi od iznosa sredstava koja stoje na raspolaganju. U svakom slučaju pogriješno je ugraditi uređaj manje snage pa onda raditi na njegovoj gornjoj granici; ne samo da će izobličenja biti neprijatna, nego će i vek sistema biti kraći, a prekidi i kvarovi češći,

Frekventna karakteristika zvučnog pritiska na prostoru za igranje treba da ima nešto istaknutije basove, sve do 40 Hz, i krajnje visoke frekvencije. Da bi se ovom zahtjevu moglo udovoljiti potrebno je da opseg audio-frekvencija bude podeljen na najmanje tri područja čiji se nivoi zvuka mogu nezavisno regulisati. Normalno je da za svaku frekvencijsku područje, pored posebnih zvučnika, postoje i posebni pojačavači snage. Potrebno je, imajući u vidu veliku ukupnu snagu sistema, da i svaki par zvučnika (levi i desni kanal) ima svoj pojačavač.

Navedeni nivo zvuka treba ostvariti samo na prostoru za igru. Oko tog prostora, gdje se sedi, poželjno bi bilo da nivo zvuka bude znatno niži - ukoliko je to moguće ostvariti. Na samom prostoru za igru neophodno je da na cijeloj površini zvučno polje bude što je moguće više ujednačeno. Tom zahtjevu treba podrediti kako broj i raspored zvučnika, tako i težnju za stereo-efektima.

Na slici 7.16 prikazan je raspored zvučnika za ozvučenje prostora za igru površine 8 x 14 m².



Slika 7.16 - Ozvučavanje prostora za igru II diskoklub

Zvučnici (B) za basove (ispod 100 Hz) smešteni su vrlo nisko jer to odgovara posjetiocima. Ovi zvučnici stvaraju često najveći nivo zvuka, pa treba da imaju što bolji stepen iskorištenja (npr. zvučnici sa lijevkom) da ne bi došlo do prevelikih snaga pojačavača.

Zvučnici za srednje područje (8) su obešeni ispod tavanice, okrenuti prema prostoru za igru, dok su zvučnici za visoke frekvencije (malih dimenzija i nedirektivni) obešeni centralno (V) i predstavljaju skupinu sa kružnim zračenjem.

Prostor za igru je podeljen na dva jednaka sektora tako da se u jednom nalaze zvučnici priključeni na levi stereokanal, a u drugom na desni. Ovo je učinjeno zato da se dobije neki prostorni efekt, inače nikakav osjećaj određenog položaja pojedinih izvora zvuka (pevač, bubnjevi) ne može se dobiti pri ovako raspoređenim zvučnicima. Moguće je zato i drugi način raspoređivanja po kanalima.

Potrebna električna snaga nalazi se posebno za zvučnike pojedinih frekvencijskih područja. S obzirom da je zadati domet zvučnika mali i da je apsorpcija ispunjene dvorane velika, najjednostavnije je računati snagu samo prema direktnom zvuku, kao na otvorenom. Za diskoklub (slika 7.16) poći će se od toga da je potreban nivo zvuka od 116 dB (vršne vrijednosti) i da je opseg audio-frekvencija podeljen na tri područja sa frekvencijama ukrštanja 100 Hz i 4000 Hz. Spektar reprodukovane muzike dat je na slici 4.2. Ova kriva nije potpuno merilo za odabiranje snage zvučnika (odn. pojačavača) za pojedina frekventna područja, jer predstavlja prosječne vrijednosti intenziteta. Trenutne vrijednosti mogu, međutim, u

svakom frekvencijskom području, od vrlo niskih do visokih frekvencija, biti izuzetno velike. Ipak, bio bi luksuz predvidjeti punu, ili skoro punu snagu za svako područje.

Ako je granična frekvencija 100 Hz, onda se, javljaju jednaki nivoi zvuka i ispod i iznad ove frekvencije, pa je zato za svako područje uzet nivo za 3 dB niži - dakle 113 dB. Udeo visokotonaca je neznatan (za ukupnu snagu) pa prema slici 4.2 njihov nivo je (na 4 kHz) za oko 15 dB niži od nivoa za niskotonce - dakle 98 dB.

Prema slici 7.16 najdalji domet svakog pojedinog zvučnika je oko 4,5 m, s tim što niskotonci i srednjetonci nikad ne djeluju svaki za sebe, nego kod prvih djeluju bar dva, a kod drugih četiri zajedno. To znači da nivo zvuka po jednom niskotoncu treba smanjiti za 3 dB, a po srednjetoncu za 6 dB.

Konačno se dobija za pojedina područja:

$P_{NT} = 200 \text{ W}$; $P_{ST} = 100 \text{ W}$; $P_{VT} = 12,5 \text{ W}$ (zaokružene vrijednosti).

Ukupna snaga je $4 \times 200 + 8 \times 100 + 8 \times 12,5 = 1.700 \text{ W}$.

Kod ovako velikih iznosa snage vrlo je važno poznavati tačno karakteristike zvučnika i precizno računati. Greška od 3 dB znači udvostručavanje instalirane snage!

Na kraju treba napomenuti da diskoklub treba da bude i akustički obrađen (najbolje tavanica) da ne bi došlo, pri manjoj posjeti, do neprijatnog odjekivanja.

TEHNIKE POSTAVLJANJA MIKROFONA

8

poglavlje



Ozvučavanje prijelaznih bubenjeva

8. TEHNIKE POSTAVLJANJA MIKROFONA

Nakon što je izabran mikrofon koji će se koristiti za ozvučavanje instrumenta, potrebno ga je pravilno postaviti. Ovdje će biti opisane neke od tehnika postavljanja mikrofona koje pritom treba gledati samo kao osnovne linije vodilje jer kod skoro svakog instrumenta postoji više različitih pozicija za mikrofon i svaka „daje“ svoj karakteristični zvuk. Na temelju onoga što želimo postići izaberemo poziciju za mikrofon. Pritom treba voditi računa o tome da je ovdje prisutna vrlo velika doza subjektivnosti jer naše uho procjenjuje konačni rezultat koji se etalasira kroz određenu estetiku zvuka, a svatko ima svoje viđenje dobrog zvuka. Tu dolazi do izražaja važnost zadatka ton majstora koji treba težiti tomu da zadovolji, takoreći „svačiji ukus“. Pozicija mikrofona je, dakle, vrlo važna jer tu dolazi do električno-mehaničkoakustičke pretvorbe, tj. do kreiranja audio signala koji je osnova daljnog rada i pozicija mikrofona uvelike određuje taj signal. Može se reći da vrijedi pravilo:

$$\text{dobar muzičar} + \text{povoljna akustika} + \text{prikladan mikrofon} + \text{pravilna pozicija mikrofona} = \text{dobar zvuk}$$

Instrumenti s kojima se susrećemo i koje je potrebno ozvučiti su različiti bubnjevi, žičani instrumenti (akustične i električne gitare, bas gitare, kontrabas, violončelo, violina, harfa itd.), klavir i razne klavijature, puhački instrumenti (truba, saksofon, trombon, tuba, klarinet, fagot, flauta i sl.), razne perkusije i naponskotku vokali. Pretpostavlja se Također da su svi instrumenti pravilno uštimani jer sa neugodjenim instrumentom nema ni govora o „dobrom zvuku“. Za sve instrumente za koje nije posebno navedeno koji mikrofon koristiti, preporuča se jedan od dinamičkih, kardioidnih mikrofona.

8.1. BUBNJEVI

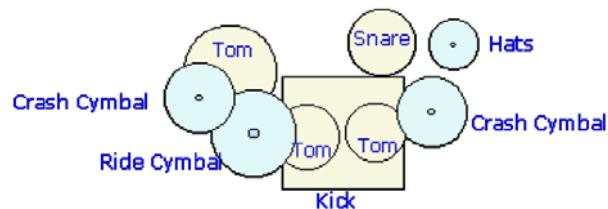
Standardni set bubnjeva predstavlja temelj suvremenog glazbi. On je samo srce ritam sekcije. Loše namješten zvuk bubnja odražava se u konačnici na cijeloj zvučnoj slici.

S obzirom da održavanje tonske probe najčešće započinje bubnjevima kao najsloženijim instrumentom, i u ovom poglavlju će im biti dana prednost. Kada se govori o bubnjevima, ovdje se misli na sve bubnjeve koje ulaze u klasičan set bubnjeva koji se koristi za različite tipove muzike, a to su: bas bubanj (sinonimi kasa ili kick, iz engl.), doboš bubanj (snare), prijelazni bubnjevi (tom bubnjevi, floor tom) i činele (fus činela ili hi-hat i sve ostale). Sve ostale udaraljke, kao npr. timpani, konge i sl. ubrajaju se u perkusije.

Na slici 8.1 vidi se raspored bubnjeva na kakav se nailazi u većini slučajeva.

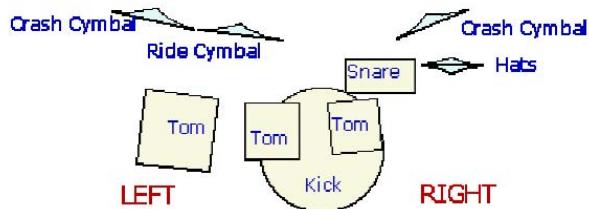
S obzirom da se sastoji od više komponenti, kod seta bubnjeva je važno uzeti u obzir pojmom „zvučne slike“ i panorame. Zvučna slika je sve ono što čujemo iz našeg razglasa i sa pozornice (više iz razglasa, zavisi o veličini prostora). Jedan od ciljeva ozvučavanja instrumenata je dobiti ujednačenu zvučnu sliku, odnosno ujednačen

odnos svih instrumenata na bini. Naravno, osim što instrument mora dobro zvučati reproduciran našim razglasnim sistemom, mora ga se i čuti jednako kao i sve ostale instrumente. Pojam panorame usko se isprepliće sa pojmom zvučne slike.



Slika 8.1. Pogled odozgo na set bubnjeva

Pretpostavimo da se na pozornici nalaze dva izvođača. Jedan nama s lijeve strane, a drugi sa desne strane. Zatvorimo li oči i pokušamo lokalizirati izvore zvuka, lijevog izvođača čemo i čuti više lijevo, a desnog desno naravno. Prema tome, treba voditi računa o tome i kod zvuka koji dolazi iz razglasa. Stoga je potrebno izvođača koji je smješten na lijevoj strani pozornice „panoramirati“ više lijevo u razglasu, tj. poslati više signala u lijevi kanal razglasnog sistema (pretpostavlja se da se radi o stereo sistemu). Isto vrijedi i za izvođača koji se nalazi desno i za sve ostale izvođače.



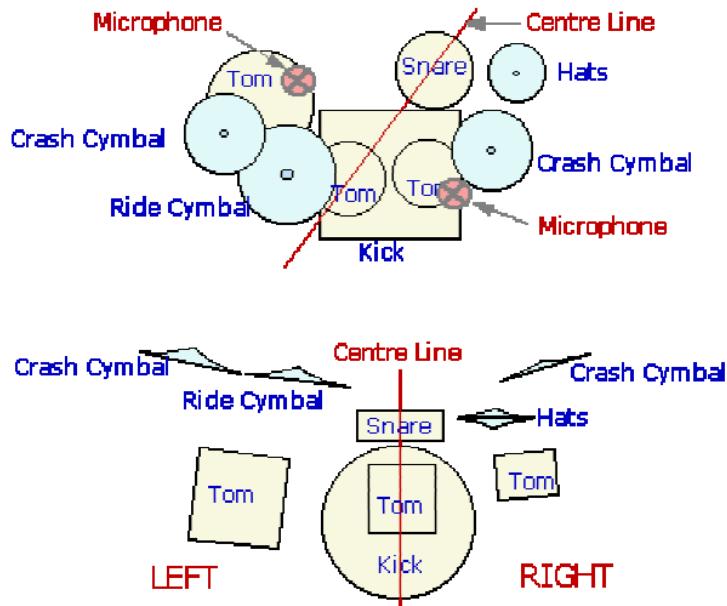
Slika 8.2. Pogled sprijeda na set bubnjeva

No, panorama bubnjeva se namješta iz malo drugačije perspektive. Iz slike 8.1 i slike 8.2 lako se može primijetiti da se u centru konstrukcije bubnjeva nalazi bas bubanj. Desno od njega je doboš bubanj, dok su prijelazni bubnjevi u liniji od centra na lijevo: prvi tom, drugi tom, treći tom (floor tom). To stanje odgovara vizualnoj slici, ali u zvučnoj slici bas bubanj i doboš moraju biti u jednoj, centralnoj liniji (radi doživljaja ritma), prijelazni bubnjevi u liniji slijeva nadesno, jedan set činela s desne, a drugi s lijeve strane. Stoga se bubnjevi u slici promatraju iz kose perspektive, kao na slici 8.3.

Što se tiče samog postavljanja mikrofona, za sve komponente bubnjeva u praksi je gotovo uvijek isti princip, a to je da se mikrofon postavi uz obruč gornje membrane tako da cilja kroz prostornu dijagonalu samog bubnja. Dakle, ako se mikrofon nalazi na jednoj strani gornje membrane, zamišljeni pravac koji prolazi kroz mikrofon bi trebao izlaziti na dijametralno suprotnoj strani donje membrane. Sve ostalo navedeno u ovom poglavlju su najčešće iznimke i specijalnosti na koje treba paziti prilikom ozvučavanja. Isto tako, ektalasizacija samog instrumenta (ektalasizacija

pojedinog signala u kanalu) je vrlo subjektivna i relativna. Proces se sastoji u cijelosti od slušanja, tj. potrebno je znati što se želi dobiti i sukladno tome

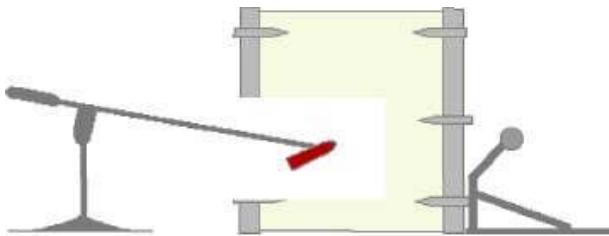
izdignuti ili poništiti određene frekvencije „odgovorne“ za efekt koji se iziskuje. No, više o tome će biti riječeno uz svaki pojedini instrument.



Slika 8.3. Perspektiva iz koje promatramo bubanj radi namještanja balansa u zvučnoj slici

8.1.1. Bas bubanj (kick drum)

Bas bubanj (engl. Kick drum) daje „osnovni udar“ ritmu koji je prisutan u glazbi. Ukoliko se na prednjoj membrani (koži) nalazi rupa (najčešće) onda mikrofon možemo postaviti unutar samog bubnja, kao na slici 8.4.

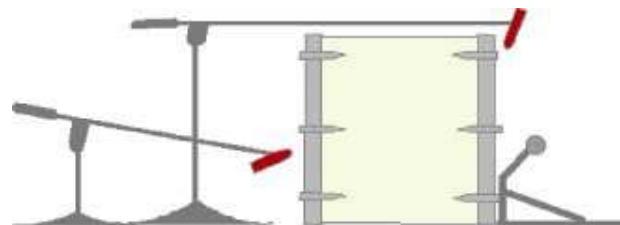


Slika 8.4. bas bubanj s rupom na prednjoj membrani

Kao što se i vidi na slici, mikrofon se postavi u centar unutrašnjosti bubnja blago usmjeren prema mjestu gdje nožna pedala udara u kožu. Ukoliko je prednja membrana zatvorena tada se mikrofon postavlja ispred nje gdje pozicija opet određuje zvuk. Postavljanjem u sredinu membrane duboki tonovi i „punoča“ samog bubnja će biti izraženiji. Postavljanjem više u stranu blizu obruča do izražaja će doći više frekvencije, odnosno „zvuk kože“. Ako se raspolaže prostorom, vremenom i opremom mogu se koristiti i dva mikrofona: jedan s prednje strane membrane, jedan sa stražnje, kao na slici 8.5.

Jedan se postavi s prednje strane membrane u sredinu čime se postiže spomenuta dubina, dok se drugi postavi rubno čime se postiže visina. S obzirom da se koriste dva mikrofona okrenuta menusobno jedan prema drugome, odnosno dva mikrofona koja nisu jednako usmjerena, njihovi signali će biti međusobno okrenuti u fazi za 180° .

Stoga treba na jedn ome okrenuti fazu (prekidač na stolu za miješanje ili posebno izrađeni XLR kabal u kojem su zamijenjene faze).



Slika 8.5. ozvučavanje bas bubnja sa dva mikrofona

Ozvučavanje sa dva mikrofona je praksa koja je uobičajena u studijima, ali ne tako česta za potrebe izvođenja muzike uživo.

S obzirom da ovaj instrument proizvodi velike nivoe zvučnog pritiska (SPL) na niskim frekvencijama, za ozvučavanje bas bubnja koriste se mikrofoni koji mogu podnijeti nivoe zvučnog pritiska preko 160 dB bez pojave ikakvih izoblješenja. Među najpoznatijim i najkoristenijim su AKG D112 (popularno nazvano „jaje“), Sennheiser 602, Beyerdynamic M88 i sl.

Što se tiče ektalasizacije, vrijedi već navedeno gore u tekstu. Na koji način ekvilajzirati instrument u cijelosti zavisi o vrsti muzike koja se izvodi i težnjama samog muzičara.

No, korisno je znati da su kod bubnja, npr. niske srednje frekvencije od 300 – 600 Hz odgovorne za njegov „kutijast“ ili „zvonak“ zvuk, pa opet zavisno o tome što se želi postići može se oblikovati zvuk bubnja koristeći tu činjenicu. Ili npr., izdizanjem 2.5–5 kHz do izražaja dolazi

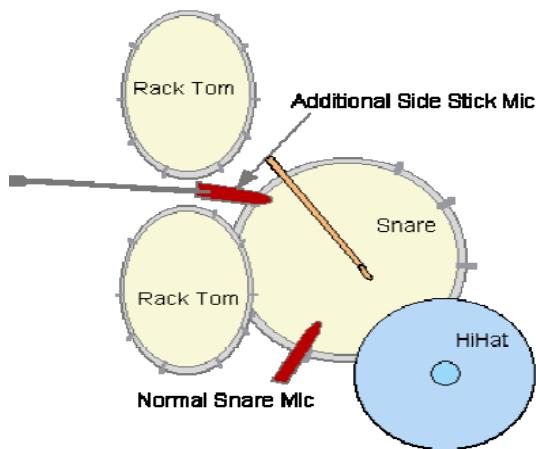
„zvuk kože“ bubnja, tj. udarac u samu membranu, tzv „klik“.



Slika 8.6. a) AKG D112 i b) SENNHEISER e602

8.1.2. Doboš bubanj (snare drum)

Poštujući određeno napisano pravilo, odnosno redoslijed, sljedeći element je doboš (engl. snare drum). Doboš je bubanj koji u odnosu na ostale bubnjeve specifičan potomе što na donjoj membrani ima metalnu mrežicu koja prislonjena uz kožu daje bubnju karakterističan visoki, praskav zvuk. To je ujedno i razlog zbog kojeg se taj bubanj nerijetko ozvučava sa dva mikrofona, jednim postavljenim iznad gornje membrane, jednim s donje. Pritom donji mikrofon služi prvenstveno zato da naglasi osobiti „zvuk mrežice“ te ga ne treba previše isticati u konačnoj zvučnoj slici, već samo kao nadopunu glavnom gornjem mikrofonu. I ovdje naravno treba donjemu mikrofonu zbog spomenutih razloga okrenuti fazu.



Slika 8.7. Ozvučavanje snare-a

Skidanjem mrežice dobije se ništa drugo nego još jedan tom.

Gornji mikrofon se postavlja na već maloprije opisani način (prostorna dijagonalna). Još jednom trebaa naglasiti da takav postav mikrofona nije nipošto nužan, ali je čest u praksi. Postavi li se mikrofon više okomitno na membranu dobit će se donekle „toplji“ zvuk što se može ispraviti uporabom ekvilajzera (EQ) ukoliko to ne želimo, ali puno je lakše, naravno u samom startu postaviti mikrofon u skladu sa težnjama prema određenom zvuku i na takav način što manje ispravljati neželjene poslijedice korištenjem ekvilajzera. Dapače, postoje određeni ton majstori i producenti koji apsolutno izbjegavaju dirati EQ. Sve što žele postići ostvaruju postavkama mikrofona na različite načine i korištenjem određenih pomagala (npr. Apsorbirajući materijali unutar bubnja, materijali koji umanjuju vibracije membrane i sl.).

Ponekad, osobito prilikom snimanja u studiju se postavi i dodatni mikrofon iznad samog obruča doboša (slika 8.7.), iz razloga što brojni bubnjari sviraju i udaranjem u obruč, pa to uz pomoć trećeg mikrofona done do izražaja puno bolje.

No, ova praksa nije česta kod izvedbi uživo, naravno radi što manjeg broja mikrofona i kablova koji rade zbrku na pozornici.



Slika 8.8. Shure SM 57

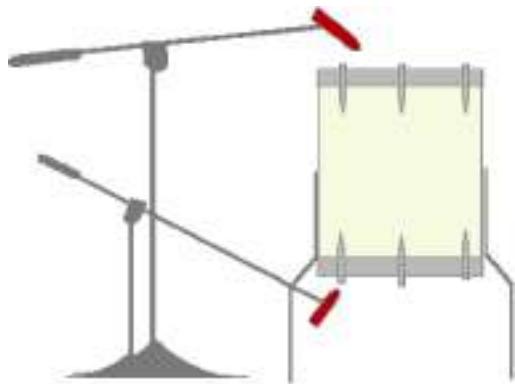
Mikrofon koji se u 99% slučajeva koristi za ozvučavanje doboša (a i ostalih elemenata) je Shure SM 57 (slika 8.8.). Mišljenja oko ovog mikrofona su vrlo podijeljena. Glavna prednost je relativno niska cijena za koju se dobije vrlo robustan mikrofon koji vrlo dobro može poslužiti za većinu instrumenata. Naravno nije najsjretnije rješenje ozvučiti sve sa jednom vrstom mikrofona, ali u nedostatku ostalih služi svrsi.

8.1.3. Prijelazni bubnjevi (tom bubnjevi)

Tomovi su bubnjevi za koje vrijede pravila slična bas bubnju. No, oni znaju biti najproblematičnije komponente što se tiče neugodne zvonjave, stoga treba pripaziti na niske srednje frekvencije. Slike 8.9. i 8.10. najbolje pokazuju kako postaviti mikrofon s time da se u praksi donji mikrofon jako rijetko koristi. Ukoliko tomovi nemaju donju membranu, što također nije rijetkost, zahtalasna metoda je postaviti mikrofon u unutrašnjost bubnja uz okretanje faze, naravno. Na takav način se mikrofon vrlo dobro separira od uticaja ostalih instrumenata, a postižu se dobri rezultati uz upotrebu jednog mikrofona.



Slike 8.9. Ozvučavanje prijelaznih bubnjeva



Slike 8.10. Ozvučavanje prijelaznih bubnjeva

Što se tiče mikrofona, postoje vrlo praktična rješenja u obliku kvačica koje se pricvrste na obrub bubnja i time ostavljaju više prostora, a s obzirom da su to mikrofoni rađeni isključivo za bubenj također odgovaraju svojim karakteristikama.



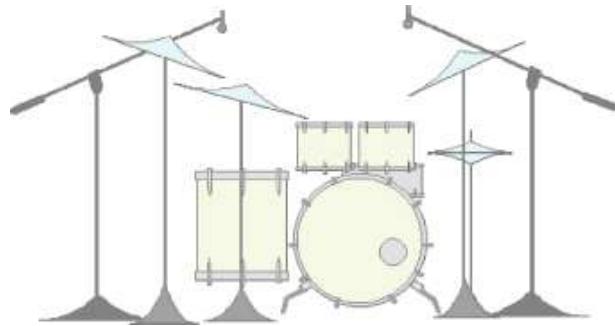
Slike 8.11. Primjer kvačice – Sennheiser E604

8.1.4. Činele

Priča o bubnjevima završava sa činelama. Činelama se zvuk uvelike određuje pozicijom mikrofona. Postavi li se mikrofon bliže sredini rezultat je „zvonkiji“ i „topliji“, dok postav bliže rubu daje piskutavi, viši i „tanji“ zvuk. Najčešće se ozvučavaju sa dva kondenzatorska mikrofona postavljena oko 30-ak cm iznad činela (slika 8.12).

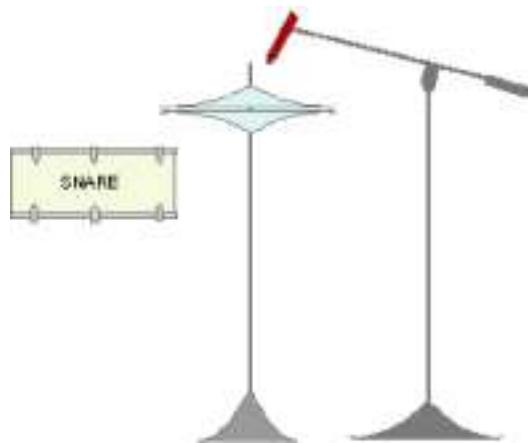
Koriste se kondenzatorski mikrofoni zbog veće osjetljivosti koja je potrebna jer su činele relativno tiši instrumenti u odnosu na ostale bubnjeve, a i proizvode uglavnom visoke frekvencije koje se lako apsorbiraju na

put do slušatelja. Osim toga, većina ih ima ravniju frekvencijsku karakteristiku u području visokih frekvencija, što odgovara svrsi. Posebna činela je fus činela (engl. hi-hat) jer se sastoji od dvije komponente te se ona može svirati osim udarcima palicom i pritiskom noge na pedalu koja spaja spomenute dvije komponente i proizvodi prepoznatljiv njezin zvuk. To se također često želi „uhvatiti“, pa se zato mikrofon blago usmjeri prema spojnom mjestu. No, mikrofon se ne smije postaviti preblizu zbog moguće neželjene buke.



Slike 8.12. „Overhead“ mikrofoni

Fus činela se uglavnom ozvučava posebnim mikrofonom, iako su već spomenuta dva mikrofona koja koristimo za ostale činele u manjim prostorima sasvim dovoljna. S obzirom da su fus činela i dobro relativno blizu postoji opasnost da dobro bitno ulazi u zvučno polje kondenzatorskog mikrofona činele. Ta se opasnost donekle može umanjiti tako da se mikrofon kojim ozvučavamo fus činelu postavi u sjenu koju čini sama činela prema doboš bubnju, kao na slici 8.13. Tipični kondenzatorski mikrofoni za ozvučavanje porodice činela su npr. AKG C-451 ili C1000S, Neumann582 i sl.



Slike 8.13. Fus činela radi sjenu za svoj mikrofon prema dobošu

8.2. ŽIČANI INSTRUMENTI

U žičane instrumente ubrajaju se različite akustične, klasične i električne gitare, bas gitare, razni gudački instrumenti (kontrabas, violinina viola, violončelo itd.), klavir, piano, harfa i mnogi drugi.

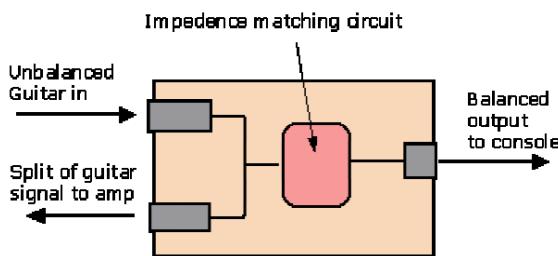
Svi ovi instrumenti rade na istom principu: žica učvršćena između dva kraja vibrira u polju rezonantne kutije (ili magneta u slučaju električne gitare npr.). Ovo

poglavlje obrađuje detaljnije one žičane instrumente koji su najčešći u primjeni, ali princip ozvučavanja je, kao što će se pokazati, sličan za sve. S obzirom da su u prethodnom poglavlju opisane metode ozvučavanja bubnjeva, ovo poglavlje započinje bas gitarom kao neizostavnim dijelom ritam sekcije jednog kompletног muzičkog orkestra, benda i sl.

8.2.1 Bas gitara

S obzirom da se od bas gitare zahtijeva što „čišći“ mogući zvuk ona se najčešće spaja direktno u stol za miješanje (miksetu). Na takav način se eliminira sav ostali ambijent i nepotrebne primjese koje inače pokupi mikrofon. Naravno, ukoliko muzičar raspolaže solidnim bas pojačalom i na raspolaganju vam je mikrofon koji dobro odgovara ovoj namjeni (dobar niskofrekventno odziv), definitivno je i ovo vrlo dobro rješenje.

Prilikom spajanja instrumenata direktno u stol za miješanje koristi se uređaj koji se zove direct box ili DI box. Glavna svrha ovog uređaja je da nebalansirane izvore signala (sve instrumente koje spajamo direktno – električne i bas gitare klavijature i sl.) pretvoriti u balansirani signal pogodan za stol za miješanje. Također prilagonava izlaznu impedansu instrumenta (red veličine nekoliko $M\Omega$) ulaznoj impedansi stola za miješanje (par desetaka ohma). Na takav način su sprijećeni mogući neželjeni šumovi, zujanja i sl., a uz to se najčešće na njima nalazi i vrlo dobar attenuator signala te prekidač kojim kontroliramo uzemljjenje radi izbjegavanja petlji uzemljjenja (engl. ground loops, rezultira neugodnim zujanjem - 50Hz). Pojednostavljena shema rada DI boxa se nalazi na slici 8.14.



Slika 8.14. Izjednačavanje impedansa u DI boxu

Bas gitara je jedan od instrumenata koji imaju vrlo promjenjivu dinamiku, stoga ju je preporučljivo komprimirati (više o kompresorima kasnije).



Slika 8.15. Primjer DI boxa – BSS audio

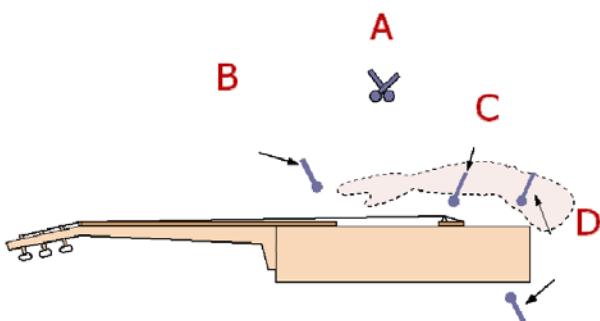
Ozvučena bas gitara iz razglosa nerijetko izlazi mutno i absolutno prigušuje sve ostale instrumente te je vrlo neugodna uhu sam po sebi. Ukoliko je takav slučaj, prigušenje frekvencija od oko 200 – 400 Hz bi moglo pomoći. Također, ako je uz sve to dosta nejasna i fali joj definicije, izdizanje frekvencija izmenu 1500 i 5000 Hz dodaje „zvuk prstiju“ ili trzalice kojom se instrumentalist služi.

Kada je zvuk bas gitare zadovoljavajuć, preporučljivo poslušati ju zajedno sa bubnjevima, kako bi se definirala i ujednačila ritam sekcija.

8.2.2 Akustična gitara

Akustične i klasične gitare danas često dolaze sa ugrađenom prikladnom elektronikom (mikrofon ili piezoelektrični efekt) pa se i one spajaju direktno u tom slučaju. U suprotnom se potrebno poslužiti mikrofonom.

Postoji više različitih pozicija za postavljanje mikrofona u blisko zvučno polje akustične gitare. Zavisno o tome što se želi postići izabere se odgovarajuća pozicija ili čaj više njih. Slika 8.16. ilustrira neke od tih pozicija.



Slika 8.16. Neke od tehnik postavljanja mikrofona prilikom ozvučavanja akustične gitare

Pozicija A: standardna ORTF stereo metoda, zbog udaljenosti malo slabija prisutnost (engl. presence), ali se vrlo dobro ostvare i dubina3 koja dolazi iz zvučne rupa i visina koja dolazi sa mosta i trzanjem žica. Pogodno ako se želi dočarati prostornost, ambijent.

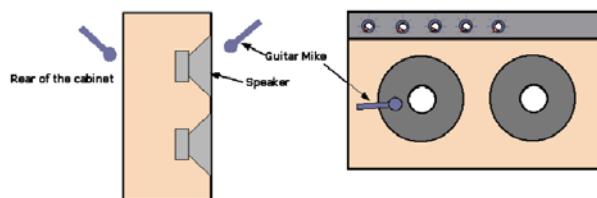
Pozicija B: najpopularnija i najčešća metoda ozvučavanja akustične gitare. Mikrofon se postavi 15-ak cm od gitare i usmjeri prema mjestu gdje se spajaju zvučna rupa i vrat gitare. Ukoliko usmjerimo mikrofon više ka rupi rezultat će biti nešto „mutnija“ i takoreći „toplja“ slika, a više ka vratu – viši tonovi i zvuk koji se proizvodi prstima (pomicanje prstiju po žicama).

Pozicija C: Mikrofon usmjerjen prema samome mostu na udaljenosti od oko 10 cm. „Tvrđi“ zvuk sa nedostatkom niskih i srednje niskih frekvencija.

Pozicija D se može koristiti kao zamjena za poziciju C. Vibriranjem žica zvučni talasovi se preko mosta reflektiraju i od tijela gitare, što u ovom slučaju „sluša“ gornji mikrofon, dok donji sa stražnje strane gitare daje zvuk rezonantne kutije, ali i ambijenta. Pod dubina i visina misli se na dubinu i visinu tonova (niže i više frekvencije).

8.2.3. Električna gitara

Iako se i električne gitare mogu spojiti direktno u stol za miješanje, najčešća praksa je postaviti mikrofon ispred zvučničke kutije gitarskog pojačala. Razlog tome je što sama električna gitara ne daje toliko privlačan zvuk koliko je to slučaj kod npr. dobrog cijevnog pojačala ili sl. Pritom također postoji više činjenica o kojima treba voditi računa.



Slika 8.17. Postavljanje mikrofona ispred pojačala

Za početak, signal koji dolazi iz pojačala je već na svom putu prošao kroz različite filtre prije reproduciranja na svom zvučniku (hi-mid-low kontrole na pojačalu, ugrađeni efekti i sl.) pa je to i zvuk koji će dolaziti do mikrofona. Preporuka je da se prije samog ozvučavanja ugodi željeni zvuk na pojačalu jer će onda i kasnije u konačnici biti lakše postići željene rezultate. Nadalje, postavljanjem mikrofona blizu samog zvučnika dobiva se jasniji, izraženiji zvuk bez puno osjećaja prostora. Sve većim udaljavanjem od zvučnika, zvuk postaje mutniji, teže se kontrolira i veći je osjećaj prostornosti. Ukoliko se mikrofon postavi u centar zvučničke membrane do izražaja će doći visoke frekvencije. Zvuk će biti oštar. Sve većim udaljavanjem od centra ka rubu membrane do izražaja dolaze niže i srednje frekvencije, tj. zvuk postaje „toplji“. Uzimajući u obzir sve navedene činjenice postavi se mikrofon kako najbolje odgovara pojedinim zahtjevima.

Standardna tehnika je da se mikrofon postavi na udaljenosti oko 10 cm od membrane, pod određenim kutom (kao na slici 8.17.). Za ove potrebe Shure SM 57 i SM 58 dinamički, kardioidni mikrofoni uglavnom vrlo dobro služe svrsi.

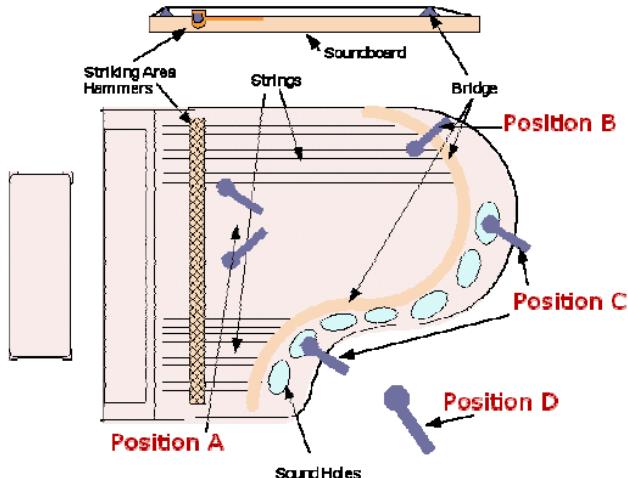
Termin „ispred pojačala“ koji se koristi naravno ne treba shvatiti doslovno. Gitarska pojačala dolaze ili sa ugrađenim zvučnikom za direktnu reprodukciju (combo) ili se spajaju na zasebnu zvučničku kutiju. Mikrofon se postavlja ispred membrane zvučnika.

8.2.4. Klavir

Klavir u principu nije ništa drugo nego „gitara“ položena horizontalno.

Sastoji se od žica razvučenih između dva mosta, područja gdje meki batići udaraju po žicama i ploče koja reflektira zvuk. I ovdje postoji više karakterističnih pozicija od kojih su neke prikazane na slici 8.18.

Pozicija A: najčešće je korištena tehnika. Postavom kao na slici dobiva se stereo slika. Par mikrofona udaljeno je oko 15cm od čekića, jedan je usmjeren ka žicama koje proizvode niže tonove, a drugi ka „višim“ žicama.



Slika 8.18. Karakteristične pozicije mikrofona kod klavira

Pozicija B: dalje od čekića, naglašava dublje tonove, umanjuje „tvrdiću“ dobivenu udarcem čekića od žicu.

Pozicija C: ukoliko postoje otvoreni (rupe za zvuk), može se zatvoriti poklopac i postiže se dobra separacija od ostalih zvukova koji dopiru do mikrofona.

Pozicija D: klasični način ozvučavanja (najčešće u kombinaciji sa pozicijom A), postavi se mikrofon više iznad svih žica koji ravnomjerno hvata gotovo sve (preporuka kondenzatorski mikrofon).

8.2.5. Gudački instrumenti

Ova familija instrumenata također danas vrlo često dolazi sa ugrađenom elektronikom za direktno spajanje. Ukoliko instrument ne raspolaže takvom opremom postoji opet više pozicija za mikrofon od kojih svaka daje karakterističan rezultat.

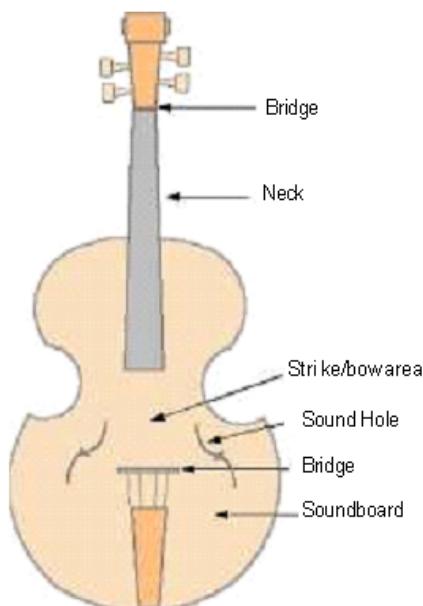
Princip je vrlo slično kao kod gore opisanog ozvučavanja akustičnih i klasičnih gitara.

Kao što se može vidjeti na slici 8.19., i ovdje se mikrofon može postaviti iznad mosta, zvučne rupe (u ovom slučaju znani „S-ovi“), vrata itd.

Najjednostavniji, može se reći „siguran“ način je postaviti dinamički mikrofon u neposrednu blizinu jednog od područja (ili više) označenih strelicom na slici 8.19.

Pritom treba paziti, ako je mikrofon preblizu izvora zvuka, na razglasu se mogu čuti i neugodni, neželjeni zvukovi tipa grebanje gudala od žice i sl.

Postoji i metoda u kojoj koristimo kondenzatorski mikrofon na udaljenosti od otprilike 30-ak cm iznad instrumenta. Ova metoda može dati vrlo dobre rezultate u kojima do izražaja dođe prostornost, tzv. „prozračnost“ instrumenta, što vrlo dobro odgovara ovom tipu instrumenata. Izbor ove metode zavisi o više faktora. Ako je bina malena i violina nema dosta vlastitog prostora kondenzatorski mikrofon će biti pod uticajem mnogih ostalih izvora i puno su veće šanse javljanja mikrofonije i ostalih sličnih problema.



Slika 8.19. Karakteristične pozicije kod gudačkih instrumenata

8.3. PUHAČKI INSTRUMENTI

U kategoriju puhačkih instrumenata ubrajamo različite trube, sakofone, trombon, flautu, frulu, tubu, rog, fagot, obou i mnoge druge.

Oni se detaljnije dijele na:

- limene puhačke instrumente (truba, trombon, sakofon i dr.), tzv. „brass“ sekciju,
- drvene puhačke instrumente (flauta, frula, fagot i dr.).

Instrumentima tipa truba i sl. se izvor zvuka nalazi na zvonolikom proširenju na kraju instrumenta. Oni iz tog „zvona“ zrače pretežito visoke i srednje visoke frekvencije u usko usmjerenom pojasu. Mikrofon postavljen centralno ispred i blizu zvona daje „oštari“ i „svjetao“ zvuk kao rezultat. Za „smekšavanje“ tonova, odnosno bolju zastupljenost dubljih tonova na izlazu, mikrofon se postavi blago ukoso, tj. bliže rubu zvona na malo većoj udaljenosti (15-30 cm).

Kod ozvučavanja ovog tipa instrumenata potrebno je i voditi računa o tome da muzikenci imaju težnju da se puno pomicu tijekom sviranja. To sa našeg gledišta nije povoljna pojava jer dolazi do velikih promjena u dinamici. Kompromisna pozicija za rješenje tog problema je malo iznad instrumenta, ali ipak mikrofon usmjeren ka samom izvoru, odnosno potrebno je ostaviti malo prostora muzičaru na način da je radijus od zvona do mikrofona otprilike uvijek isti, uz uračunato njegovo pomicanje.

Kod drvenih puhaljki većina zvuka dolazi iz rupa koje se nalaze po tijelu instrumenta, stoga se sukladno tome mikrofon postavi blizu tih rupa. Kod flaute npr. standard je postaviti mikrofon izmenu usnika i prvi rupa za prste. Ako je dosta izraženo disanje muzičara, za umanjivanje tog efekta moguće je poništiti određene visoke frekvencije (oko 10-12 kHz) ili postaviti mikrofon malo udaljenije.

8.4. OZVUČAVANJE VOKALA

Kad je riječ o vokalima, ne postoji ustaljena praksa niti ikakva preporučena metoda. Svaki glas je zaseban i specifičan sam po sebi. Zvuk koji se dobiva na razglasnom sistemu zavisi o više faktora (boji glasa, izraženosti pojedinih formantnih područja i sl.).



Slika 8.20. Neumann U48

Koji mikrofon izabratи zavisi i od primjene. Snimamo li vokal izolirano u studiju možemo upotrijebiti i izuzetan cijevni mikrofon (tipa Neumann U48 na slici 8.20.). Ali, za potrebe izvođenja uživo to nije preporučljivo jer bi taj mikrofon bio pod uticajem svih ostalih izvora zvuka, a izvonači nerijetko uzmu mikrofon te mašu s njime, nesvesno pljuju po njemu s obzirom da se nalazi u bliskom zvučnom polju (2 - 5 cm od usta) i sl. Iz navedenog se može zaključiti da se za nastupe uživo traži prije svega robustnost mikrofona, otpornost na vlagu, prašinu, udarce i sl. Isto tako, najčešće se zahtijeva da je vokalni mikrofon isključivo u polju vokala, tj. da ne „kupi“ ništa drugo. Stoga je kardioidni dinamički mikrofon redovito najbolji izbor za te potrebe.

Termini kao što su „oštari“, „svjetao“, „topli“, „mekan“, „taman“ i sl. spadaju u neizbjegni studijski žargon koji se ustvari poziva na frekventno spektar tonova, i olakšava komunikaciju izmenu muzičara i ton majstora.



Slika 8.21. popularni Shure SM 58

Ponekad je dobro koristiti i zaštitne spužvice, pogotovo kod izvedbi na otvorenim prostorima. One eliminiraju uticaj vjetra i puhanja u mikrofon. Npr. kod glasova kao što su P, B, C i sl. zrak iz usta struji dosta većom brzinom

nego kod ostalih pa se to manifestira neugodnim i praskavim šumom u razglasu.

Također je preporučljivo koristiti kompresor koji će dinamiku vokala držati ujednačenom i spriječiti moguće „vrhove“ u glasnoći (engl. peak). Na kraju krajeva, vokal se mora dobro uklopiti u konačnoj zvučnoj slici, tj. ne smije zvučati previše izolirano, glasnije od ostalih

instrumenata, ali ne smije biti ni pretih. Dobro uklapanje vokala u „miks“ se postiže upotrebom reverba koji daje efekt prostora vokalu i „stapa“ ga sa glazbom što zvuči dosta prirodnije.

Moguće je i da izvođaču ispadne mikrofon. Da nema kompresora, to bi se manifestiralo vrlo vrlo neugodno na razglasu!

UREĐAJI ZA OZVUČAVANJE

9

poglavlje



Primjer miksete – Soundcraft GB8

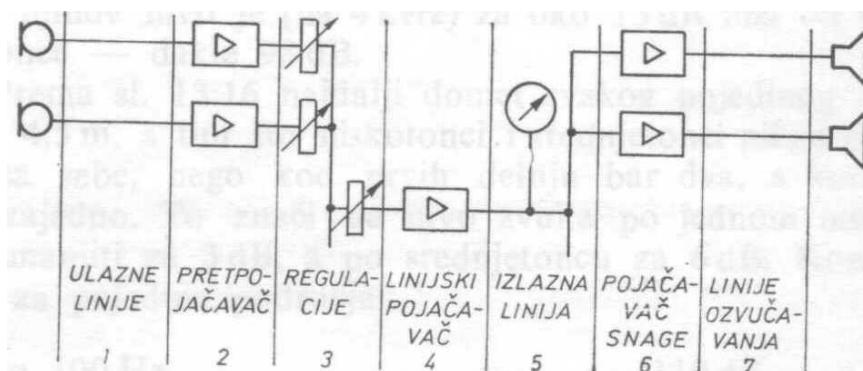
9. UREĐAJI ZA OZVUČAVANJE

9.1. ELEMENTI UREĐAJA ZA OZVUČAVANJE

Uređaj za ozvučavanje je posrednik između elektroakustičkih pretvarača - mikrofona na ulaznom kraju (eventualno gramofona, magnetofona i sl.) i zvučnika na izlaznom kraju. Njegov zadatak je da slabe ulazne signale pojača u potreboj meri, da ih spoji u zajednički kanal, da izvrši eventualne korekcije kvaliteta zvuka (promjena boje, dodavanje vještacke reverberacije i slično) i da na kraju da dovoljnu električnu snagu za rad zvučnika.

Projektovanje ovakvih uređaja predstavlja posebnu oblast tako da na ovom mjestu ne može biti riječi ni o kakvim detaljima. Cilj je samo da se čitaocu skrene pažnja na neke osnovne elemente o kojima treba voditi računa pri odabiranju i postavljanju gotovih uređaja. Principijelna šema uređaja za ozvučavanje data je na sl. 9.1, čiji su sastavni delovi:

- 1 - ulazne linije,
- 2 - prepojačavači,
- 3 - regulatori jači ne, frekvencijski korektorji i slično,
- 4 - linijski pojačavač (i kontrolni uređaji),
- 5 - izlazna linija,
- 6 - pojačavači snage,
- 7 - linije ozvučavanja.



Slika 9.1. Principijelna šema uređaja za ozvučavanje

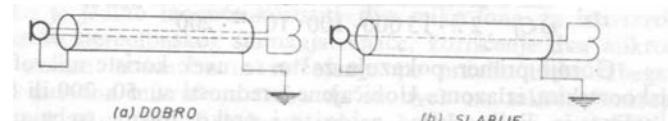
Veliki uređaji za ozvučavanje imaju sve ove delove zasebno ugrađene, a uz njih se nalazi još čitav niz pratećih elemenata (razdelnici, kontrola pojedinih stepena, signalizacija itd.). Mali uređaji, naprotiv, često imaju sve delove od 2 do 6 sastavljene u nedejljivu cjelinu.

Ulazne linije su na prvom mjestu mikrofonski kablovi. Oni moraju imati dovoljnu dužinu da bi u najrazličitijim uslovima povezali mikrofone sa uređajem za ozvučavanje, moraju imati takve karakteristike da ne oslabe suviše i onako slabe mikrofonske signale i moraju, najzad, biti dobro zaštićeni od uticaja spoljnih smetnji.

Da bi se odstranio uticaj spoljnih smetnji koje se prenose putem električne indukcije, potrebno je da kabl ima metalni oklop koji je vezan za zajednički zemljovod u uređaju za ozvučavanje. Takav kabl ne smije biti nigdje »go«, niti nastavljen, osim pomoću odgovarajuće oklopljene spojnica. Bolje je rješenje da je kabl simetričan sa dva provoda nika i nezavisnim oklopom, nego da oklop služi kao jedan provodnik linije (vidi sl. 9.2). Ovo posljednje rješenje (nesimetričan kabl) koristi se samo za vrlo kratke ulazne linije.

Ulazne linije su suviše kratke da bi na audio-frekvencijama moglo doći do pojave prostiranja. Zato se cijela linija može približno predstaviti jednom rednom otpornošću i paralelnim kapacitetom (vidi sl. 9.3). Vrijednost ovog kapaciteta kreće se kod mikrofonskih

kablova od 60 do 120 pF/m. Ove vrijednosti uslovjavaju veličine impedansi generatora (Z_i) i prijemnika (Z_p) koje ne smiju biti suviše velike ako se ne želi da dođe do slabljenja viših frekvencija.



Slika 9.2. Priključivanje mikrofona preko simetričkog (a) i nesimetričkog (b) mikrofonskog kabla

Primjer:

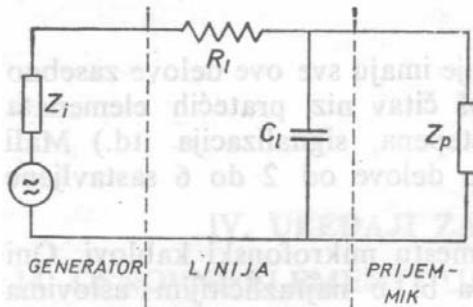
- Kapacitet kabla dugog 200m iznosi 100pF/m. Kakvi uslovi postoje u pogledu veličine ulazne impedanse prijemnika i unutrašnje impedanse generatora (u pitanju su čiste otpornosti) da slabljenje na 15 kHz ne bude veće od 3 dB?

Riješavajući kolo na slici 9.3 dobivamo da jedna od impedansi R_i ili R_p treba da bude manja od 530Ω .

Onda je jasno zašto se uvijek koriste mikrofoni sa niskoomskim izlazom. Uobičajene vrijednosti su 50, 200 ili 600Ω . Ukoliko je linija duža, a ide se i preko 200 m, treba uzimati niže vrijednosti.

Ulazne impedanse prijemnika ne smiju biti suviše niske iz dva razloga. Jedan je pad napon a na otpornosti linije (R_l) koji treba da bude mali prema ulaznom naponu prijemnika.

Drugi razlog su promjene ulaznog napon a koje mogu nastati ako impedansa mikrofona (Z_i) mnogo zavisi od frekvencije. To se izbjegava tako što se uzme Z_p oko 10 puta veće od Z_i . Praktične vrijednosti za Z_p su 1.000 do 5.000 Ω .



Slika 9.3. Ekvivalentna šema spajanja generatora i prijemnika

Mikrofonskih linija ima onoliko koliko ima mikrofonskih mesta. Kod velikih uređaja za ozvučenje (univerzalna dvorana) ovaj broj može biti i 25. Nikad, međutim, nema potrebe da svi mikrofoni rade istovremeno. Čak i u najkomplikovanim situacijama (misli se na ozvučavanje, a ne na snimanje zvuka) često je dovoljno obezbediti istovremeni rad 10 do 12 mikrofona. Zato se može predvidjeti mogućnost da više mikrofona koristi jedan ulaz i da je prebacivanje lako i jednostavno. To važi i za ostale ulazne linije koje se koriste za druge izvore programskega materijala, kao što su magnetofon i, gramofoni, radioprijemnici i dr.

Prepojačavači (mikrofonski pojačavači) imaju važan zadatak da podignu slab mikrofonski signal na nivo koji neće biti toliko osjetljiv na spoljne smjjetnje, a da pri tom sami unesu što manje novih smetnji (šuma, bruanja). Uobičajene vrijednosti izlaznog napona (na niskoomskoj impedansi) kreću se oko 1 V (0,775 V, 1,55 V, 3,1 V i slično). To znači da mikrofonski pojačavači treba da imaju pojačanje oko 60 dB za dinamičke mikrofone, a oko 40 dB za kondenzatorske mikrofone.

Prepojačavači se obično, radi jednoobraznosti, koriste i za ulaze na koje se vezuju drugi izvori programskega materijala, koji po pravilu daju znatno veće nivoe ulaznog signala nego mikrofoni. Tada mora postojati mogućnost slabljenja signala na ulazu kako ne bi nastala izobličenja zbog preopterećenosti prepojačavača.

Ulazi svih prepojačavača (zajedno sa linijama) i svi njihovi izlazi koji se spajaju radi »mešanja« treba da budu »u fazi«. Tako je jedino moguće koristiti dva mikrofona za isti izvor za potrebe stereofonskog snimanja. Inače, korištenje dva mikrofona na malom međusobnom rastojanju po pravilu treba izbjegavati; dva susjedna mikrofona treba da su uvek na takvom rastojanju da mikrofon najbliži jednom izvoru bude bar tri puta bliži tom izvoru od svakog drugog mikrofona. U praksi se to svodi na rastojanja 2...3m između mikrofona.

Regulacija jačine ili boje zvuka, kao i druge korekcije, vrše se uvek u srednjim stepenima uređaja. Svaka regulacija ima za poslijedicu gubitak nivoa signala pa se ulazni stepeni »ne diraju« zbog slabih signala koje treba prethodno pojačati. Izlazni stepeni, sa svoje strane treba da prime »gotov« signal kako bi se u potpunosti (bez gubitaka) iskoristila raspoloživa izlazna snaga i kako se ne bi dodala nova izobličenja na ona koja se inače u izlaznom stepenu javljaju.

U srednjem stepenu spajaju se i svi ulazni kanali u jedan izlazni kanal. Ako ima više nezavisnih izlaznih kanala (kod velikih uređaja, kao i za razne stereo, prostorne i ambiofonske efekte), onda treba da postoji tzv. ukrsni razdelnik, kako bi se svaki ulaz mogao povezati sa svakim izlazom.

Magnetofonski, gramofonski, telefonski i radio-ulazi često dolaze i direktno (bez prepojačanja) na ovaj stepen gdje se regulišu i mešaju jer njihovi izlazni signali imaju dovoljan nivo.

Linijski ili zbirni pojačavač treba da ima svaki izlazni stepen da bi se nadoknadili gubici nivoa nastali prilikom regulacije 1 mešanja. Ovaj pojačavač obnavlja normalni nivo signala (oko 1 V) koji je potreban za izlaznu liniju. Na izlazu pojačavača obično su priključeni (optički i akustički) uređaji za kontrolu jači ne i kvaliteta zvuka. To su modulometri ili tzv. VU-metri, i kontrolni zvučnici.

Izlazna linija nije toliko podložna smetnjama kao mikrofonski kabl jer prima mnogo jači signal, ali i ona treba da bude zaštićena od izuzetno jakih smetnji. Njena dužina može biti vrlo velika (kad, npr., vodi signal do radio-predajnika ili do centra za snimanje zvuka), ali kod uređaja za ozvučavanje to najčešće nije slučaj. Najviše može ići do neke od susjednih prostorija gdje su zasebno smešteni pojačavači snage.

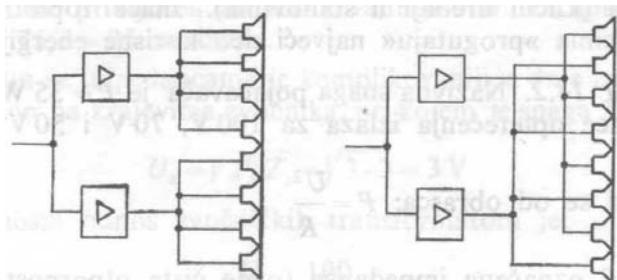
Broj izlaznih linija zavisi od toga koliko se raznih signala istovremeno reproducuje preko uređaja (pojačanje direktnog zvuka, ambiofonski efekti, efekti na sceni itd.). Za ozvučenje učionice (predavaonice) dovoljna je, npr., jedna izlazna linija, dok velika univerzalna dvorana može da ima mnogo više.

Pojačavači snage neposredno napajaju zvučnike. Za manje uređaje dovoljan je jedan pojačavač. Njegova snaga kreće se približno od 10 W do 200 W. Standardne vrijednosti još ne postoje. Kod velikih uređaja, gdje je potrebna još veća snaga, koristi se veći broj pojačavača. Njihovi ulazi priključuju se paralelno na izlaznu liniju ali izlazi uvek ostaju odvojeni. Na svaki izlaz dolazi posebna linija ozvučavanja sa odgovarajućim brojem priključenih zvučnika (vidi sliku 9.4). Zvučnici se nekad podiže na skupine prema sektorima u kojima se nalaze (a na slici 9.4) a nekad se zvučnici u istom sektoru naizmenično priključuju na dva pojačavača. Drugo rješenje (b) ima prednosti ako jedan pojačavač otkaže jer pola zvučnika u istom sektoru i dalje radi.

Na isti način se kao na slici 9.4 mogu priključiti i zvučnici zvučnog stuba kad se zbog velike snage koriste dva pojačavača. Ovde je još važnije nego u prethodnom slučaju potpuno izjednačiti pojačavače a zatim i povremeno kontrolisati stanje.

Samo izuzetno spajaju se izlazi pojačavača snage paralelno, ali to obavlja sama fabrika uz sve mere potrebne za normalan rad. Tako se dobijaju i ogromne jedinice od 1 000 W za ozvučavanje velikih objekata.

Pojačavači snage se izvode sa vrlo jakom negativnom reakcijom. Jedan razlog je da se smanje izobličenja koja pri velikim opterećenjima naglo rastu. Drugi razlog je da se održi približno konstantan izlazni napon bez obzira na opterećenje. U takvom slučaju mogu se pojedine skupine zvučnika isključivati ili uključivati bez većih promjena uslova rada ostalih zvučnika. Takvi pojačavači djeluju u stvari kao generatori sa vrlo malom unutrašnjom impedansom.



Slika 9.4. Prikupljanje zvučnika na pojačavače snage

Standardni izlazni napon pojačavača snage je 100 V. Ova vrijednost je usvojena stoga da bi pojačavači mogli napajati i dugačke linije ozvučavanja koje u velikim objektima obrazuju cijelu mrežu, sličnu razvodnoj mreži za osvjetljenje. Napon 100 V otklanja mogućnost uticaja spoljnih smetnji i osigurava male topotne gubitke u bakru provodnika.

Pored izlaza za 100 V obično postoje i izlazi za 70 V i 50V, predviđeni za rad sa 1/2 i 1/4 snage ili za priključenje impedansi drugih vrijednosti.

Izuzetno postoji i niskoomski izlaz na koji se može priključiti dinamički zvučnik direktno, bez transformatora za prilagođenje. Ovakvo rješenje je jeftinije (uštodi se zvučnički transformator, a kod tranzistorskih pojačavača i transformator na izlazu pojačavača), ali se može koristiti samo za relativno kratke linije ozvučavanja (kućni uređaji u stanovima). Inače topotni gubici u provodnicama »progutaju« najveći dio korisne energije.

Primjer:

- Nazivna snaga pojačavača je $P=35W$. Kolike su impedanse opterećenja izlaza za 100V, 70V i 50V?

Polazi se od obrasca:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Gdje je sa R označena čista omska otpornost.

Za 100V dobivamo $R \approx 280 \Omega$, za 70 V je $R \approx 140 \Omega$ a za 50 V je $R \approx 70 \Omega$.

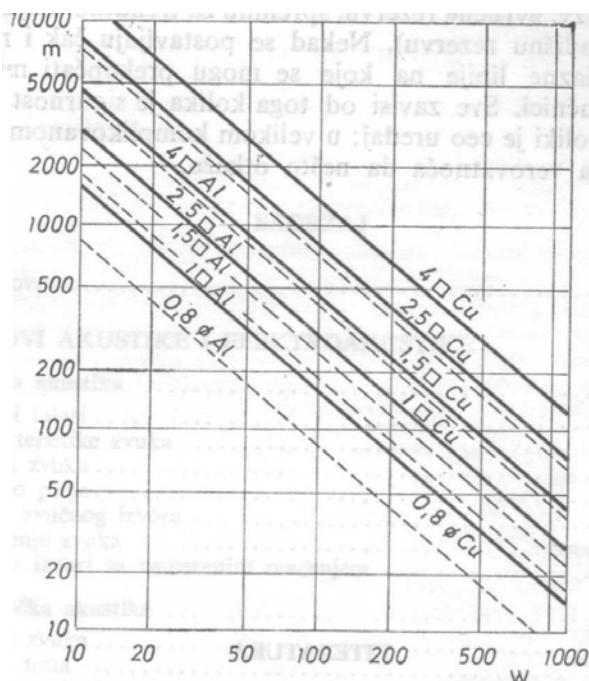
Primjer pokazuje približno red veličine impedanse opterećenja kod pojačavača snage. Stvarna priključna impedansa treba da bude jednaka ili veća od nazivne vrijednosti. Manja impedansa predstavlja preopterećenje

pojačavača i dovodi do pojačanih izobličenja pri jakim signalima.

S obzirom da dinamički zvučnici imaju impedanse od nekoliko om, očigledno je da se mogu priključiti na stovoltne pojačavače snage samo preko transformatora. Redno vezivanje zvučnika u cilju povećanja impedanse gotovo se nikad ne koristi jer bi prekid jednog zvučnika doveo do prestanka rada svih ostalih. (Osim toga, redno se mogu vezati samo jednaki zvučnici a i onda imaju jedan nedostatak: reprodukcija u području rezonance postaje jače izražena).

Izbor veličine pojačavača snage vrši se prema ukupnoj snazi zvučnika koji će biti priključeni. Normalno se pri tome misli na nazivnu snagu. Ali ako se namerno ide za tim da zvučnici ni pri najjačim vrijednostima signala ne rade punom snagom, onda i snaga pojačavača može biti u odgovarajućem iznosu manja. Treba samo odabrati takve transformatore (odnosno takve izvode na sekundaru transformatora) da ukupna impecanca svih priključenih zvučnika ne bude manja od impedanse opterećenja.

Najzad treba još dodati da se u pratećoj dokumentaciji često navodi posebno sinusna, a posebno muzička snaga. Ovde je stalno bilo riječi o sinusnoj snazi. Muzička snaga je ona kojom pojačavač može da radi uz najveći dozvoljeni faktor izobličenja pod uslovom da mu je jednosmjerni napon napajanja stalan, onakav kakav postoji bez signala. Normalno, kod nestabilizovanih ispravljača ovaj se napon sam od sebe smanjuje pri pojavi trajnog signala, ali se to ne događa trenutno, tako da pojačavač kratko vreme može da radi sa



Slika 9.5. Dužina dvožilne linije pri kojoj gubici u provodnicima iznose 10%, data u zavisnosti od snage ozvučavanja pri izlaznom naponu 100 V. Parametar je presek provodnika, (Za 70 V uzimamo dva puta kraću liniju)

Linije ozvučavanja povezuju pojačavač snage i zvučnike. Postoje takva rješenja da svaka linija ozvučavanja ima

svoj odgovarajuci pojačavač snage, ali i takva - fleksibilnija - da između pojačavača snage i linija postoji ukrnsni razdelnik.

Linije ozvučavanja se vode i postavljaju kao i linije za osvjetljenje, a koriste se po pravilu upredene parice provod nika god se mogu očekivati smetnje od vod ova jake struje. Ovde je obavezno da provodnici budu u dvije boje kako bi se svi zvučnici (gdje god to ima značaja) mogli priključiti »u fazu«. Spojevi na mjestu grana nja linija treba da budu sigurni i trajni.

Presek provod nika bira se prema uslovu da gubici energije ne prelaze 10% (0,4 dB). Na sl. 9.5 data je dužina dvožilne linije pri kojoj, u zavisnosti od snage ozvučavanja, gubici dostižu ovu vrijednost.

Za sve važnije uređaje u jednom sistemu treba da postoji izvjesna rezerva. Za ključna mjesta (iinijski pojačavači, mikrofoni) predviđa se i 100% rezerve, a kod većine pojačavača obično 25%. (Misli se na tzv. »vruću rezervu, spremnu za trenutno uključivanje, a ne na skladništu rezervu). Nekad se postavljaju čak i rezervne ulaz ne i izlazne linije na koje se mogu prekopcati mikrofoni odnosno zvučnici. Sve zavisi od toga kolika je sigurnost prenosa potrebna i koliki je cijeli uređaj; u velikom komplikovanom sistemu uvijek je veća verovatnoća da nešto otkaže.

9.2. STOL ZA MIJEŠANJE (MIKSETA)

Došli smo i do stola za miješanje, tzv. mix pulta. Tko se imao prilike susresti sa primjerom stola za miješanje, mogao je vidjeti gomilu potencijometara, kliznika i priključaka. No, neka vas to ne preplaši jer koliko god da izgleda komplikirano, stvar je u principu vrlo jednostavna.



Slika 9.6. Primjer miksete – Soundcraft GB8

Stol za miješanje se sastoji od kanala. Svaki kanal predstavlja jedan stupac onih silnih gumbića. Točnije, signal koji koristimo (priskrblijen mikrofonom ili direktno) šaljemo u kanal miksete i tu imamo kontrolu nad njime. Prema tome, svaki stupac miksete predstavlja određeni instrument koji smo „uključili“ u nju. Kao što mu samo ime govori, stol za miješanje „izmiješa“ sve signale u osnovna dva (stereo) kanala koja šalje dalje u razglasni sistem (slika 9.6).



Slika 9.7. Jedan od kanala na mikseti

Trebalo bi napomenuti da se pod pojmom „mikser“ najčešće misli na manji uređaj koji sadrži do, recimo 16 kanala, a pod pojmom „mikseta“ se misli na veće konzole od 24, 32, 48 ili više kanala.

Ovdje će biti prikazan tipični kanal jedne miksete i objasnit će se funkcije pojedinih kontrola kanala (slika 9.7). Sve miksete su gotovo identične po pitanju kanala, razlike su minimalne. Znate li se služiti jednom miksetom, znate se služiti svakom. U nastavku slijedi slika jednog tipičnog kanala miksete i pojašnjenje za svaki potenciometar ili gumb koji se nalazi na njoj.

GAIN – kontrola ulaznog signala prepojačala; koliko signala od mikrofona uzimamo u kanal,

LOW CUT – visokopropusni filter, poništava sve frekvencije ispod 100 Hz,

AUX sekcija – objašnjeno dalje u tekstu,

PRE-FADER – objašnjeno dalje u tekstu,

EQ sekcija – ekvilajzer; na slici malo jednostavnijeg tipa, najčešće se sastoji od HI, HI-MID, LO-MID i LO kontrola s tim da LO-MID i HI-MID mogu precizirati točne frekvencije (kao što može MID na slici),

PAN – panorama, koliko signala šaljemo u lijevi, a koliko u desni dio razгласa,

ASSIGN sekcija – MUTE „zatvara“ kanal, tj. ne pušta se signal vani na razglas 1-2 i 3-4 : određuju dodjelu signala određenoj grupi (1-2 ili 3-4 ili main, što nije naznačeno na ovoj slici), postoji glavni fader za svaku od tih grupa koji moramo podići na određenu nivo da bi signal izašao vani na razglas, bez obzira na sve ostalo,

FADER kanala (kliznik): određuje koliko signala puštamo vani u razglas,

SOLO (PFL): pritiskom na tipku u slušalicama čujemo samo taj kanal, ne utječe na razglas, isključivo za našu informaciju postupak kojega se naravno ne mora slijepo pridržavati,

AUX sekcija: Tok signala kroz miksetu se može zamisliti kao tok vode kroz vodovod. Tu „vodu“ možemo usmjeriti kamo god želimo otvaranjem i zatvaranjem određenih ventila. Fizički ulazi u miksetu (XLR ili linijski input) se najčešće nalaze na vrhu miksete. Signal znači prolazi od vrha miksete prema dnu gdje ga podizanjem fadera puštamo vani na razglas. Dok je fader spušten, „ventili“ je zatvoreni i na razglasu ne čujemo ništa. Na putu od ulaza do izlaza signal prolazi kroz različite filtre, kao npr. spomenuti *low cut* filter koji ne propušta frekvencije ispod 100 Hz dalje kroz kanal, panoramom npr. signal usmjeravamo više lijevo ili desno.

Prolaskom kroz AUX sekciju odvrtanjem pojedinog AUX potenciometra („ventila“ – AUX1, AUX2, AUX3 itd.) mi isti taj signal iz kanala možemo poslati negdje drugdje, s time da on i dalje teče kroz kanal do izlaza). Koliko signala ćemo poslati određujemo potenciometrom.

Ovo nam može poslužiti kod npr. monitoringa, kada nema zasebne miksete za monitoring. Jednostavno AUX signal posäljemo u pojačalo na koje su spojeni monitorski zvučnici i koji god kanal smo poslali u npr. AUX 1, čuti će se i na tom monitoru. Takoder, AUX-om možemo poslati signal u određeni procesor signala, dakle može nam poslužiti i za razne efekte, dinamičke procesore i sl. Gdje god nam treba dodatni izlaz signala možemo za te potrebe koristiti AUX sekciju.

PRE-FADER (ili samo PRE): tipka koja se nalazi često pokraj AUX potenciometara ima svrhu da odvoji signal koji šaljemo u AUX od glavnog fadera kanala. To je potrebno iz razloga što ponekad ne želimo da podizanjem fadera, dakle slanjem više tog signala u razglas, takoder time podignemo i razinu u AUX izlazu (kod monitoringa npr.). Pritiskom na tipku PRE, AUX sekcija postaje nezavisna od fadera. Isključivanjem tipke PRE, AUX sekcija je u POST FADER modu rada, što znači upravo obrnuto od spomenutog. Podizanjem fadera, utječemo dakle i na razinu signala u AUX izlazu. To ćemo možda željeti ako imamo spojen npr. efekt na AUX sekciju, pa podizanjem razine signala želimo i podići razinu efekta umiješanog u izvorni signal.

9.2.1. Postupak izvođenja tonske probe

Nakon što smo postavili sve mikrofone, spojili sve instrumente na miksetu i provjerili da svaki mikrofon daje signal (lagano lupkanje po njemu i praćenje indikatora na mikseti), može se započeti s tonskom probom.

Prijedlog za obavljanje tonske probe, na osnovu iskustva bi mogao biti:

- Ukoliko je potrebno uključimo PHANTOM napajanje.
- Ukoliko je potrebno okrenemo fazu.
- Podešavamo nivoe signala: pritiskom na tipku SOLO (PFL) pratimo na indikatorima nivo signala i povećavamo njegov nivo korištenjem potenciometra GAIN.
- Pridjeljujemo kanal određenoj grupi (ASSIGN).
- Podignemo fader kanala na određenu nivo i podignemo glavni fader grupe kojoj smo pridjelili kanal (MASTER) – sada čujemo rezultat i na razglasu.
- Podesimo panoramu.
- Po potrebi koristimo EQ.
- Koristimo različite procesore po potrebi (noise GATE, compressor, reverb i sl.)

Kada smo zadovoljni zvukom idemo dalje redom. Naravno da tu postoji još faktora o kojima treba voditi računa i nerijetko se putem pojave problemi koji zahtijevaju brzo snalaženje, ali sve to obogaćuje iskustvo i dio je procesa učenja.

9.3. PROCESORI SIGNALA

Obrada signala je postala neizbjeglan faktor u modernoj muzičkoj produkciji. Funkcija obrade signala je modificira signal ili u analognoj ili digitalnoj domeni (DSP – Digital Signal Processing). U analognoj domeni audio signali

mogu biti direktno obrađeni bez prethodne digitalizacije, dok se u DSP obradi signal prevodi u digitalnu domenu (diskretizacija).

Obje ove metode su vrlo korištene u svim fazama audio produkcije (i live sound engineering-u) i omogućuju amplitudnu obradu (dinamički procesori), spektralnu obradu (ektalasizacija) i postizanje raznih efekata. Upotreboom procesora signala vaš «miks» može zvučati puno ugodnije i «realnije», za razliku od suhoparnog, «praznog» kućnog uratka. Ovdje će obrađeni neki od najkorištenijih i neophodnih procesora signala.

9.3.1. Ekvilajzer (EQ)

Svakako najčešći oblik obrade signala je ektalasizacija. Audio ekvilajzer je uređaj koji omogućava kontrolu relativne amplitude nad pojedinim frekvencijama u okviru

slušnog pojasa (20 – 20 000 Hz). Brojni su razlozi zbog kojih nam može zatrebatи ovakav procesor, kao npr.:

- Ispravljanje određenih nedostataka neke snimke ili nedostataka zatvorenog prostora (oblikovanje zvuka da bi bio što prirodniji),
- Kompenzacija nedostataka u frekvencijskoj karakteristici mikrofona ili instrumenta,
- Omogućavanje različitim kontrastnim zvukovima da se bolje stapaju u jedinstveni miks,
- Za mijenjanje zvuka čisto iz umjetničkih razloga

Postoji više vrsta ekvilajzera, od onih s kojima su se susreli gotovo svi koji kod kuće imaju i manju muzičku liniju (MID, TREBLE, BASS), preko parametarskih ekvilajzera koji omogućavaju detaljniju kontrolu nad pojedinim frekventnom područjima do složenih grafičkih ekvilajzera.



Slika 9.8. Grafički ekvilajzer (dbx)

Parametarski ekvilajzer je onaj s kojim se možemo susresti na svakoj mikseti.

mijenjanju dinamike jer ne želimo da se pretjerano osjeti gušenja instrumenta ili neugodna pojačanja nivoa.

Najčešće pomoću parametarskog ekvilajzera možemo odabrati određenu frekvenciju te je izdignuti ili spustiti te odabrati širinu djelovanja obrade (Q-faktor). Grafički ekvilajzer je neizostavni dio racka. Izmiješani signal iz miksete prije odlaska u pojačalo ide u dvokanalni grafički ekvilajzer na završnu obradu.

Ekvilajzeri obuhvaćaju vrlo široko područje koje zaslužuje zasebnu knjigu, ali u ovoj skripti se neće naširoko razmatrati. Spomenute su njegove glavne funkcije i tipovi koji postoje.

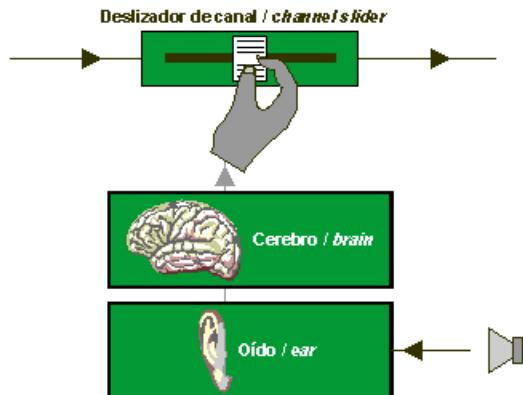
9.3.2. Dinamički procesori signala

U modernoj audio obradi postoji sve veća potreba za automatskom kontrolom dinamike. Učinak dinamičke obrade nije ništa drugačiji nego kad bi osoba ručno pomicala fader kanala po potrebi i na takav način regulirala dinamiku (slika 9.9).

Npr. kada bi pjevač počeo jako glasno pjevati osoba spusti blago fader i na takav način drži dinamiku ujednačenom te glumi kompresor, ili npr. kada pjevač ne pjeva ništa spusti fader do kraja kako u razglasu ne bi bio nepotrebni šum (koncept noise gatea).

No, ovakav «ljudski» oblik dinamičkog procesora ima svoja ograničenja. Spor je, ne može kontrolirati više od jednog kanala istovremeno i ne može točno ponoviti svoje akcije. Stoga se koriste automatizirani uređaji koji obavljaju ekvitalasentnu funkciju.

Dobar dinamički procesor treba kontrolirati dinamiku transparentno, što znači da mora biti umjeren pri



Slika 9.9. Koncept dinamičke obrade

Najčešće upotrebljavani procesori su:

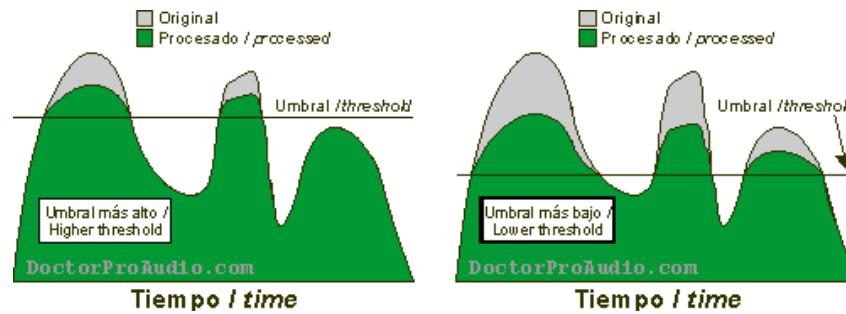
- Kompresor / limiter koji ograničava signale koji prelaze određenu nivo,
- Noise gate koji potpuno «gasi» signale koji padnu ispod određenog definiranog nivoa,

Tipične zadaci kompresora su:

- kontrola energije signala – ljudsko uho je osjetljivo na promjene energije signala; energija signala se može matematički izraziti kao njegova RMS vrijednost (otprilike prosječna nivo), varijacije energije trebaju biti blage i suptilne bez naglih promjena,
- kontrola amplitude signala (peak) – ekstremno velike kratkotrajne amplitude signala,
- redukcija dinamičkog dosega signala – ako «režemo» vrhove signala onda mu mijenjamо dinamički doseg; s obzirom da većina ima

ugrađene peak limitere, možemo povećati RMS vrijednost signala.

Mnogi kompresori nude izbor kompresije na temelju RMS vrijednosti (kompresor) ili peak vrijednosti (limiter).



Slika 9.10. Treshold

Slika 9.10 prikazuje rezultirajuće nivo kompresije sa višom postavljenom razinom thresholda i sa nižom razinom thresholda. U prvoj ilustraciji treći peak signala prolazi nepromijenjen.

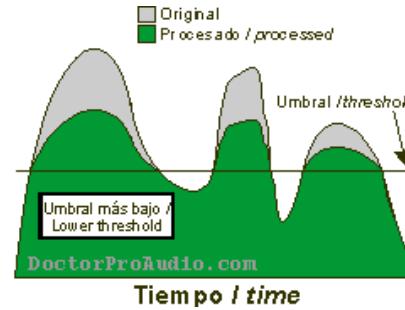
Attack. Vrijeme potrebno da se signal limitira / komprimira / potpuno ugasi (MUTE) / pojača i sl. Uglavnom su niža vremena attack-a pogodnija za niže frekvencije, dok su brža vremena attack-a pogodnija za više frekvencije.

Release. Suprotno od vremena attack, vrijeme potrebno da procesor «otpusti» signal, tj. done iz vremena kad se signal obranjuje u vrijeme kada nema obrade. Vremena otpuštanja su u pravilu dulja od attack vremena.

Hold. Specificira minimalno vrijeme za koje će procesor obranivati signal.

Slijedi prikaz kontrola koje se mogu naći na gotovo svakom dinamičkom procesoru.

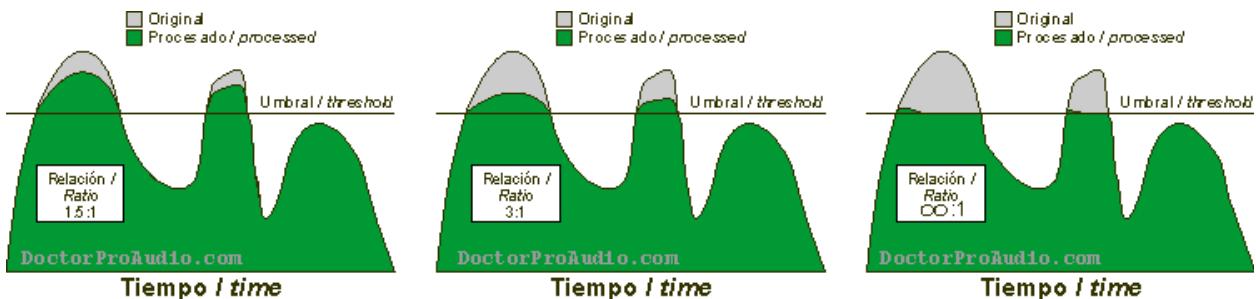
Threshold. Određujemo nivo signala za koju započinje obrada bilo da signal prijene tu nivo ili padne ispod nje (kompresor ili gate).



Ratio. Definira npr. omjer kompresije, količinu atenuacije ili gain-a koja će se primijeniti na signal. Omjer se može postaviti od 1:1 (bez kompresije) do oko 40:1. Omjeri su izraženi u decibelima tako da npr., omjer 6:1 znači da ako signal pređe svoju dozvoljenu nivo postavljenu thresholdom za 6 dB biti će atenuiran na nivo od 1 dB iznad thresholda. Isto tako, signal koji prijene threshold za 18 dB će biti atenuiran na 3 dB.

U praksi se kompresor sa postavljenim ratiom od 20:1 već smatra limiterom, iako bi u teoriji limiter morao imati ratio $\infty:1$ (bez obzira na ulazni nivo signal se atenuira na nivo određenu thresholdom).

Možemo reći kako je uz ratio 3:1 kompresija umjerena, 5:1 srednja, a za 8:1 i više jaka kompresija. Slika 9.11 prikazuje nivo originalnih i komprimiranih signala od umjerene kompresije do limitera.



Slika 9.11. Različiti omjeri kompresije 1.5 : 1, 3:1 i $\infty:1$

Više stručniji način za prikaz kompresije je pomoću ulaz/izlaz dijagrama (slika 9.12).

Vertikalna osa označava izlaznu nivo dok horizontalna os označava ulaznu nivo. Linija na grafu koja je po 45° (simetrala 1. i 3. kvadranta) pokazuje odnos input levela i output level-a bez kompresije. Sa thresholdom postavljenim na 0 dB na slici, iznad te nivoje se graf počinje savijati sa nagibom ovisnim o postavljenom omjeru.

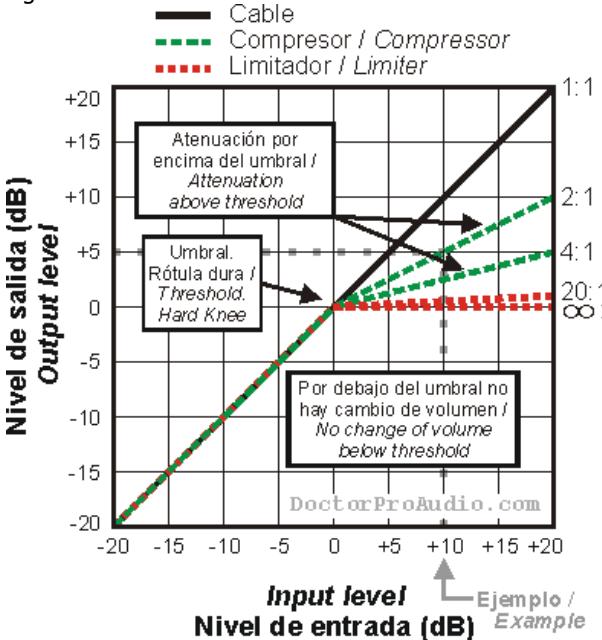
Knee. Na nekim kompresorima postoji i ova kontrola koja omogućava regulaciju tranzicije izmeni stanja

neobrađenog i obrađenog signala. Razlikujemo «soft knee» i «hard knee», tzv. koljeno kompresije. Soft knee označava blaži, postepeniji prijelaz u procesirano stanje signala dok hard knee označava grubu, naglu tranziciju.

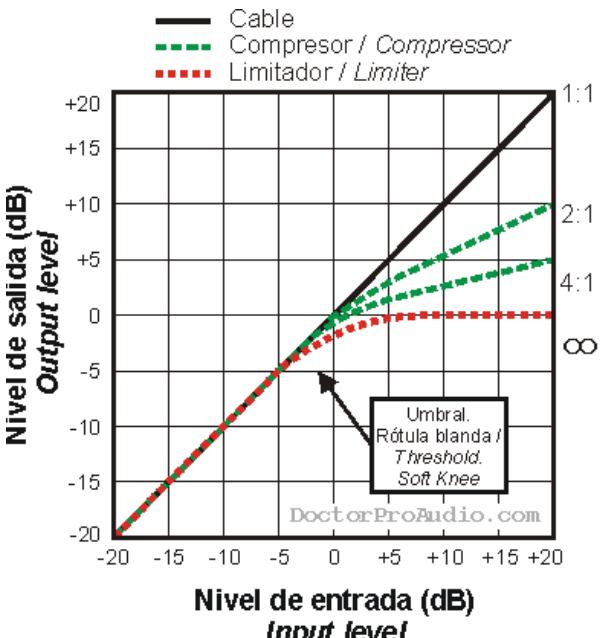
Stereo link. Služi za obradu stereo signala. Preusmjerimo kontrolе dva kanala kompresora na samo jedan.

Automatic. Sve češća kontrola na uređajima. Podešavaju se kontrolе automatski, na osnovi karakteristika signala.

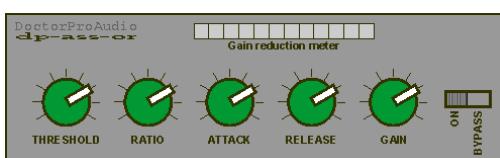
Bypass. Omogućava usporedbu originalnog i obrađenog signala.



Slika 9.12. Zavisnost kompresije o postavljenom ratiju



Slika 9.13. Soft knee kompresija



Slika 9.14. Izgleda sučelja kompresora

9.4. EFEKTI

Efekti koji se danas koriste u studio tehnici se baziraju većinom na digitalnoj obradi signala, tj. matematičkim operacijama i raznim transformacijama koje se vrše nad digitaliziranim signalima.

U ovom tekstu će biti spomenuta dva osnovna efekta koja se često koriste u studijima i za potrebe izvođenja uživo, a to su:

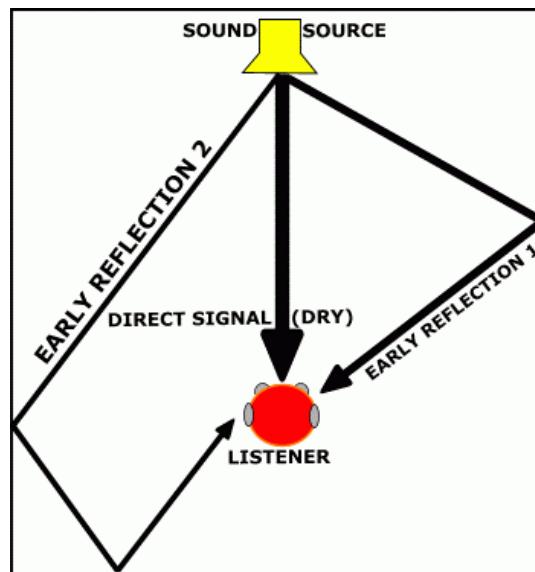
- delay i
- reverb.

Ostali efekti nisu toliko česti u upotrebi kod live izvedbi (od strane ton majstora).

9.4.1. Reverb

Ono što neki već znamo jest da je reverb «simulator prostora», odnosno daje onaj dojam prostornosti izvornom zvuku. S reverbom možemo postići da vokal sniman u vlastitom domu zvuči kao da pjeva u većoj prostoriji ili velikoj dvorani. Neki misle da je reverb samo vrsta delay-a sa različitim filtrima, ali nije baš tako jednostavno.

Pogledajmo za početak jednu jednostavnu prostoriju. Na slici 9.13 imamo jednostavan model sobe sa četiri zida.

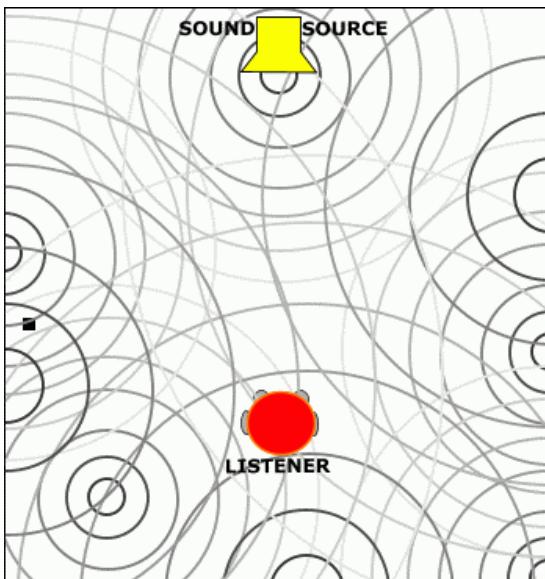


Slika 9.13. Rane refleksije zvuka

Debeli strelici predstavljaju direktni zvuk koji putuje od izvora zvuka do slušatelja. Ostale strelice predstavljaju refleksije zvuka od strane zidova. Direktni zvuk ili signal kada govorimo o efektima i digitalnoj obradi se još naziva i DRY komponentom (suhi signal). Kao što se i vidi na slici, prva rana refleksija (kraći put) stiže do slušatelja svega par milisekundi nakon direktnog zvuka. Zatim stiže druga rana refleksija i tako dalje. Nakon određenog vremena refleksije isčezavaju nastaje odjek ili reverb.

Važan je pojам vremena odjeka. Vrijeme odjeka se definira kao vrijeme potrebno da intenzitet zvuka (nakon što ugasimo izvor) opadne za 60 dB (RT60). Kad god netko spominje vrijeme odjeka sobe, misli upravo na RT60.

Vrijeme izmenju primanja direktnog zvuka i početka stvaranja odjeka se naziva predelay vrijeme. Ovaj parametar se izražava u milisekundama.



Slika 9.14. Odjek

Slijedi objašnjenje nekih uobičajenih parametara digitalnog reverba.

Rane refleksije (early reflections). Obično kontrolirane parametrom Room type ili Room size. Rane refleksije su upravo te koje ljudskom mozgu omogućavaju da percipira veličinu prostorije. One su stoga najkritičniji dio reverb efekta, ako je simulacija prostora glavna zadaća.

Predelay. Opseg parametra je od 0 do X milisekundi. Vrijeme izmenu direktnog signala i početka reverberacije. Što je veći razmak izmenu slušatelja i zidova i reflektirajućih objekata, veći je i predelay time.

Reverb time (vrijeme odjeka). Opseg parametra je od 0.1 do X.X sekundi. Što je prostor zatvoreniji, vrijeme odjeka je veće. Naravno, što je veća soba ili komora, izvor zvuka treba biti jači, glasniji kako bi se proizveo značajan odjek. Najbolji primjer za ovo je crkva. Posjetite li veliku katedralu i pokušate šaptati unutra, nećete čuti gotovo nikakav odjek. Viđnete li glasno čuti čete poprilično velik odjek.

Reverb damping. U principu označava ektalasizaciju koji se primjenjuje na odjek signala. Što je više površina koje nisu reflektirajuće, više se prigušuje odjek, pogotov na višim frekvencijama. To se može ispraviti pomoću ovog parametra.

9.4.2. Delay

Jedan od najčešćih DSP efekata koji mijenja parametre vremena uvodeći različite oblike kašnjenja u put signala. Danas postoje mnogi multifunkcionalni uređaji koji nude ovakav oblik efekta.

Delay efekti koji se referenciraju na vremena od nekoliko milisekundi pa sve do sekundi oslanjaju se uglavnom na princip spremanja sampliranog audio signala u RAM memoriju. Nakon definiranog vremena, ti podaci se čitaju te otpuštaju i miksaju sa originalnim signalom. Maksimalno vrijeme kašnjenja je određeno frekvencijom uzorka i kapacitetom memorije.

Kada koristimo delay-e veće od 50 ms, slušatelj već percipira zvuk kao diskretnu jeku (echo). Ovaj efekt može uvelike obogatiti zvuk instrumenta, ali treba ga koristiti razumno i pažljivo jer vrlo lako može postati «mutan» i nerazumljiv.

Smanjivanjem vremena kašnjenja na otprilike 30-50 ms, sample-ovi će biti dosta stisnuti i slušatelj ih neće moći percipirati kao jeku već kao efekt dupliranja (doubler). U osnovi, uho je zavarano i dojam je kao da više instrumenata svira, a ne samo jedan. Doubleri sa malim vremenom kašnjenja se mogu koristiti kod vokala radi dobivanja dojma «gustoće» vokala, te bogatijeg i punijeg zvuka.

Daljnjim smanjivanjem vremena kašnjenja i kombinacijom zakašnjelog i originalnog signala dobivamo efekte kao što su chorus (drhtavi zvuk). Sa vrlo malim vremenom kašnjenja (0-20ms) uho više ne može razlikovati direktni i zakašnjeli signal. Umjesto toga percipira se jedan zvuk sa pomalo čudnim frekventnom odzivom. Direktni i zakašnjeli signal se isprepliću i done do interferencije u fazama signala. Dobiveni efekt se naziva flanger.

10. LITERATURA

1. H. Kurtović, Ozvučavanje, Tehnička knjiga Beograd, Beograd 1985,
2. A. Iljazović, Tonska tehnika u primjeni, Skripta, zagreb 2006,
3. Vojin Cvekić, Elektronika II, Linearna elektronika, Naučna knjiga Beograd, Beograd 1987.
4. Vojin Cvekić, Elektronika I, Poluprovodnička elektronika, Naučna knjiga Beograd, Beograd 1986.
5. Sejfudin Agić, Predavanja na predmetu Praktična nastava za III razred, JU Mješovita srednja elektrotehnička škola Tuzla, školska 2008/09. godina.
6. Senad Četović, Božo Ljuboja, Živko Marjanović, Osnovi elektronike, telekomunikacija i automatičke, Svjetlost, Sarajevo, 1989.
7. Praktična elektronika, Časopis za elektronike, ETŠ Nikola Tesla, Beograd, 1998.
8. L.W.Turner, Electronic Engineers Reference Book, Newnes-Butterworth, London, 1976.
9. C. Jung, The New Penguin Dictionary of Electronics, London 1985.
10. P. Obradović, Telekomunikacioni vodovi, Beograd, 1990.
11. www.diyaudio.com
12. www.elektronika.ba
13. www.sound.westhost.com
14. www.driverguide.com
15. www.bhtelecom.ba